

ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ

НАУЧНОЙ ШКОЛЫ

А. С. КОЗМЕНКО - Г. П. СУРМАЧА

Том III

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
"Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук"

ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ
НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ЭРОЗИОВЕДЕНИЯ
А. С. КОЗМЕНКО – Г. П. СУРМАЧА

в четырех томах

Волгоград*2023



А. С. КОЗМЕНКО (1878-1965 гг.)

Выдающийся ученый в области борьбы с эрозией почв, агролесомелиорации, защитного лесоразведения, гидрологии, почвоведения, агрономии, автор теории формирования эрозионного рельефа и основ противоэрозионной мелиорации

Выдающийся ученый в области эрозиоведения, агролесомелиорации, защитного лесоразведения, геоморфологии, почвоведения, автор теории рельефообразования, образования лёссов, формирования серых лесных почв и черноземов в лесостепи



Г. П. СУРМАЧ (1915-1986 гг.)

ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ
НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ЭРОЗИОВЕДЕНИЯ
А. С. КОЗМЕНКО – Г. П. СУРМАЧА

Том третий

Волгоград*2023

УДК: 631. 4. 6.02. 551. 4. 556.5

Избранные труды научной школы эрозиоведения А. С. Козменко – Г. П. Сурмача в четырех томах. Т. 3. – Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2023. – 648 с.

Составитель и ответственный редактор – **А. Т. Барабанов**, доктор сельскохозяйственных наук

Избранные труды научной школы эрозиоведения Козменко – Сурмача, которой свыше 100 лет, издаются в четырех томах. В третьем томе публикуются работы доктора с.-х. наук Е. А. Гаршинёва и кандидата с.-х. наук В. П. Борца. В работах Е. А. Гаршинёва обоснованы новые концептуальные подходы к теории инфильтрации воды в талую и мерзлую почву, к эволюции рельефа в ходе эрозионно-аккумулятивного процесса, функции формы склона и уравнению для расчета смыва почвы; изложены новые методы экспериментальной оценки и математические модели явлений эрозионно-гидрологического процесса; приведена технология системы автоматизированного проектирования лесополос. В работе В. П. Борца приведены результаты многолетней работы Новосильской зональной агролесомелиоративной опытной станции им. А. С. Козменко, описаны созданные на станции почти за 100 лет научные и производственные объекты из многолетних защитных лесных насаждений; изложены этапы изучения эрозионных процессов и разработки методов противоэрозионной мелиорации; показана агроландшафтная роль защитных лесных насаждений.

Selected works of the School of Erosion Studies by A. S. Kozmenko – G. P. Surmach in four volumes. Vol. 3. – Volgograd: Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, 2023. – 648 p.

Selected works of the Kozmenko – Surmach scientific School of Erosion Studies, which is over 100 years old, are published in four volumes. In the third volume, the works of Doctor of Agricultural Sciences E. A. Garshinev and Candidate of Agricultural Sciences V. P. Borets are published. In the works of E. A. Garshinev, new conceptual approaches to the theory of water infiltration into thawed and frozen soil, to the evolution of relief during the erosion-accumulative process, the slope shape function and the equation for calculating soil flushing are substantiated; new methods of experimental evaluation and mathematical models of the phenomena of the erosion-hydrological process are presented; the technology of the automated design system of forest belts is given. In the work of V. P. Borets, the results of the long-term work of the A.S. Kozmenko Novosilskaya zonal agroforestry experimental station are presented, scientific and production facilities created at the station for almost 100 years from long-term protective forest plantations are described; the stages of studying erosion processes and developing methods of anti-erosion reclamation are outlined; the agro-landscape role of protective forest plantations is shown.

Рецензенты: **К. Н. Кулик**, доктор сельскохозяйственных наук, акад. РАН, профессор;
П. Н. Проездов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Электронный вариант доступен по ссылке <https://vfanc.ru/publikaczii/shkola-eroziovedeniya/>



ISBN 978-5-6048368-4-2
©ФНЦ агроэкологии РАН, 2023

ПРЕДИСЛОВИЕ

Научная школа Козменко – Сурмача начала формироваться свыше 100 лет назад, когда Алексей Семенович Козменко руководил Тульской гидрологической экспедицией, а затем Новосильской опытно-овражной станцией (ныне Новосильская зональная агролесомелиоративная опытная станция – филиал ФНЦ агроэкологии РАН). Профессор А. С. Козменко – выдающийся ученый в области эрозиоведения, высококвалифицированный специалист широкого профиля: геоморфолог, почвовед, эрозиовед, гидротехник, гидролог, лесомелиоратор, агроном. Учителями и наставниками его были великие русские исследователи В. И. Вернадский, А. П. Павлов, К. А. Тимирязев, В. Р. Вильямс, Д. Н. Прянишников. Он первый отечественный ученый, положивший начало систематическому исследованию эрозионно-гидрологического процесса и разработке системы мер по его регулированию. Он создал направление в эрозионной науке и противоэрозионной мелиорации, получившее признание в нашей стране и за рубежом как школа Козменко. Уже тогда он выдвинул оригинальную идею о значении послетретичной эрозии, которая в последующем была трансформирована в теорию рельефообразования на равнине, обосновал необходимость зарегулирования поверхностного стока на всем водосборе комплексом противоэрозионных мероприятий и разработал основы противоэрозионной мелиорации, которые стали базой для создания современных адаптивно-ландшафтных систем земледелия.

Последователем идей А. С. Козменко и руководителем школы стал его ученик, выдающийся ученый – почвовед, геолог, эрозиовед, агролесомелиоратор, доктор сельскохозяйственных наук, профессор Георгий Пантелеймонович Сурмач. Его имя известно широкому кругу ученых в нашей стране и за рубежом. Им выполнены обширные почвенно-эрозионные исследования, в т. ч. в период работы комплексной экспедиции АН СССР. Он создал теорию рельефообразования, образования лёссов, формирования серых лесных почв и черноземов в лесостепи и на ее основе обосновал возможность произрастания водораздельных и байрачных лесов в степной зоне. Им также разработана

новая классификация почв по степени смытости, выполнен огромный объем экспериментальных оценок характеристик эрозионно-гидрологического процесса (ЭГП), предложена методика инженерного расчета противоэрозионных мероприятий, разработаны новые способы защиты почв от эрозии. В последующем эти вопросы наиболее полно разрабатывались во ВНИАЛМИ его учениками Е. А. Гаршинёвым, В. П. Борцом, А. Т. Барабановым, В. И. Пановым, А. И. Петелько и др. Благодаря преемственности исследований поколениями учеников школы Козменко – Сурмача, их труды получили развитие, что позволило создать новые теоретические основы управления эрозионно-гидрологическим процессом и создания адаптивно-ландшафтных систем земледелия.

За вековой период несколькими поколениями ученых опубликовано много научных трудов, некоторые из них, к сожалению, утрачены, отдельные сохранились в единичных экземплярах. Поэтому назрела необходимость издания избранных трудов научной школы эрозиоведения Козменко – Сурмача. Преемственность научных исследований важна особенно для молодых ученых ради будущего эрозионной науки.

Избранные произведения издаются в четырех томах. В первом томе излагаются труды А.С. Козменко; во втором – Г. П. Сурмача; в третьем – Е. А. Гаршинёва и В. П. Борца; в четвертом – А. Т. Барабанова, В. И. Панова, А. И. Петелько, А. В. Кулик, О. А. Гордиенко.

Настоящее издание избранных трудов подготовили к публикации сотрудники лаборатории защиты почв от эрозии ФНЦ агроэкологии РАН, которая стала правопреемницей отдела борьбы с эрозией почв ВНИАЛМИ, – ученики и последователи идей школы: А. Т. Барабанов, А. В. Кулик, О. А. Гордиенко, М. Р. Шайфуллин, А. В. Выпова, Д. А. Андреева, С. В. Петров.

Е. А. ГАРШИНЕВ

**ЭРОЗИОННО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС
И ЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ**

ТЕОРИЯ МОДЕЛИ

Волгоград*ВНИАЛМИ*1999

УДК 634.0.985:551.4.0.631.16

Гаршинев Е. А. Эрозионно-гидрологический процесс и лесомелиорация: Теория и модели. – Волгоград, 1999. – 196 с.

Обоснованы новые концептуальные подходы к теории инфильтрации воды в талую и мерзлую почву, эволюции подбровочных склонов и в целом рельефа водосборов в ходе эрозионно-аккумулятивного процесса. Разработаны новые методы экспериментальной оценки и математические модели явлений эрозионно-гидрологического процесса, в том числе водопоглощения при подтоке, особенно в лесонасаждениях, инфильтрации влаги в почву полевых и лесных угодий. Обоснована функция формы склона и уравнение для расчета смыва почвы и определения разнообразных морфометрических характеристик рельефа.

Garshinev E. A. Erosion-hydrological process and forest reclamation: Theory and models. – Volgograd, 1999. – 196 p.

New conceptual approaches to the theory of water infiltration into thawed and frozen soil, the evolution of sub-slopes and, in general, the relief of catchments during the erosion-accumulative process are substantiated. New methods of experimental evaluation and mathematical models of the phenomena of the erosion-hydrological process, including water absorption during inflow, especially in forest plantations, infiltration of moisture into the soil of field and forest lands, have been developed. The function of the slope shape and the equation for calculating soil flushing and determining various morphometric characteristics of the relief are substantiated.

ISBN 5-900761-06-1

© Е. А. Гаршинев, 1999

© Всероссийский научно-исследовательский институт агролесомелиорации, 1999

ВВЕДЕНИЕ

Функционирование девственных ландшафтов Земли определяется, с одной стороны, законами их эволюции (динамики) вследствие естественного изменения гидробиоклиматической ситуации, а с другой – относительно устойчивым соотношением (гомеостазом) взаимодействующих компонентов ландшафта. Антропогенное вмешательство обычно ведет к нарушению природного равновесия, деградации, а затем разрушению (катастрофе) ландшафтных комплексов – среды существования человека. Поэтому особую актуальность приобретает рационализация хозяйственной деятельности, ослабление и ликвидация ее неблагоприятных последствий влияния на биосферу. Стратегия и тактика такой деятельности предполагает знание природы процессов, управляющих функционированием ландшафтов, и выработку приемов и средств управления. Среди них особое место принадлежит растительности, в т. ч. древесной, на чем зиждется парадигма лесной мелиорации вообще и противоэрозионной лесомелиорации (ПЭЛМ) в частности.

Исследованиями отечественных и зарубежных ученых В. В. Докучаева, Г. Н. Высоцкого, А. С. Козменко, Г. А. Харитоновой, Г. Ф. Басова, И. П. Сухарева, А. А. Молчанова, Д. Л. Арманда, М. И. Львовича, Г. П. Сурмача, Х. Л. Пенмана и других выявлено огромное разнообразие влияния лесной растительности на гидрологический и эрозионно-аккумулятивный (в совокупности эрозионно-гидрологический) процессы в ландшафте. Ими обоснованы и разработаны подходы к объяснению и описанию процессов и явлений, созданию их моделей и выполнению инженерных расчетов. Однако многие аспекты эрозионно-гидрологического процесса (ЭГП), его специфики в ПЭЛМ и особенно при стоке талых вод остаются невыясненными. В силу изложенного целью работы является управление ЭГП в антропогенно преобразованном ландшафте приемами и средствами ПЭЛМ. Достижение цели осуществлялось по следующей схеме: анализ и систематизация известных подходов – выработка руководящей концепции – теоретическое обоснование модели – факторный анализ данных экспериментов – формирование математической модели и оценка ее адекватности – компьютерная ее реализация – инженерный расчет и проектирование.

Выдвинутые и обоснованные теоретические и методические подходы позволили систематизировать, проанализировать и обобщить экспериментальные материалы, рассмотреть с единых позиций модель антропогенной эволюции гидрологического и эрозионно-аккумулятивного процессов (ЭАП) в ландшафте, дать их количественную оценку в настоящем и прогноз на будущее, разработать систему мер управления ими. В работе использованы результаты экспериментальных исследований автора за 1962-1995 гг., выполненных им лично, и в 1971-1995 гг. под его научно-методическим руководством и при непосредственном участии в сотрудничестве с М. В. Арнаутовым, В. П. Борцом, С. А. Ботневой, Г. И. Васенковым, Е. Н. Грязновой, Т. Я. Зарудной, Я. К. Зарудным, С. Г. Кириченко, А. В. Колесниченко, В. М. Лешиным, А.П. Ложкиным, О. В. Ложкиной, Н. Н. Масютенко, Н. Е. Новиковым, Н.Е. Петелько, Н. Г. Сапрыкиным, Ю. М. Суковатовым, А. В. Терешкиным, В. М. Уваровым, С. И. Шкулевым. Всем им выражаю мою глубокую благодарность.

Автор неосцимемо признателен своему ныне покойному учителю д. с.-х. н. профессору Г. П. Сурмачу, идеи которого явились стимулом в самостоятельных исследованиях и, как надеется автор, получили дальнейшее развитие. Автор особо благодарен д. с.-х. н. А. Т. Барабанову за многолетнее тесное сотрудничество, поддержку и плодотворное обсуждение проблематики. Сотрудничество с к. ф.-м. н. А. Н. Салугиным позволило прояснить и реализовать некоторые фундаментальные физические подходы в разработке теории ЭАП, а с к. ф.-м. н. А. И. Ивановым и О. В. Балагурой – выполнить математические расчеты и численные эксперименты и обсудить их результаты.

В подготовке материалов, составлении программ и осуществлении расчетов большая работа выполнена О. Е. Базавовой, Т. А. Буровой, Н. Н. Овечко, И. Н. Андреевым, З. А. Кострюковой, Т. Я. Зарудной, Н. Г. Сапрыкиным.

ГЛАВА I

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОТИВОЭРОЗИОННОЙ ЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ

В главе излагаются наиболее существенные методические и методологические положения; более подробное описание методов исследований содержится в опубликованных автором или с его участием методических руководствах и статьях [14-18, 81, 83-84, 216-220 и др.].

Логично постановку задачи управления ЭГП средствами лесомелиорации начинать с определения самого средства управления, т. е. понятия лесомелиорации и противоэрозионной лесомелиорации как науки, ее **цели, предмета (объекта) и метода (методологии)***. Целью науки вообще является создание моделей (образов) мира путем его познания [205, с. 15] – добычи фактов и их объяснения; предметом служат явления (объекты и процессы) природы, а метод составляют средства и способы их познания. Методология есть не просто набор, сумма, а органическая совокупность, система средств (принципов, способов, методов) познания, обеспечивающая получение адекватного отражения (модели) объекта. Таким образом, налицо диалектическое единство предмета и метода науки. Согласно распространенному определению прикладной лесомелиорации как системы лесоводственных и лесохозяйственных средств ее целью является ослабление или ликвидация неблагоприятных факторов природной среды вообще и среды обитания человека в частности [247]; объектом – внешняя среда, а методом – лесомелиоративный способ воздействия на нее. При этом очевидно обнаруживается общность объектов и методов как лесомелиорации, так и других дисциплин – сельхозмелиорации, лесоведения. В этом общем определении не раскрыта специфика лесомелиорации, и для ее выделения в особую область знания и практической деятельности требуется четкое размежевание целей и предметов лесомелиорации и смежных с нею дисциплин, а также методологических подходов. Они должны быть адекватны специфическому (системно-физическому) уровню организации природы, исследуемой лесной мелиорацией.

*Триада наука-техника (технология) – практика составляет в значительной степени исчерпывающее содержание человеческой деятельности: 1) познание, 2) воплощение знания в прикладные полезности, 3) использование технических разработок в практике [83]. В главе рассматриваются в основном вопросы первого, научного (познавательного), этапа деятельности.

Предметом настоящей работы является противоэрозионная лесомелиорация, часть лесной мелиорации (синоним агролесомелиорации). Термины агролесомелиорация и защитное лесоразведение также употребляются как синонимы [247]. Это противоречит основному требованию научной терминологии – однозначному словоупотреблению понятия. Остановимся на вопросах терминологии.

Несмотря на то, что термин агролесомелиорация и определение ее предмета стандартизованы [96], дискуссии о содержании этого термина не утихают [135, 312].

Появление терминов лесная мелиорация и агролесомелиорация относится к началу XX в. В 1925 г. Г. Турский настаивал на употреблении терминов лесная мелиорация, лесомелиоративные работы в смысле мелиорации лесом, а не мелиорации леса [329, с. 35]. Такое же толкование лесомелиорации предлагал Н. И. Сус [316] и Р. П. Спарро [299]. Словоупотребление в мелиорации, когда за родовым существительным закрепляется объект, а за видовым прилагательным – название особого субъекта (способа, средства, агента) воздействия, утвердилось. Именно в этом смысле предлагал понимать лесо-, садо-, гидро-, агро-, фитомелиорацию А. С. Козменко, а мелиорацию лесоразведением – Г. Н. Высоцкий [67].

Появление словосочетаний лесоаграрная мелиорация, агролесомелиорация под защитой леса, мелиорация агро- и лесокультурного порядка и, наконец, агролесомелиорация [2] было попыткой расширить понятие лесомелиорации и дать термин понятию комплекса (системы) мелиоративных мероприятий, применяемого обычно наряду и в сочетании с чисто лесомелиоративными приемами. И в этом контексте агролесомелиорация (агролесная мелиорация [118], лесоагролесомелиорация [316]) в соответствии с общепринятым словоупотреблением чаще логично понималась как совокупная, комплексная (лесо + агро + гидро + луго и т. д.) мелиорация наряду с фитомелиорацией, противоэрозионной мелиорацией [162, 312].

В последующем четко определились два подхода к определению содержания терминов агролесомелиорация и агролесомелиоративные приемы (мероприятия): 1) отождествление лесомелиорации и агролесомелиорации, т.е. понимание агролесомелиорации только как мелиорации лесом независимо от того, применяется ли исключительно лесная или и в сочетании с ней другие мелиорации и 2) понимание агролесомелиорации как совокупности различных, в том числе лесомелиоратив-

ных, приемов. Первый подход преобладает у специалистов-лесомелиораторов [3, 238, 248], второй – у географов, гидрологов, земледельцев [4, 57, 250]. При этом в первом случае термин агролесомелиорация раскрывается как мелиорация лесом, лесная мелиорация «поля» (греч. *αγρος* или лат. *ager* – поле), т. е. этимологически нетрадиционно, вопреки общепринятому словообразованию. Очевидно, в этом смысле более правильным является употребление терминов лесомелиорация или лесная мелиорация, а также противоэрозионная лесомелиорация и т.п. Следует также признать, что и во втором случае применение термина агролесомелиоративные мероприятия вместо противоэрозионные, почвозащитные, почвоводоохранные и т. п. неудачно, ибо системы таких мероприятий включают не только агро- и лесомелиоративные.

Вместе с тем необходимо подчеркнуть, что и употребление «правильного» термина лесная мелиорация в понимании его только как мелиорация лесом не снимает трудности в определении предмета лесомелиорации в силу его специфики.

1.1. Цель и объект противоэрозионной лесомелиорации (общие положения)

1.1.1. Системы и модели

Определение целью науки создание модели ее объекта приводит к необходимости выделения его из множества объектов внешней среды, которую принято считать вообще некоторой системой в терминах теории систем. Для этого требуется привлечение понятийного аппарата теории систем, особенно сложных и даже больших систем [254], к которым обычно относят экосистемы, ландшафты и биосферу в целом. Поскольку такой аппарат для лесной мелиорации находится в стадии разработки, рассмотрим некоторые общие моменты теории систем.

Последние десятилетия характеризуются применением в науке системного подхода и моделирования, прежде всего в точных науках, а также в традиционно описательных – географии, ландшафтоведении, экологии, лесоведении [7, 296, 298], эрозиоведении, почвозащитном земледелии, лесомелиорации [10-11, 64, 108, 146, 181, 224, 248, 257, 275 и др.]. Однако, несмотря на несомненные научные и практические результаты, получаемые в рамках системного подхода, математического и особенно компьютерного моделирования, бытует мнение о том, что, во-

первых, все это не ново; во-вторых, что овладение системной методологией не обеспечивает автоматически желаемого результата; в-третьих, даже математическое моделирование в значительной мере есть искусство [11, 59]. Требуется ясность в вопросе.

Основателем «системологии» считается Л. Берталанфи, предложивший термин «система» и давший классическое ее определение: «Система есть комплекс элементов, находящихся во взаимодействии» [11, с. 9]. Это определение по сути равносильно утверждению, что весь мир и любая его составляющая являются системами (комплексами взаимодействующих элементов).

Предпосылки системного подхода содержались уже в работах А. А. Богданова по тектологии [36], еще раньше в методологии диалектики Г. Гегеля, К. Маркса, Ф. Энгельса [364] и даже в учениях философов и естествоиспытателей древности. Однако следует признать, что введение терминов и определение понятий именно системы, системного подхода и анализа, выявление системных законов оказалось исключительно плодотворным в формировании системной идеологии и методологии как одного из наиболее общих мировоззренческих принципов. Вместе с тем из методологии как принципа не могут быть получены автоматически методы (методики), специфические для каждой конкретной системы – предмета исследований.

Если определить в самом общем виде систему как объект (предмет) природы, а цель научной деятельности как исследование систем, то так же необходимо определить и способ (метод) исследования. Автор разделяет точку зрения Л. Льюнга, что «формирование моделей и исследование их свойств – вот, по существу, основное содержание науки (и вообще человеческой деятельности – Е. Г.)» [205, с. 15]. Таким образом, система выступает как оригинал, а модель – как образ оригинала. Этим, по определению, снимается противопоставление системного анализа (исследования) и моделирования в самом общем виде. Отсюда следует, что «... системный анализ и моделирование неразличимы. Понимать под первым только домодельный этап или моделирование тоже – дело вкуса...» [59, с. 33]. Так же определяют задачи системного анализа и моделирования Дж. Джефферс [103] и А. Бисвас [32].

Существует множество алгоритмов – рецептов любого моделирования, в том числе математического [59]. Наиболее существенными его моментами являются следующие.

Системный подход к изучению объекта предполагает, во-первых, его выделение (отграничение) из совокупности других, обычно в

той или иной степени взаимосвязанных объектов-систем внешнего мира [254, 337]. Это означает определение объекта исследований в качестве специфического уровня его системной организации. Уровень пространственно-временной организации любого системного объекта предусматривает выделение в нем состава – элементов-подсистем (они, в свою очередь, могут быть довольно сложными системами), их структуры – взаимного расположения элементов, связей (взаимосвязей) между ними, состояния (репертуара [11]), поведения – динамики состояний [11, с нашими дополнениями].

Этот алгоритм моделирования может быть дополнен и другими процедурами, но, по справедливому замечанию Ю. Б. Виноградова, хотя «с позиций системного подхода это (моделирование – Е. Г.) можно проделать более глубоко, правильно и быстро» [59, с. 33-34], суть дела не меняется и «... математическое моделирование (добавим: любое моделирование, т. е. познание – Е. Г.) не только наука, но и своего рода искусство» [59, с. 29]. Кроме того, следует особо подчеркнуть, что математическое моделирование хотя и является предельным, но все-таки этапом работы. Оно не может быть выполнено без того, что Д. Л. Арманд называл констатацией «очевидных фактов» и «простых утверждений» [11, с.5], а Ю. Б. Виноградов предварительным «тщательным изучением» и «всесторонним осознанием сложного природного явления» [59, с. 33], т. е. без разработки физически обоснованной концептуальной (феноменологической) качественно-описательной модели – совершенно необходимой предпосылки ее формализации. Без этого системный подход остается пустой декларацией, а математическое моделирование неосуществимо [59]. В последующих разделах настоящей работы на конкретных примерах будет показано, что системный подход и анализ являются хотя и необходимыми, но недостаточными условиями создания моделей. Это обстоятельство позволяет утверждать, что очевидная полезность системности исследований отнюдь не является гарантией успеха. Это относится и к уровню математического моделирования: в отдельных случаях численное компьютерное моделирование с использованием систем довольно сложных, но формально подобранных дифференциальных уравнений дает худшие и даже ошибочные результаты в сравнении с простыми регрессионными и качественно-описательными моделями. И часто весьма простые, на первый взгляд, даже примитивные, но предельно ясные модели гарантируют больший успех, чем без нужды усложненные и внешне математизированные, но ошибоч-

ные, не отражающие сути исследуемого предмета образчики так называемого «математического снобизма» [11, с. 3].

Исходным моментом системного анализа является определение класса системы, т. е. уровня организации, к которому она относится. Основу современной классификации наук и составляет главным образом уровень организации систем – объектов конкретной науки [337]. По этому принципу выделяются, например, физика, химия, биология, социология; ядерная, атомная физика, физика твердого тела и «стыковые» науки (физикохимия, биофизика, молекулярная биология и т.п.). Таким образом, для определения предмета (объекта) лесомелиорации требуется выделить ту область физических («физика» лесомелиорации) и иных явлений, которыми оперирует эта сфера целенаправленной человеческой деятельности. Очевидно: выделение ее объекта предполагает по самой своей сути рассмотрение лесомелиорации в совокупности других, в той или иной степени с ней связанных научных дисциплин.

1.1.2. Особенности объекта и методологии лесомелиоративных исследований

Лесная растительность является неотъемлемой частью естественного ландшафта всех природных зон Земли, за исключением полярных и высокогорных пустынь. В ходе естественной эволюции леса выработались его многообразные связи с компонентами природной среды – воздухом, водой, почвой, микро- и макроорганизмами. Это давно отмечалось классиками отечественной школы лесоведения и биогеоценологии Г. Ф. Морозовым, Г. Н. Высоцким, В. Н. Сукачевым [68, 231, 243] – предшественниками современного учения о сложных системах, в том числе о лесных сообществах (В. Б. Сочава [298]). Сопоставляясь с принципом обратной связи экосистем, можно утверждать, что как лесная растительность является продуктом внешней среды, так и внешняя среда в определенном смысле является продуктом растительности вообще и лесной в том числе. Отсюда следует, что охрана среды обитания человека предполагает не только охрану лесной растительности, но и использование ее средообразующих (по Е. С. Павловскому [245-246, 248] свойств.

Этимологически лесомелиорация (синоним лесная мелиорация, мелиорация лесом) означает мелиорацию (улучшение) объектов при-

родной среды лесной растительностью (лесом)*. Иными словами, лесная мелиорация предполагает воздействие лесной растительности на природную среду, ее поддержание и (или) изменение в желательном направлении. Не обсуждая достаточность определения, а также возможность и пределы «улучшения» природной среды, отметим, что в любом случае речь идет о воздействии на природную среду, а точнее, о взаимодействии лесной растительности и природной среды (естественной и антропогенно измененной). Автор является сторонником расширительного понимания лесомелиорации как средства не только изменения антропогенно ухудшенной (деградирующей и деградированной) среды, но и ее динамически равновесной стабилизации независимо от уровня антропогенного воздействия. Это практически совпадает с понятиями многофункциональной средообразующей роли лесной мелиорации в ее эколого-ландшафтной интерпретации [58, 245-246, 248] и системной лесомелиорации в терминах системного подхода [11, 28, 32, 103, 205, 254, 366]. (Между прочим, с этих позиций ясно, что целью лесной мелиорации, как считают, не может быть определение оптимального соотношения леса, пашни и других угодий. Это лишь одна из важных, но, несомненно, частных ее задач. Целью лесомелиорации следует признать достижение средообразующего (мелиоративного) эффекта.)

Очевидно: от формулировки в самом общем виде средообразующей роли лесной растительности до установления качественного характера ее взаимосвязей с внешней средой, а тем более до количественного их выражения в виде отдельных математических зависимостей и целостных моделей – огромная дистанция. Реализация задачи инженерного расчета в ПЭЛМ связана не только с количественной оценкой различных факторов (характеристик), но с их формализацией той или иной математической моделью, отражающей связи (взаимосвязи) факторов. Построению модели предшествует качественно-описательный этап исследования. При этом выделяются факторы и их взаимосвязи, а также обосновываются необходимые упрощения, ограничения, допущения при построении модели объекта [7, 11, 59, 176, 199, 337]. Рассмотрим их в общем виде.

Лесные насаждения в ПЭЛМ выполняют чрезвычайно многообразные ветроломные, стокорегулирующие, агрономические, почвоза-

* Лес – элемент географического ландшафта, состоящий из совокупности древесных, кустарниковых и травянистых растений, животных и микроорганизмов, в своем развитии биологически взаимосвязанных, влияющих друг на друга и на окружающую среду [95].

щитные и иные мелиоративные средообразующие функции, обусловленные взаимодействием растительности с атмо-, гидро- и педосферой (рис. 1.1). Воздействуя на процессы турбулентного воздухообмена в приземном слое воздуха, защитные лесные насаждения (ЗЛН) оказывают значительное влияние на перераспределение выпавших осадков (главным образом снега), температуру воздуха и почвы, замерзание и оттаивание почвы, интенсивность снеготаяния, инфильтрацию влаги в почву, склоновый сток, эрозию и аккумуляцию мелкозема на прилегающей территории. Это влияние обусловлено спецификой лесной растительности как особого компонента природной среды.

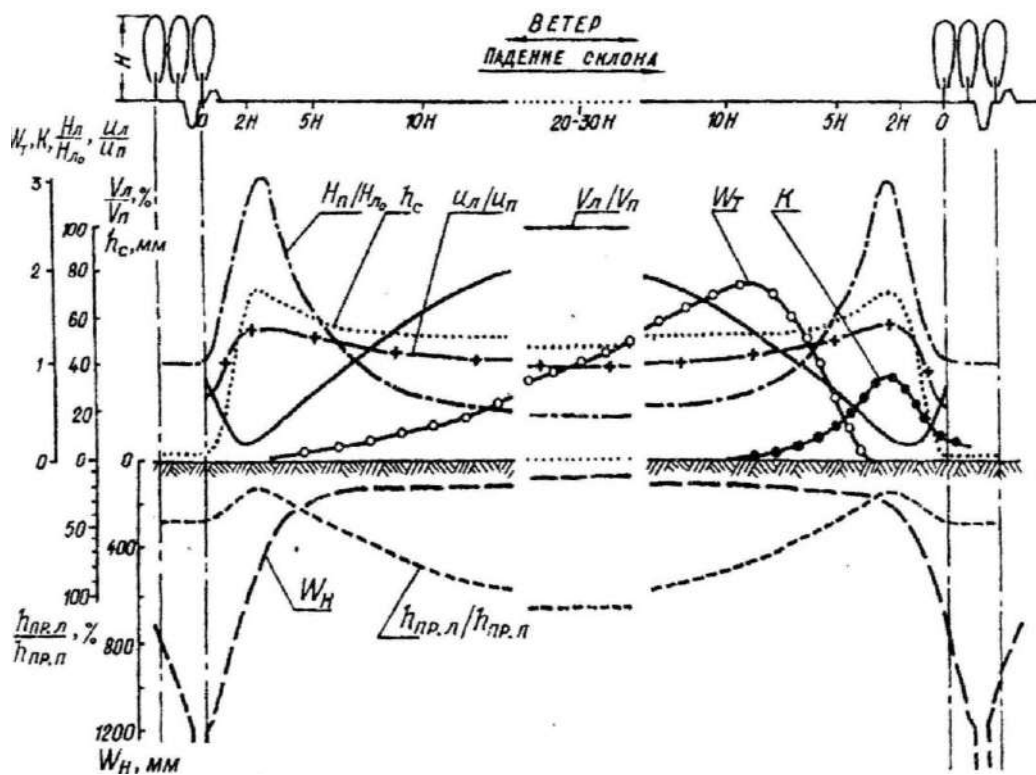


Рис. 1.1. Концептуальная модель (схема) мелиоративного действия противозерозионных лесополос (ЛП):

$V_{л}, V_{п}$ – скорость ветра, $H_{л}, H_{п}$ – высота снега, $h_{пр.л}, h_{пр.п}$ – глубина промерзания почвы, $W_{л}, W_{п}$ – водопоглощение, $h_{с}$ – сток талых вод, $W_{т}$ – смыв почвы текущий, K – кольматаж мелкозема, $u_{л,п}$ – урожайность. Индекс «п» означает открытое поле вне влияния ЛП и «л» – защищенное лесополосами поле или лесополосу (лес – л.)

Таким образом, в лесной мелиорации вообще и ПЭЛМ в частности мы имеем дело с довольно сложными, значительными по размерам и охватывающими значительные временные отрезки процессами.

ПЭЛМ, являясь составной частью лесомелиорации, стоит, с одной стороны, в иерархическом ряду с приемами противоэрозионной мелиорации (агротехническими, гидротехническими, лугомелиоративными), а с другой – с лесомелиорацией аридных территорий, «противодефляционной» и т. д. От первых она отличается средством (субъектом) воздействия на экосистемы, а от вторых – объектом, спецификой воздействия и (или) сферой экосистем (атмосфера, педосфера и т. д.). ПЭЛМ находится на разных ступенях иерархической вертикали преимущественно земледельческих способов влияния на экосистемы, преследующих хотя и единую цель получения средств существования человека (в первую очередь продуктов питания), но разными приемами.

Человек, как биологический вид, эволюционно появляется и существует лишь за счет потребления растительных и животных продуктов питания. Основным их источником в условиях современной цивилизации является земледелие, базирующееся на использовании ресурсов почвенного плодородия. Они в первую очередь есть продукт биосферы, исходным звеном в трофических цепях которых является биомасса. Поэтому стабильное и нарастающее получение продуктов питания на основе земледелия возможно лишь при восполнении и (или) расширении воспроизводства ресурсов почвенного плодородия. Это достигается главным образом на основе фитомелиорации, в т. ч. лесо- и лугомелиорации, при использовании биомассы культурных растений. Следовательно, концептуально любая система земледелия по необходимости есть система фитомелиоративная, отличающаяся лишь балансом прихода – расхода биомассы.

Такая постановка вопроса означает, что для устойчивого и возрастающего производства земледельческих средств существования человека необходимо знание законов функционирования природных и преобразованных человеком экосистем (класс сложных систем) и возможностей разумного управления ими.

Таким образом, объектом (предметом) науки лесомелиорации в самом общем виде являются экосистемы в пределах от приземного слоя атмосферы до границ зоны аэрации почвогрунта. Что касается предмета ПЭЛМ как науки, то им очевидно являются экосистемы с наличием эрозионно-гидрологического процесса (ЭГП). Для сужения предмета ПЭЛМ, позволяющего отделить его от предмета сопредельных научных дисциплин, приемов и средств мелиорации экосистем, требуется определить специфические черты лесной мелиорации (и ПЭЛМ), отличающие ее от других мелиораций.

Предложено много качественных и количественных моделей и особенно их фрагментов, отражающих те или иные функции ЗЛН: ветроломные [287], снегораспределительные [48, 187], стокорегулирующие, противозэрозионные [310, 340] и др. Они обычно весьма схематичны или довольно эмпиричны, так как построены почти исключительно на конкретном фактическом (экспериментальном) материале. Разработаны и более сложные, в том числе в разной степени системные, модели [10, 53, 107, 112, 171, 384]. Из математических моделей ветроломного и стокорегулирующего действия ЗЛН наиболее известны модели Д. Л. Арманда [10]. Модели противозэрозионных функций ЗЛН, особенно при стоке талых вод, часто очень приблизительны. И вообще «... в отношении эрозии почв при снеготаянии... не создано еще достаточно обоснованных, хотя бы эмпирических моделей» [193, с. 65].

На рис. 1.1 представлена схема принципиальной (концептуальной) модели эрозионно-гидрологических и связанных с ними функций ЗЛН. При всей схематичности картины качественного и количественного изменения характеристик модель иллюстрирует важную их специфику, обусловленную особенностями ЗЛН, а именно: «зональность», т. е. четко выраженную зависимость характеристик от расстояния до ЗЛН. Это объясняется в первую очередь особенностями режима скорости ветра. Резкое ее уменьшение в ЗЛН и прилегающей к ним зоне приводит к формированию снежных шлейфов. Далее изменение скорости ветра влияет на температурный режим почвы, замерзание, размерзание, водопроницаемость, неравномерный сход снега при таянии. Поэтому в межполосном пространстве условия формирования стока и обусловленного им смыва приобретают четко выраженную специфику в сравнении с открытыми, без лесополос, местоположениями. Смыв происходит прежде всего на обнажившихся при таянии снега участках, а в зоне снежных шлейфов он отсутствует (под нижними шлейфами верхних лесополос) или сменяется кольматажем мелкозема (на верхних шлейфах нижних лесополос). При изменении формы склона картина эрозии-аккумуляции еще более усложняется.

Таковы в общих чертах качественные особенности модели ЭГП в системе ЗЛН; количественные же ее характеристики рассматриваются в главе 2.

Существенными моментами, определяющими мелиоративное воздействие ЗЛН на территорию, являются следующие.

Во-первых, ЗЛН «обитают» в двух средах – атмосфере и почве. Отсюда проистекают и два главных способа их воздействия на среду:

через атмосферу (надземной частью древесных растений) – аэромелиоративное – и через почву (опадом, корнями растений) – педомелиоративное. Связующим звеном между атмо- и педосферой является гидросфера – влага воздуха, атмосферных осадков, спорадически возникающего поверхностного стока, запасы влаги в зоне аэрации, верховодка и грунтовые воды.

Во-вторых, действие ЗЛН проявляется как непосредственно местно, локально (под пологом насаждений), так преимущественно косвенно пространственно [83]. В зависимости от целевого назначения и местоположения ЗЛН, региональных природно-хозяйственных условий ведущим может быть локальное или пространственное влияние. Для значительной части территории в районах вредоносной ветровой деятельности (дефляция, суховеи, метели) и эрозии пространственное, в первую очередь аэромелиоративное, влияние играет решающую роль. Осознание в полной мере этой очевидности имеет громадное методологическое значение для лесомелиорации как науки и области практической деятельности. Очевидно, что пространственное влияние и составляет наиболее существенное свойство ЗЛН, обеспечивающее их лесомелиоративный территориальный эффект. На данное обстоятельство в 1928 г. обращал особое внимание Г. Н. Высоцкий: «... к учению о лесе (т. е. о локальном влиянии леса на среду его непосредственного обитания – Е.Г.) следует добавить еще особое учение о влиянии леса на другие уголья, на климат, на оборот влаги и т. п. Это называлось аффектированным влиянием леса (Рузский), но мы предпочли бы название внешней лесной пертиненции (от слова *pertineo* – простираюсь, имею влияние). Внутренняя же пертиненция это ...внутренние условия произрастания леса, присоединяющиеся к внешним. Этот отдел лесоведения, ...отдел учения о лесной пертиненции должен приобрести особое значение» [67, с.7]. Термин пертиненция не прижился, а вместе с ним и особая роль пространственного эффекта отошла в тень.

Этим, на наш взгляд, определяется тот парадокс, что лесная мелиорация до сих пор определяется главным образом как «система лесоводственных и лесохозяйственных мероприятий». Тем самым, безусловно, сужается ее предмет. «Деятельность и задачи лесомелиоратора чисто лесоводственные, лесокультурные... Как только лес будет создан и достаточно окрепнет, – работа лесомелиоратора кончается...» [329, с. 33]. Это до сих пор часто сводится к призыву в лесомелиоративных исследованиях «иметь 90% лесомелиорации», т.е. работ лесо-

водственных, технологических, цель которых главным образом создание и формирование ЗЛН соответствующего состава и конструкции, обуславливающих их устойчивость и влияние на прилегающее пространство. Иными словами, внимание лесомелиораторов обращается на заботу о характеристиках самого насаждения, определяемых чисто лесоводственными и лесохозяйственными приемами. Споры нет, что для лесомелиорации территории требуется создание таких насаждений, но этим задача не исчерпывается.

В-третьих, при переходе по вертикали от атмосферы к кронам и подкроновому пространству ЗЛН, к почве и подпочве, а также по горизонтали – от подкронового пространства к опушке и прилегающему полю – налицо трансформация, преобразование качественных и количественных характеристик энергомассопереноса, а в ряде случаев – даже изменение их направления. Кривые изменения разнообразных аэро-, гидрологических и агрометеорологических характеристик имеют специфический вид с наличием особых точек: экстремумов (максимумов и минимумов) и перегибов в непосредственной близости от ЗЛН, обычно до 5-10 их высот. Это обусловлено прямым (скорость ветра и турбулентность) и (или) косвенным (снегоотложение, промерзание и увлажнение почвы, эрозия–аккумуляция) воздействием ЗЛН на ветровой поток. (Подчеркивание особой роли ЗЛН в преобразовании в первую очередь ветрового режима территории не означает, что радиационный и тепловой режимы, почвенные, гидрофизические и гидродинамические процессы вовсе не играют самостоятельной роли. Но их модификация под влиянием ветра очевидна.) Таким образом, ближайшая к ЗЛН зона является ареной наибольших закономерных (детерминированных) изменений (точки перегиба) аэрогидрологических характеристик и их знака (точки экстремумов). При движении в глубь насаждения и к открытому пространству кривые принимают асимптотический вид с усилением случайной вариации характеристик и полным переходом к ней, что свидетельствует о переходе процессов в стационарный (квазистационарный) режим.

Отчетливое преобладание детерминированного характера процессов в переходной зоне, в отличие от вероятностного на ее границах (ЗЛН, открытое поле), является одной из важнейших специфических особенностей лесомелиоративного эффекта.

Это позволяет полагать наличие своеобразной **физики лесомелиоративного действия** ЗЛН, которая не сводится к «локальным»

физикам поля и леса, а является физикой перехода в подсистемах «атмосфера – ЗЛН – поверхность почвы – почвогрунт» и «ЗЛН – опушка – приопушечное пространство – открытое поле». Специфика этих переходов не может быть описана простой экстраполяцией как в направлении атмосфера – почва, ЗЛН – поле, так и обратно, поскольку их изменение носит явно нелинейный характер (см. рис. 1.1). Иными словами, сущность лесомелиоративного эффекта не может быть раскрыта исследованиями только в лесных насаждениях и в открытом поле, требуется специальная ее разработка.

Мы не останавливаемся на других сторонах взаимодействия ЗЛН с прилегающей территорией, обусловленного биологической природой древесных растений и достаточно сложными химическими, биофизическими и т. п. взаимодействиями в подсистемах «растение – атмосфера», «растение – почва», «растение – животный мир». При всей важности они все-таки играют подчиненную роль, испытывая влияние указанных абиотических (главным образом аэрогидрологических) факторов.

Итак, можно сказать, что **предметом** лесной мелиорации является физика аэрогидродинамических процессов в переходной зоне «ЗЛН – внешняя среда (атмо-, педо-, гидросфера)». Если не претендовать на строгость и завершенность этого определения, необходимо подчеркнуть главное – объектом исследований в лесомелиорации являются физические процессы в переходной зоне «ЗЛН – прилегающее пространство (поле, пастбище, водоем и т.п.)». В этом смысле нет какой-либо особой «физики лесомелиорации», фундаментальных лесомелиоративных явлений и процессов. Есть только физика аэрогидродинамики. В то же время можно говорить о «лесомелиоративной» аэрогидродинамике в том смысле, в каком она определяется свойствами особого биологического объекта – ЗЛН. Это диктует необходимость привлечения в сферу лесомелиорации всего арсенала знаний соответствующих наук. Специфика же объекта определяет способ (метод) его исследования и особый инструментарий.

Методом лесной мелиорации, позволяющим адекватно раскрыть закономерности физики переходов, является метод градиентных сечений (трансекты-профили, динамические площадки на разных расстояниях от опушек и т. п. [72, 180, 211, 256]).

Резюмируя изложенное и учитывая определение цели любой науки вообще, можно утверждать, что у лесомелиорации как науки есть единственная («вечная») цель – разработка научных основ «фи-

зики лесомелиорации», обусловленной специфической сутью мелиоративного действия ЗЛН. Эта цель однозначно определяет концептуально-методологическую основу лесной мелиорации как науки в целом и ее отдельных (частных) составляющих – лесомелиорации сельскохозяйственных территорий, естественных угодий, противоэрозионной, противодефляционной лесомелиорации и т. д.

Такая трактовка вопроса вносит ясность в выработку концептуальной основы прикладной (технической, технологической) лесомелиорации и защитного лесоразведения как важнейшего средства реализации мелиоративного эффекта. Именно специфика физических процессов в той или иной сфере лесомелиорации определяет способы создания (разведения) ЗЛН и их отличительные особенности: конструкцию, породный состав, ширину и т. п. Специфика физических процессов, обуславливающих эрозию-аккумуляцию мелкозема, снегоперенос-аккумуляцию, изменение температурного и водного режима в переходной зоне и т. п., влияет на особенности лесоразведения в целях защиты почв средствами лесомелиорации.

Это проводит границу между лесомелиорацией и защитным лесоразведением и означает некорректность их отождествления. Без защитного лесоразведения невозможно реализовать лесомелиоративный эффект, но с созданием ЗЛН задачи собственно лесоразведения завершаются, а лесной мелиорации – начинаются. Более того, лесомелиоративный эффект, первоисточником которого являются ЗЛН, только созданием насаждений не может быть реализован, необходима соответствующая адаптация, перестройка способов, приемов хозяйственной деятельности (земледельческой, животноводческой, растениеводческой, рекреационной и т. п.), которая не может быть осуществлена в рамках собственно лесоразведения.

На этом же основании понятна нецелесообразность отождествления лесомелиорации и агролесомелиорации, понимаемой как лесная мелиорация сельскохозяйственных территорий. Не обсуждая чисто терминологические моменты, отметим лишь заведомо очевидное сужение сферы действия лесной мелиорации только сельскохозяйственной территорией и пренебрежение ее совокупным ландшафтным, средообразующим эффектом. Это тем более важно, что выделение одной, хотя и важной, функции лесомелиорации сильно затрудняет ее системное изучение.

Определив таким образом цель, предмет и метод лесомелиорации, легко отделить ее от смежных дисциплин – прежде всего от ле-

соведения и земледелия. Земледелие стоит одним из первых в ряду смежных дисциплин потому, что прикладная лесомелиорация используется в первую очередь для воздействия на сельскохозяйственную территорию. Уже по своему местонахождению лесомелиорация есть «лес среди полей». Она «между лесом и полем», между лесоведением и земледелием. Поэтому она не есть лесоведение и земледелие, но в то же время и лесоведение и земледелие. От лесоведения ее отличает целевая направленность получения знания: образно выражаясь, не «к лесу», не «для леса», а «от леса» – к внешней среде.

К «чистому» лесоведению она не может принадлежать потому, что в лесоведении главное – лес и «под лесом», т.е. преимущественно местное, локальное влияние леса. Пространственное влияние леса – это, так сказать, побочный интерес лесоведения. (Не следует понимать это утверждение как попытку «изъять» из сферы лесоведения вопросы трансгрессивного влияния лесов на атмосферный влагооборот и гидрологический режим территории вне насаждений. Вместе с тем лесные полосы, как наиболее распространенный тип мелиоративных насаждений, имеют существенно отличную специфику по сравнению с массивными лесами. Если уж говорить о связи лесоведения с лесомелиорацией, то более уместно выделять «мелиоративное лесоведение» или «лесоводческую мелиорацию», целенаправленно изучающие именно мелиоративное воздействие на территорию вообще любых лесных (и даже не лесных) насаждений, а не только леса в его традиционном понимании). В лесомелиорации же главное «от леса» не собственно лесная среда, а влияние на прилегающую территорию. Получение именно пространственного влияния и удовлетворение запросов земледелия, его интересов существенно изменяют «лес» в лесной мелиорации, обуславливают специфические требования к лесному насаждению, его перестройку для максимальной реализации главного функционального назначения. Уходя корнями в лесоведение, наследуя специфически лесные качества, лесная мелиорация вместе с тем под влиянием запросов объекта мелиорации сильно преобразует сам облик исходного насаждения, принимающего порою совершенно экзотические формы в виде кольцевых лесополос при орошении «Фрегатом» или «Кубанью» [302] или крайне разреженных «саванных» [255] посадок.

Будучи своеобразным земледельческим «орудием», лесная мелиорация в то же время настолько отличается от традиционных земледельческих средств, что ее трудно считать обычной составной ча-

стью земледелия, его отделом, каким являются в земледелии, например, системы обработки почвы, удобрений, севооборотов и т. п. Правоммерно признать совершенно особую, специфическую «земледельческую лесомелиорацию» или «лесомелиоративное земледелие» на тех же основаниях, которые позволяют, например, выделять в особую область биотехнологию (генную инженерию).

В связи с этим затронем острозлободневную и дискуссионную тему о том, кто должен разрабатывать систему лесомелиоративного земледелия – лесомелиораторы или земледельцы. Наиболее логично, чтоб этим занимались те и другие порознь и вместе. Практически же этим не занимаются ни те, ни другие. В этом основная причина того, что земледельцы пеняют на лесомелиораторов за «неправильные» и «вредные» лесополосы, а лесомелиораторы упрекают земледельцев в неправильном использовании лесополос. Кто прав? Правы и неправы одновременно обе стороны. Лесная мелиорация является исключительно сильным средством воздействия и, как любое такое средство, при неправильном применении может нанести вред. В самом деле, неграмотное и бессистемное применение таких сильнодействующих средств, как минеральные удобрения и пестициды, наносит огромный, часто непоправимый ущерб природе, но разве это является аргументом против защиты растений или в пользу «отмены» элементов их питания? Абсурдность такой постановки вопроса изначально очевидна, между тем по отношению к лесомелиорации она широко бытует. И если в первом случае правильным решением является поиск разумной стратегии поведения, то во втором – вопрос зачастую решался привычными волюнтаристскими методами. Между тем более чем столетний опыт лесной мелиорации неопровержимо свидетельствует о том, что культурное земледелие и лесная мелиорация есть органическое целое, особенно в экологически неблагоприятных ситуациях.

По глубокому убеждению автора, споры между лесомелиораторами и земледельцами беспочвенны. В идеале учреждения земледельческого профиля в такой же мере должны заниматься разработкой лесомелиоративного земледелия, в какой лесомелиоративные учреждения – разработкой земледельческой лесомелиорации.

Итак, в методологическом аспекте совершенно ясно, что именно должно попадать в сферу исследований лесомелиорации и какие именно последствия мелиоративного влияния будут иметь наибольшее значение для практики, особенно земледельческой. Тем не менее, продол-

жает быть остродискуссионным вопрос, в какой области знания и практики должен реализовываться лесомелиоративный эффект. Оставляя открытым вопрос о том, является ли переходная область ЗЛН – поле сферой земледельческой лесомелиорации или лесомелиоративного земледелия и кем она должна осваиваться в первую очередь – лесомелиораторами или земледельцами, подчеркнем лишь настоятельную необходимость его решения. Что в этом направлении науку и практику ожидают новые нетривиальные результаты, свидетельствуют успехи не только многих «стыковых» наук, но и оригинальные результаты, полученные В. В. Захаровым [124] и под его руководством.

Отдавая приоритет физическим аспектам пространственного влияния лесомелиорации в экосистемах, не следует понимать дело так, что остальные биологические и технологические аспекты лесомелиорации не важны. Этим только подчеркивается, что биологии древесных пород, их семеноводству, питомническому делу, технологии защитного лесоразведения, ассортименту пород, защите насаждений от вредителей и болезней и т. п. отводится важная, но очевидно служебная роль. Ясно, что без успешной разработки всех этих направлений невозможно создание самого средства лесомелиорации экосистем, однако это создание без выполнения ЗЛН мелиоративных функций, без их исследования и оценки, без создания моделей мелиоративного влияния ЗЛН в значительной степени утрачивает смысл.

Особое, промежуточное положение «лесомелиоративной физики», во-первых, значительно усложняет задачу лесомелиоративных исследований вследствие самой сложности физики переходных (пограничных) процессов и явлений. Во-вторых, создание высококачественного теоретического аппарата лесомелиорации предполагает его «стыковку» с «обычными» физиками, их взаимопроникновение. Это обстоятельство имеет решающее методологическое значение для лесомелиорации. Если земледелие и лесоведение при постановке исследований вполне могут обходиться локальными оценками различных физических характеристик, то в лесомелиорации такой подход заведомо обречен на неудачу. Методология лесомелиорации строится на исследовании процессов по всей цепочке поле – приопушечная зона – ЗЛН. Если же учесть, что пространственное влияние ЗЛН обнаруживается как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях, то методология лесомелиоративных исследований еще более усложняется. Кроме того, хотя в лесомелиорации находят применение почти все физические методы сопре-

дельных научных дисциплин, часто возникает необходимость их модификации, приспособления к специфике лесомелиоративной методологии.

1.2. Методология исследований в противоэрозионной лесомелиорации

1.2.1. Общие положения

Хотя ПЭЛМ и является частью лесной мелиорации, во многих отношениях ее предмет и методология сложнее, чем в других разделах лесомелиорации. Это определяется не только сложностью и динамичностью ЭГП (рис. 1.2). Необходимо учитывать рельеф, сильно меняющийся при переходе от точки к отрезку склона, «элементарному водосбору», балочно-долинной гидрографической сети. Часто требуются и все характеристики ветрового, температурного, водного режимов и почвенных условий, обычные при исследованиях только ветроломного или почвоулучшающего влияния ЗЛН, размещенных на практически ровных территориях, требуется знание ветрового режима и обусловленного им прихода-расхода твердых осадков, микроклиматических характеристик межполосных пространств и режима влажности почвы без учета потерь осадков на сток, то в ПЭЛМ сток выполняет роль главного агента эрозионно-аккумулятивного процесса. Это значит, что для познания его закономерностей требуется оценка всех основных статей водного баланса и управляющих ими факторов, среди которых в системе ЗЛН на склонах решающую роль играет ветровой режим. Таким образом, оценка ветроломных функций ЗЛН в ПЭЛМ имеет немаловажное значение. И если при исследовании ветроломных насаждений обычно их стокорегулирующими и противоэрозионными функциями можно пренебречь, то в ПЭЛМ без их оценки многие вопросы стокорегулирования и почвозащиты решены быть не могут. Другой пример. При оценке противодефляционных свойств лесных полос их влияние на прилегающее поле в значительной степени зависит от состояния его поверхности, определяемого возделываемой культурой и особенностями обработки почвы. Здесь явно имеет место вектор влияния ЗЛН – поле и в меньшей степени поле – ЗЛН. В ПЭЛМ же вектор поле – ЗЛН часто имеет решающее значение не только потому, что агент ЭАП – сток поступает именно с поля в ЗЛН, а и потому, что агрофон поля и способ его обработки в сильнейшей степени влияют на условия формирования стока. Поскольку стокорегулирующие функции ЗЛН определяются

массой поступающей со склона воды, требуется учет и увязка насаждений с системой агротехнических и других стокорегулирующих приемов, т.е. в конечном итоге со всеми составляющими системы противоэрозионных мероприятий. Иными словами, в ПЭЛМ особую актуальность в теоретическом аспекте имеет оценка всей совокупности физических процессов в системе полевой (открытый) склон – приопушечная зона – ЗЛН.

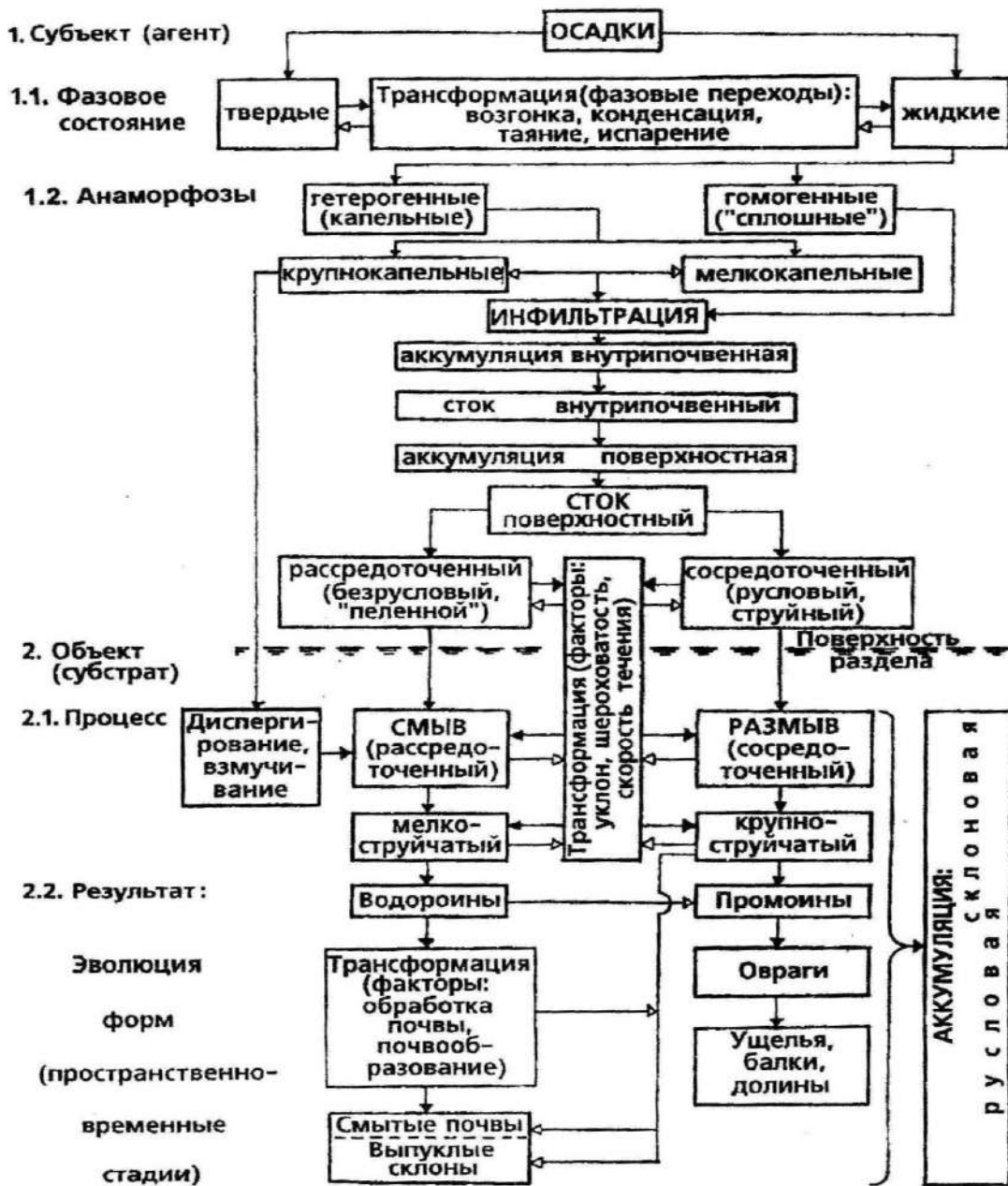


Рис. 1.2. Принципиальная блок-схема эрозионно-гидрологического процесса

1.2.2. Методы оценки эрозионно-гидрологического процесса

Сложность объекта ПЭЛМ диктует необходимость изучения разнообразных физических явлений и процессов, в первую очередь гидрологических и эрозионно-аккумулятивного, для краткости объединяемых понятием ЭПП. Поэтому требуется оценка основных факторов, обуславливающих баланс осадков, рельефа местности и др.

Для решения задач теоретических исследований и прикладных разработок в противоэрозионной лесомелиорации в целом и в ПЭЛМ в частности широко применяются разнообразные и взаимосвязанные методы экспериментальных исследований. Ведущая роль среди них принадлежит методам комплексных и элементарных стоковых площадок, моделированию в полевых и лабораторных условиях на малых площадках и монолитах, в гидравлических лотках и других специальных установках и приборах. Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки, а также область предпочтительного применения [26, 81, 216, 218-222, 262, 267, 270, 354, 370, 377, 389]. Лотки, монолиты микроплощадки применяются для выявления, качественной и количественной оценок главным образом закономерностей ЭАП, стоковые площадки – для сравнительной оценки эффективности отдельных приемов и их сочетаний в полупроизводственных условиях, водосборы – для производственной проверки и мониторинга за эффективностью комплексов почвозащитных мероприятий, их фрагментов или отдельных приемов.

Методы лабораторно-полевого эксперимента (физического моделирования) в большей мере рассчитаны для исследования ЭПП при стоке дождевых вод и в меньшей мере – талых.

Ведущим в ПЭЛМ до настоящего времени является полевой эксперимент. В нем наиболее широко применяется метод стоковых (воднобалансовых, эрозионно-гидрологических) площадок для оценки стока и эрозии. Этот метод вошел в практику исследований с конца XIX – начала XX вв., но наиболее широко стал применяться начиная с 30-40-х годов [23, 237, 341].

Особое место в ПЭЛМ получили комбинированные стоковые площадки. Они включают сочетание нескольких фонов (угодий): пашня – лес, пашня – луг и т.п. – и различаются размерами (обычно большими, чем для элементарных площадок) и раздельным (помимо интегрированного) учетом стока и наносов по границам угодий [139, 228].

Со времени первого известного применения комбинированных стоковых площадок Г. А. Харитоновым в 1936 г. [340] полевой опыт в

лесомелиорации почти 40 лет строился по схеме: полевой склон до опушки лесополосы (контроль), то же + ЗЛН [228].

Лишь в 1967 г. методикой отдела защиты почв от эрозии ВНИАЛМИ в схему опыта были включены варианты с лесным (ЗЛН, изолированное от подтока с поля), а в 1975 г. [139] – с собственно полевым (вне зоны снежного шлейфа) контролем. Существенно важной была рекомендация дифференцированного учета ЭГП на всем межполосном пространстве между двумя лесополосами (верхней и нижней) на склонах, а также предложение о закладке стоковых площадок как в верхней, так и в нижней шлейфовых зонах у лесополосы. Это, во-первых, позволило превратить полевой опыт в ПЭЛМ в обычный полнофакторный, а во-вторых, учесть пространственное влияние ЗЛН на ЭГП.

Метод активного полевого эксперимента в изучении ЭГП. При многих достоинствах (простота устройства и измерения необходимых характеристик стока и эрозии) стоковые площадки обладают и рядом существенных недостатков. Главным из них является практически полная зависимость исследователя от погодных условий, определяющих слой и интенсивность стока. Кроме того, при использовании этого метода высоки требования к репрезентативности опытного участка.

Рамки проведения активного эксперимента существенно раздвигаются при использовании подтока (напуска) по методу, защищенному а. с. 886766 [14]. Его сущность состоит в том, что необходимая для эксперимента вода с полевого склона (стокообразующего фона – СФ) сначала собирается в прудке вала, а затем водосливами или сифонами подается в требуемых количествах на опытные делянки (ОД).

На рис. 1.3-1.6 приводятся принципиальная и типовая схемы выполнения эксперимента и размещения вариантов опыта для оценки эрозионно-гидрологических характеристик в зоне снежных шлейфов, межполосном пространстве протяженностью соответственно $L_{шл}$ и $L_{мп}$ и в лесополосе [217].

По типовой схеме (см. рис. 1.6) опыт закладывают с разными вариантами, объединяемыми в несколько блоков. В блоке А выполняют оценку роли верхних, в блоке В – нижних снежных шлейфов, в блоке Б – самого лесного насаждения. В блоке Г размещают варианты для оценки факторов ЭАП при моделировании в режиме стабильного подтока. Блок А включает стандартные стоковые площадки, предназначенные для получения критериев перехода от метода напуска к стандарту.

В зависимости от целей и этапа исследований опыты в блоках А и В закладываются на одном агрофоне (например, зябь) или в севообо-

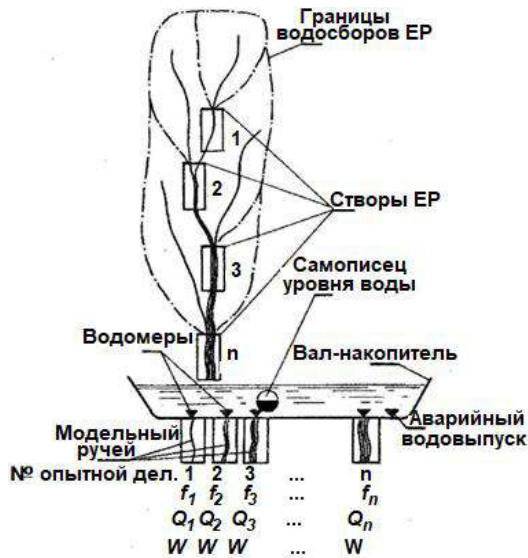


Рис. 1.3. Принципиальная схема полевого моделирования ЭАП

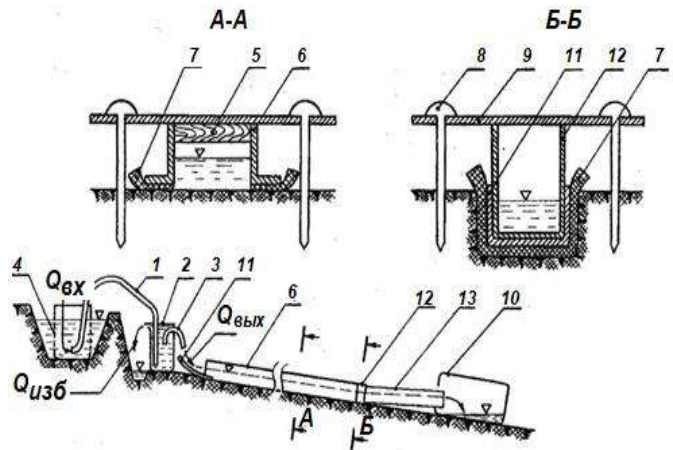


Рис. 1.4. Схема напуска воды в модельный ручей

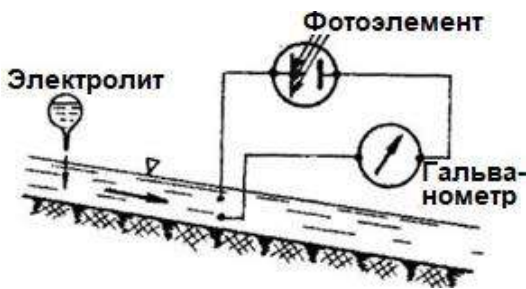


Рис. 1.5. Схема измерения скорости течения в ручье с помощью люксметра

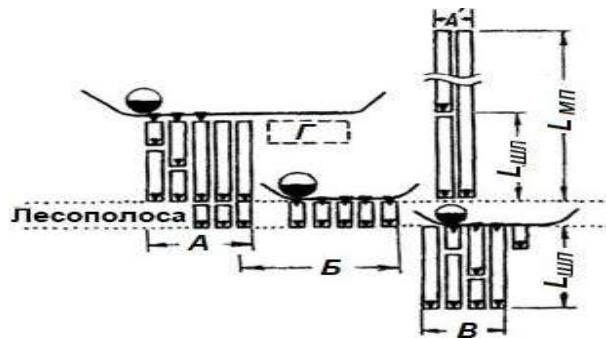


Рис. 1.6. Типовое размещение опытных делянок для оценки влияния лесополосы на ЭПП

роте (целесообразно иметь фоны озимых, стерни, многолетних трав), а также с разными вариантами воздействия на водопоглощение и кольматаж в лесополосах (блок Б).

Участок для закладки стационарного опыта должен отвечать обычным требованиям, обеспечивающим типичность (репрезентативность) почвенных условий, крутизны и формы склона, таксационных показателей насаждений и других характеристик, если они сами не являются предметом изучения.

В любом случае участок должен обеспечивать возможность размещения ОД и иметь достаточную площадь СФ для получения заданных в эксперименте объемов (расходов) воды.

Площадь стокоформирующего фона

$$F_{сф} = 0,0001 \cdot \frac{BL}{s} \sum_{i=1}^{i=n} s_i \cdot k, \quad (1.1)$$

где L – планируемая длина склона, м, обеспечивающая напуск на ОД воды при среднем слое стока на склоне со СФ s , мм; B – ширина ОД, м; s_i – слой планируемого напуска воды на i -ю ОД, мм; n – количество вариантов опыта; k – повторность вариантов.

Площадь СФ целесообразно увеличить на 10-20% для компенсации потерь воды на фильтрацию в прудке перед валом-накопителем.

Вдоль нижней границы СФ и по верхней границе ОД или опушки насаждения создают горизонтальный вал-накопитель с выемкой в верхней части склона (см. рис. 1.3). Его устраивают с односторонней напашкой плантажным плугом или плугом с увеличенным на последнем корпусе отвалом, бульдозером, грейдером. Высота вала и максимальная глубина выемки 0,4-0,5 м. Целесообразно совмещение сухого откоса вала с верхней границей лесного насаждения. Если при этом граница насаждения негоризонтальна, то земляной вал допустимо устраивать переменной высоты (максимум до 1,0-1,2 м), но в любом случае с горизонтальным гребнем.

Длина вала определяется суммарной шириной ОД и «защиток» между ними. Если площадь водосборного участка, непосредственно примыкающего к валу-распределителю, недостаточна, то ее можно увеличить до $F_{сф}$ устройством водоподводящих валов.

Ширина ОД в опытах по оценке факторов ЭАП принимается равной 1 м, агротехнических и лугомелиоративных приемов 1,5-2,0 м, гидротехнических и лесомелиоративных 2-5 м, если не ставится задача оценки ширины ОД в методических целях. В последнем случае обычно назначают 3-4 градации ширины с верхним пределом 10-20 м, равным ширине стандартных стоковых площадок.

Длина ОД для оценки факторов ЭАП, агротехнических и лугомелиоративных приемов 10 м, гидротехнических – равна длине ожидаемого прудка, лесомелиоративных равна ширине насаждения или кратна ширине междурядий, если ширина насаждения изучается как фактор.

Опытные делянки обваловываются вдоль нижней и продольных границ земляными валами обычно высотой 0,15-0,20 м; в опытах с гидротехническими устройствами высота валиков должна превышать рабочую высоту земляного вала над будущим зеркалом прудка на 0,15 м.

Ширина «защиток» 1-4 м при насыпке валов малогабаритным или обычным трактором и в опытах с гидротехническими устройствами, а в остальных случаях 1,0-1,5 м.

В тело вала по верхним границам ОД площадью $f_{1...n}$ устанавливаются по нивелиру тонкостенные треугольные или с прямоугольным вырезом водосливы так, чтобы их пороги были на одном уровне. Высота выреза 0,2 м, а длину порога прямоугольных водосливов принимают кратной 0,02 м. Это обеспечивает при соотношении размеров порогов, например 2:4:8...см подачу на ОД расходов $Q_{1...n}$ в соотношении 1Q:2Q:4Q... Таким образом, при сложившихся гидрометеорологических условиях за период стока на ОД подают объем воды V или слой стока s в соотношении 1V:2V:4V..., 1s:2s:4s..., что имитирует работу того или иного варианта опыта в условиях разной водности весен и разной величины смыва $W_{1...n}$. При использовании треугольных водосливов тот же эффект достигается установкой одного, двух и т.д. водосливов.

Аналогичные водосливы устанавливают в нижнем створе ОД.

Регистрацию напоров на всех верхних водосливах осуществляют одним самописцем уровня воды СУВ-М «Валдай», ГР-38 или переоборудованными термографами [279] с отметками на ленте самописца горизонта порога каждого водослива.

Для исключения переполнения прудка и прорыва вала в его теле устраивают аварийный водосброс шириной 1,0-1,5 м таким образом, чтобы обеспечить перелив через него воды при достижении на водосливах напора 0,15 м. Порог водосброса, как и тело вала, засевают травосмесью злаковых трав и для надежности покрывают весной полиэтиленовой пленкой, рубероидом или другим материалом. Травосмесью засевают и выемку перед валом.

При необходимости проведения экспериментов с заданным расходом независимо от суточного хода стока для напуска применяют трубки-сифоны (см. рис. 1.4). Использование одновременно нескольких (2-3 и более) сифонов позволяет осуществить напуск при разных грациях расходов. Для стабилизации расходов через сифоны применяют двухступенчатую подачу воды на ОД с использованием промежуточной емкости.

Вспомогательный сифон 1 первой ступени служит для подачи расхода из емкости вала-распределителя в промежуточную емкость 2. Она стабилизирует расходы, подаваемые основными (второй ступени) сифонами 3 на ОД. Стабилизацию расходов обеспечивают подачей в емкость 2 расхода Q_{ex} , заведомо большего суммарного выходного расхода $Q_{вых}$ системы основных сифонов. Это приводит к переполнению емкости 2 и сбросу избыточного расхода $Q_{изб}$ через верхнюю кромку емкости. Раз-

ность $Q_{изб} = Q_{ex} - Q_{вых}$ должна быть минимальной при наименьшем рабочем уровне воды в емкости вала-накопителя. Это обеспечивает минимальные колебания уровня воды в емкости 2 и высокую стабильность расходов из основных сифонов. С помощью фильтра 4 предотвращается поступление крупных части суспензии из прудка на ОД.

При экспериментах с фиксированными трассами модельных ручьев (МР) их русла задают с помощью ограничителей 5 и реек 6 (дерево, дюралевый уголок и т. п.) с поролоновыми прокладками-уплотнителями 7, копирующими микрорельеф поверхности ОД и исключают потерю воды на фильтрацию под рейки за пределы русла МР. Рейки фиксируют забиваемыми в почву стальными стержнями длиной 300-400 мм и накладками 9. Подачу $Q_{вых}$ в верхнем створе МР и вывод суспензии в учетную емкость 10 осуществляют лотком из полиэтиленовой пленки.

В замыкающих створах МР на поролоновую 7 и полиэтиленовую 11 прокладки устанавливают П-образную или прямоугольную рамку 12. Вывод суспензии в учетную емкость осуществляют с помощью лотка 13. При малых перепадах между основанием и нижним концом лотка (при малых уклонах) в качестве учетной емкости используют полиэтиленовый пакет. Техника экспериментов, выполняемых в естественных ручьях (ЕР), примерно такая же.

Средняя скорость течения измеряется электрометрическим методом при напуске в МР или ЕР электролита (раствора NaCl) с помощью резиновой груши. Для этого используют стандартный люксметр, переоборудуемый по схеме рис. 1.5. Момент прохождения электролита через учетный створ фиксируется по отклонению стрелки гальванометра, свидетельствующему о замыкании цепи. Использование мультивибратора позволяет, кроме того, применять для этой цели звуковой сигнал. Образцы суспензии объемом 0,5 л отфильтровывают на месте.

Фильтры помещают в конические полиэтиленовые перфорированные обоймы, устанавливаемые прямо в снег или подвешиваемые на проволочные кольца. Фракционный состав суспензии оценивают отбором образцов почвенными ситами с размером отверстий 0,25; 0,50; 1,00 мм. Градиентные измерения температуры почвы, воды, снега и воздуха выполняют серийными термометрами ТЭТ-2, ТМ-4 и термографами.

Размеры русел ручьев и водных потоков определяют масштабной линейкой, а также фиксируют на фотопленке стереокамерами типа «Спутник» для последующих фотограмметрических работ.

Отметим те особенности метода напуска, использование которых существенно расширяет возможности экспериментатора, а по информативности приближает его к методу лабораторных гидравлических лотков.

1. Наличие стокообразующего фона (уплотненная пашня, залежные участки, кюветы дорог и т. п.) и возможность подвода воды со склона практически неограниченной площади позволяют собрать в прудке вала воду в достаточном количестве даже в маловодный год, что особенно актуально для тех (южных) районов, где ощутимый сток с зяби формируется редко и могут быть подряд 5-6 лет без стока с зяби. В таких условиях получение стокорегулирующих оценок лесополос или противоэрозионной устойчивости агротехнических приемов на зяби при подтоке связано с огромными затратами времени и средств. Кроме того, можно подавать воду с помощью насосной станции из прудов или ручьев в балках. Этот способ испытан в ОППХ ВНИИЗиЗПЭ.

2. Наличие горизонтального вала-накопителя, собирающего воду, нивелирует условия подачи воды на ОД, что практически исключает естественную вариацию характеристик талого стока (расходов, объемов, коэффициентов), неизбежную при использовании традиционных стоковых площадок и обусловленную неоднородностями почвенных условий, рельефа склонов, изменением экспозиции и т. п. Кроме того, значительно снижаются требования к конфигурации стокообразующего склона и его линейным размерам, а также к размерам ОД, которые можно сильно уменьшить (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Показатели водного баланса на ОД разной ширины в лесополосе при подтоке талых вод. ОППХ ВНИИЗиЗПЭ

Ширина ОД	Приход, мм	Расход, мм	Коэффициент стока
<i>1981 г.</i>			
5	370	190	0,51
10	370	180	0,49
<i>1982 г.</i>			
5	260	120	0,46
10	270	120	0,44

3. Использование целой системы водосливов, осуществляющих напуск воды на ОД, позволяет не только давать оценку водопоглощения, стока и эрозии в наперед выбранном по желанию эксперимента-

тора диапазоне расходов, но и задавать очень большие расходы, имитирующие весны экстремально высокой водности. Это особенно важно в ПЭЛМ. Как было установлено еще в 1968 г., водопоглощение в лесных насаждениях связано со слоем подтока [73]. Это означает, что применение традиционного метода стоковых площадок с длиной полевых частей 100-150 м обеспечивает нагрузку водою ОД (и соответствующее водопоглощение) в условиях относительно маловодных весен. В этом случае методы комбинированных площадок и напуска дают близкие результаты (табл. 1.2). При реальной ширине межполосного пространства (300-600 м) или длине полевого склона (до 800-1000 м и более), примыкающих часто к прибалочному или балочному насаждению, достаточную нагрузку водою ОД методом комбинированных стоковых площадок осуществить чрезвычайно трудно. Напуск эту проблему снимает. Кроме того, и технически регистрация напоров на целой серии водосливов упрощается, поскольку выполняется синхронно единственным самописцем.

Таблица 1.2.

Коэффициенты стока на вариантах опыта с применением стоковых площадок (I) и метода напуска (II). ОПХ Новосильской ЗАГЛОС, в среднем за 1987-1988 гг. (по данным Н. Е. Новикова)

Вариант опыта	Коэффициент стока	
	I	II
Лесная полоса	0,82	0,95
То же + вал	0,57	0,58
Как вариант 2 + канава	0,01	0,03

Метод напуска значительно расширяет и возможности дождевания. Модификация установки Г. П. Сурмача [307] применением пары сообщающихся между собою емкостей обеспечила получение дождя почти неограниченной продолжительности (несколько часов) и интенсивности (10-12 мм/мин и более). В сочетании с подтоком это позволяет выяснить некоторые важные моменты в теории ЭГП и ЭАП при ливнях, в частности давать дифференцированную оценку ударному действию дождевых капель и гидродинамическому эффекту водного потока (табл. 1.3).

Модификация методов изучения ЭГП. Ниже излагаются особенности новых или известных методов исследования ЭГП и связан-

ных с ним характеристик, в которые автором непосредственно или при его участии и под руководством были внесены существенные изменения и дополнения.

Таблица 1.3

**Смыв при разных комбинациях дождевания и подтока
в опыте с образцом песка. Клетский оп. пункт ВНИАЛМИ, 1990 г.
(по данным А. В. Терешкина)**

Интенсивность, мм/мин		Приход осадков *, мм	Сток *, мм	Коэффициент стока	Смыв, т/га
дождевания	подтока *				
2,5	0	25	11	0,44	1
2,5	13	155	90	0,58	15
2,5	26	285	184	0,65	34
2,5	50	525	354	0,68	103
2,5	108	1100	737	0,67	236
0	13	130	66	0,56	13

* В расчете на площадь ОД.

Снегоотложение. При определении характеристик снежного покрова в воднобалансовых исследованиях на стоковых площадках длиной 100-200 м рекомендуется определять высоту снега через 1-2 м [277], на водосборах – через 20 м, а плотность – через 200 м [188]. В лесомелиорации для оценки снегоотложения обычно рекомендуют измерять высоту снега в характерных точках снежного профиля между лесными насаждениями и через 10-20 м и более – вне зоны влияния лесополос.

Выполненные в 1964 г. в ОПХ Новосильской станции специальные снегосъемки (10 профилей с расстоянием 10 м между ними) на участке склона со снегораспределительными лесополосами и на прилегающем к ним открытом поле позволили получить статистические оценки характеристик снежного покрова (табл. 1.4, 1.5). На этой основе рекомендуется выполнять измерения высоты снежного покрова на местности с системой лесных полос и на стоковых площадках равномерно через 1-5 м, а плотности снега – в 5-6-кратной повторности, что обеспечивает точность опыта в пределах 2-5% и вполне приемлемо в полевых опытах [109] и при воднобалансовых оценках, точность которых, как считается, обычно не более 10-20% [35, 97, 119, 349]. Вместе с тем колебания средних высот снежного покрова даже на соседних профилях и особенно среди лесополос достигают 7-14 см, снегозапасов около 30 мм (20-30%).

Таблица 1.4

Изменение точности исследований в зависимости от количества измерений высоты и плотности снега на профиле

Поле без лесополос			Склон с лесополосами через 100 м		
число измерений	$M \pm m$	$\pm m_x\%$	число измерений	$M \pm m$	$\pm m_x\%$
<i>Высота снега, см</i>					
301 (0,33)	$36 \pm 0,6$	1,6	325 (0,33)	$56 \pm 1,3$	2,4
101 (1)	$36 \pm 1,0$	2,9	109 (1)	$56 \pm 2,2$	4,0
51 (2)	$36 \pm 1,4$	4,0	55 (2)	$57 \pm 3,2$	5,6
21 (5)	$36 \pm 2,4$	6,8	22 (2)	$57 \pm 4,9$	4,9
11 (10)	$35 \pm 4,1$	11,8	12 (10)	$56 \pm 6,7$	12,0
6 (20)	$37 \pm 5,0$	13,5	6 (20)	$52 \pm 6,9$	13,8
3 (50)	$33 \pm 12,0$	35,9	3 (50)	$64 \pm 9,8$	15,4
<i>Плотность снега</i>					
21 (5)	$0,26 \pm 0,01$	2,5	21 (5)	$0,26 \pm 0,01$	3,1
11 (10)	$0,26 \pm 0,01$	3,5	11 (10)	$0,26 \pm 0,01$	3,8
6 (20)	$0,25 \pm 0,01$	5,2	6 (20)	$0,26 \pm 0,01$	5,3
5 (25)	$0,25 \pm 0,01$	2,3	5 (25)	$0,28 \pm 0,01$	4,3
3 (50)	$0,24 \pm 0,01$	4,0	3 (50)	$0,29 \pm 0,01$	4,1

Примечания: в скобках – расстояние между пунктами измерений, м; M – средняя арифметическая; m – ошибка средней; $m_x\%$ – точность исследования (опыта).

Для оценки снегопереноса применялись два варианта методики. По первому варианту решетчатые щиты размером 1×1 м и с шириной планок и расстояниями между ними 5 см расставлялись перпендикулярно основным 8 румбам концентрически на расстоянии 15 м от центра. По второму варианту свободно вращающийся щит описанной конструкции с противовесом (по типу флюгера) устанавливался на вертикальную ось. Под действием ветра он всегда располагался перпендикулярно направлению ветра. Высота снега периодически в течение зимы измерялась переносной рейкой через 1 м на расстоянии до 30-40 м в обе стороны от щитов по основным направлениям румбов.

Влажность почвы. Из-за сильной вариации влажности почвы, обусловленной неоднородностями поверхности, особенностями обработки, пестротой мехсостава, условиями замерзания и разморзания [5, 68, 152, 273, 303], возникает вопрос о необходимой повторности и точности ее оценок [5, 68]. Требуемая повторность изменяется от 2 до 4

Таблица 1.5

**Вариация статистических характеристик снежного покрова
на снегомерных профилях**

Номер профи- ля	Поле без лесополос				Склон с лесополосами через 100 м			
	число из- мерений	$M \pm m$	$\pm \sigma$	$\pm m_x \%$	число из- мерений	$M \pm m$	$\pm \sigma$	$\pm m_x \%$
<i>Высота снега, см</i>								
1	301	$34 \pm 0,5$	8,9	1,50	325	$51 \pm 1,50$	25,5	2,90
2	"	$36 \pm 0,6$	10,0	1,60	319	$57 \pm 1,70$	30,6	3,00
3	"	$36 \pm 0,5$	9,2	1,50	328	$53 \pm 1,50$	28,0	2,90
4	"	$37 \pm 0,5$	8,9	1,40	322	$59 \pm 1,70$	30,8	3,00
5	"	$34 \pm 0,5$	8,4	1,40	325	$56 \pm 1,30$	23,8	2,40
6	"	$41 \pm 0,6$	9,6	1,40	322	$65 \pm 1,20$	21,2	1,80
7	"	$36 \pm 0,6$	10,9	1,70	325	$63 \pm 1,70$	29,8	2,60
8	"	$35 \pm 0,5$	8,3	1,40	322	$59 \pm 1,20$	21,2	2,00
9	"	$35 \pm 0,5$	8,7	1,40	319	$60 \pm 1,10$	19,0	1,80
10	"	$40 \pm 0,5$	8,2	1,20	307	$65 \pm 1,30$	22,8	2,00
1-10	3010	$36 \pm 0,2$		0,47	3214	$59 \pm 0,45$		0,76
<i>Плотность снега, г/см³</i>								
1	21	$0,26 \pm 0,01$	0,037	3,10	21	$0,26 \pm 0,01$	0,035	3,10
2	"	$0,26 \pm 0,01$	0,030	2,50	21	$0,26 \pm 0,01$	0,028	2,30
3	"	$0,25 \pm 0,01$	0,037	3,20	22	$0,23 \pm 0,01$	0,035	3,00
4	"	$0,25 \pm 0,01$	0,031	2,70	21	$0,25 \pm 0,01$	0,033	3,20
5	"	$0,27 \pm 0,01$	0,040	3,20	22	$0,25 \pm 0,01$	0,029	2,40
6	"	$0,28 \pm 0,01$	0,031	2,50	22	$0,25 \pm 0,01$	0,026	2,40
7	"	$0,27 \pm 0,005$	0,022	1,80	21	$0,26 \pm 0,01$	0,045	3,80
8	"	$0,28 \pm 0,005$	0,022	1,80	21	$0,25 \pm 0,01$	0,035	3,30
9	"	$0,28 \pm 0,01$	0,026	2,00	21	$0,26 \pm 0,01$	0,035	3,10
10	"	$0,28 \pm 0,01$	0,024	3,10	21	$0,25 \pm 0,01$	0,038	3,20
1-10	210	$0,27 \pm 0,002$		0,74	213	$0,25 \pm 0,002$		0,79

(стандартная по рекомендациям ГГИ) и даже 600-1000 и более [50, 55, 171, 174, 288, 334]. Особую актуальность это имеет в лесомелиорации в связи с промерзанием в связи с промерзанием почвогрунтов и обычным изменением их характеристик, обусловленных геолого-геоморфологической историей местности, а также в гидрологии при оценке влажности мерзлых почв в исследовании стока. Совокупность этих вопросов обсуждалась в литературе [303, 314]. Главное внимание обращалось на низкую точность оценок водного баланса, особен-

но в расчетах талого стока по разности осадки-влагозапасы в почве после снеготаяния. Полученные результаты (табл. 1.6) свидетельствуют о практически неприемлемой повторности оценок влажности почвы для этой цели термостатно-весовым методом (при назначенных уровнях доверительной вероятности P и критериях значимости t) из-за высокой трудоемкости бурения. Поэтому в исследованиях ЭГП этот метод оценки нами применялся не в балансовых расчетах, а главным образом в целях факторного анализа ЭГП.

Таблица 1.6

Статистические характеристики влажности почвы, определенной в 12 скважинах, % (зяблевая вспашка, 150 м от опушки леса в ур. Колодезном ОПХ Новосильской ЗАГЛОС) [314]

Характеристики	Глубина отбора образцов, см						
	0-5	20-25	45-50	70-75	95-100	120-125	145-150
<i>Осень 1963 г.</i>							
Максимум	33,1	22,8	31,2	17,4	18,6	24,2	25,7
Минимум	26,4	20,5	11,8	14,0	14,1	18,2	19,6
Амплитуда	6,7	2,3	19,4	3,4	4,5	6,0	6,1
Среднее арифметическое	29,2	21,4	14,6	15,4	16,9	21,0	23,4
Стандартное отклонение	2,2	0,8	5,5	1,1	1,3	1,6	1,5
Ошибка среднего арифметического	0,6	0,2	1,7	0,3	0,4	0,5	0,4
Коэффициент вариации	7,5	3,7	37,7	7,1	7,7	7,6	6,4
Точность опыта, m_x %	2,2	1,1	11,4	2,0	2,5	2,3	1,8
Необходимая повторность:							
а) при $P = 0,68, t = 1,0, m_x$ % = 5	2	1	57	2	2	2	2
б) при $P = 0,95, t = 2,0, m_x$ % = 5	9	2	228	8	10	10	7
<i>Весна 1964 г.</i>							
Максимум	28,9	26,8	22,5	23,5	23,7	26,7	28,4
Минимум	25,4	20,2	13,8	12,8	13,7	28,2	18,7
Амплитуда	3,5	6,7	8,7	10,7	10,0	8,5	9,7
Среднее арифметическое	26,9	23,4	19,9	17,8	17,5	21,5	24,1
Стандартное отклонение	1,3	2,4	2,8	3,7	3,1	2,2	2,6
Ошибка среднего арифметического	0,4	0,7	0,8	1,1	0,9	0,6	0,7
Коэффициент вариации	4,8	10,3	14,1	20,8	17,7	10,2	10,8
Точность опыта, m_x %	1,4	3,0	4,0	6,0	5,0	3,0	3,1
Необходимая повторность:							
а) при $P = 0,68, t = 1,0, m_x$ % = 5	1	4	8	17	12	4	5
б) при $P = 0,95, t = 2,0, m_x$ % = 5	4	17	31	67	48	17	18

Особый интерес представляет изучение динамики влажности в процессе инфильтрации влаги при снеготаянии и оттаивании почвы. Применение обычного бурения для этой цели практически исключается из-за переувлажнения почвы, так как приводит к затеканию воды в скважину и (или) выжиманию части воды из образца.

Для обеспечения гарантированного и качественного отбора образцов мягкопластичной или текучей почвы сконструирован и изготовлен специальный пробоотборник, защищенный а. с. 998901 [16].

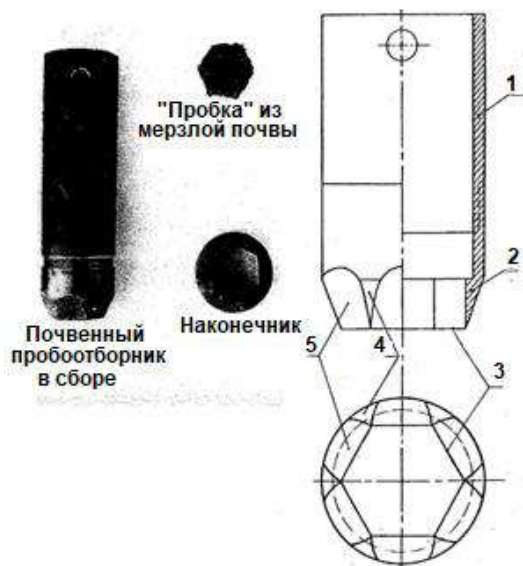


Рис.1.7. Почвенный пробоотборник для изучения влажности оттаивающей жидкопластичной почвы

Пробоотборник (рис. 1.7) имеет следующее устройство: цилиндрический корпус 1 и съемный навинчиваемый на корпус наконечник 2. Режущая кромка 3 наконечника выполнена в виде многоугольника, вписанного в меньшее основание усеченного конуса 4 со стенками 5, срезанными плоскостями, параллельными образующей конуса и проходящими через стороны многоугольника.

Отбор образцов осуществляется следующим образом. Пробоотборник погружают вертикально в жидкий или мягкопластичный слой оттаявшей почвы до границы с неоттаявшим плотным слоем. Затем забивают наконечник в мерзлый грунт на глубину 1,5-2,0 см, т. е. на глубину нижней части наконечника. После этого пробоотборник поворачивают вокруг продольной оси на 1-2 оборота, срезая «пробку» из мерзлого грунта. Пробка надежно запирает переувлажненный образец в пробоотборнике, предотвращая его выпадение (вытекание) наружу. Затем пробоотборник извлекают из почвы, отвинчивают наконечник, образец талой почвы отделяют от мерзлой пробки и анализируют пробу на влажность. Одновременно определяют и объемную массу образца. То же делают и с мерзлой «пробкой».

Испытание пробоотборника в полевых условиях показало его надежную работу при влажности почвенных образцов 50-60% и более и значениях предельной полевой (наименьшей) влагоемкости около 25-30%.

Водопроницаемость почвы. Определение инфильтрационной способности почвы методом сплошного затопления поверхности почвы водою не позволяет определять начальную скорость просачивания воды. Это обусловлено необходимостью подачи некоторого начального объема, обеспечивающего на поверхности почвы слоя воды толщиной около 5 см. На подачу воды уходит время, в течение которого инфильтрация не регистрируется. Поскольку начальная скорость инфильтрации наиболее высока (часто более 5-6 и даже 20-30 мм/мин), то кривая скорости инфильтрации определяется с существенной погрешностью. Выполнить регистрацию впитывания в начальный момент позволяет способ и устройство, защищенные а. с. 898323 [15]. Сущность предлагаемого метода определения водопроницаемости почвы заключается в следующем. Перед началом измерений поверхность образца почвы покрывается эластичной пленкой в растянутом состоянии. В прибор на пленку подается слой воды с заданным расходом, заведомо превышающим максимальную начальную скорость инфильтрации. За начальный момент времени для регистрации водопроницаемости принимается момент перфорации эластичной пленки. Это обеспечивает почти мгновенный контакт подаваемой в прибор воды со всей поверхностью почвы и регистрацию начальной скорости инфильтрации по изменению подаваемого расхода воды (он уменьшается за счет впитывания части ее почвой).

Изложенный принцип определения водопроницаемости осуществлен с помощью прибора, сконструированного в ОКБ ВНИИЗиЗПЭ [264].

При определении водопроницаемости мерзлых почв методом залива водою площадей, ограниченных рамами и кольцами, возникают сложности их установки весной, когда почва сильно увлажнена и обладает высоким сопротивлением. Для снижения сопротивляемости почвы заглублению в нее рам и колец был разработан и испытан способ предварительной (с осени) установки в почву деревянных рам с последующим (весною) забиванием в них металлических квадратов. Впоследствии он был модифицирован М. М. Ломакиным путем заполнения щелей в почве гидрофобным вязким материалом [201].

Регистрация напоров. Из-за сжатия струи на пороге водослива происходит заметное искажение (занижение) измеренных масштабными линейками напоров. Для исключения ошибок измерения предлагается устанавливать масштабные линейки в верхнем бьефе водослива на расстоянии не менее тройного максимального напора, что в

условиях временных стоковых площадок не всегда удобно. Тот же эффект достигается установкой на водосливах трубок-пьезометров, передающих напор из верхнего бьефа водослива в нижний, где и выполняется регистрация.

Оценка выноса и кольматажа мелкозема. Из существующих в настоящее время методов оценки ЭАП в условиях полевого эксперимента наиболее широко применяются метод «расход-мутность» и метод измерения водоройн. Оба метода имеют свои преимущества и недостатки, но при этом часто обнаруживается большое расхождение (в десятки и сотни раз) оценок ЭАП. Это объясняется грубостью метода водоройн, пульсациями смыва-кольматажа из-за наличия разъемных борозд и других понижений микрорельефа, включением в объем водоройн пониженной поверхности почвы, особенно при ее отвальной зяблевой обработке, недоучетом кольматажа мелкозема. На наш взгляд, главной причиной является недоучет специфики ЭАП в условиях обработки склонов почвообрабатывающими орудиями, следствием чего является систематическое чередование местного смыва и аккумуляции мелкозема. По условиям баланса эти величины должны быть равны. И если метод «расход-мутность» дает заниженные, то метод измерения водоройн завышенные оценки. Для повышения точности учета эрозии-аккумуляции разработан метод (а. с. 1586531 [18]), включающий предварительное (до выпадения осадков) нанесение на поверхность почвы контрастного вещества, маркирующего границу раздела поверхности почвы и аккумулярованного мелкозема [379, 388].

ГЛАВА 2

ИНФИЛЬТРАЦИЯ И СТОК

Инфильтрация и поверхностный сток талых и дождевых вод в ПЭЛМ определяют две важнейшие функции ЗЛН – стокорегулирующую и противоэрозионную. В первом случае сток выступает непосредственно как объект и агент стокорегулирующего процесса, во втором – как ведущий агент. Этим объясняется исключительная роль исследования поверхностного стока и его факторов. Оно довольно сложно в силу гидродинамической природы процесса, множественности и взаимообусловленности факторов (см. рис. 1. 3). К этому добавляются еще и особенности трансформации гидрологического процесса (ГП) ЗЛН. Поэтому для упрощения рассмотрим ГП сначала в общем виде (так сказать, на абстрактном субстрате – «идеальном грунте» А. И. Будаговского [42, с. 26]).

Эта задача наиболее успешно решается в рамках имитационного моделирования. Известны многие модели ГП [29, 59, 150, 186, 359], в том числе включающие лесомелиоративные аспекты [10]. Однако в большинстве моделей слабо учитывается или вовсе не учитывается талый, особенно поверхностный, сток.

Поскольку осадки являются источником влаги в любых гидрологических явлениях и процессах, в том числе в инфильтрации и стоке, остановимся на их характеристике.

Традиционно инфильтрация определяется как способность почвы воспринимать и пропускать воду. При этом, хотя под инфильтрацией понимается именно взаимодействие воды и почвы, по существу она рассматривается как процесс действия почвы на воду. Вода при этом выступает в роли некоторого агента, пассивно участвующего в процессе, а атмосферные осадки – в роли источника влаги.

Между тем уже давно (по крайней мере с 30-40-х годов [282, 300, 344]) известно, что интенсивность осадков является фактором, активно влияющим на инфильтрационную способность почвы. Кроме того, известна роль размера капель как фактора инфильтрации. Эти обстоятельства коренным образом изменяют представление о процессе инфильтрации и предполагают анализ осадков по характеру их выпадения, интенсивности и трансформации в приземном слое, еще задолго до непосредственного контакта с поверхностью почвы.

2.1. Факторы влияния осадков на инфильтрацию

2.1.1. Климат

Жидкие осадки: слой и интенсивность. В уравнении главных статей водного баланса «сток = осадки – испарение – инфильтрация» атмосферные осадки играют важную, иногда исключительную роль. Это определяется, во-первых, тем очевидным обстоятельством, что они являются первоисточником влаги на границе раздела атмосфера-субстрат. Во-вторых, испарению подвергаются временно аккумулированные на поверхности или в толще субстрата осадки (рис. 2.1). Наконец, инфильтрация обуславливает лишь ту разность между приходом осадков и их расходом, которая определяет массу поверхностного или грунтового стока и влагозапасы почвогрунтов, расходуемые на испа-

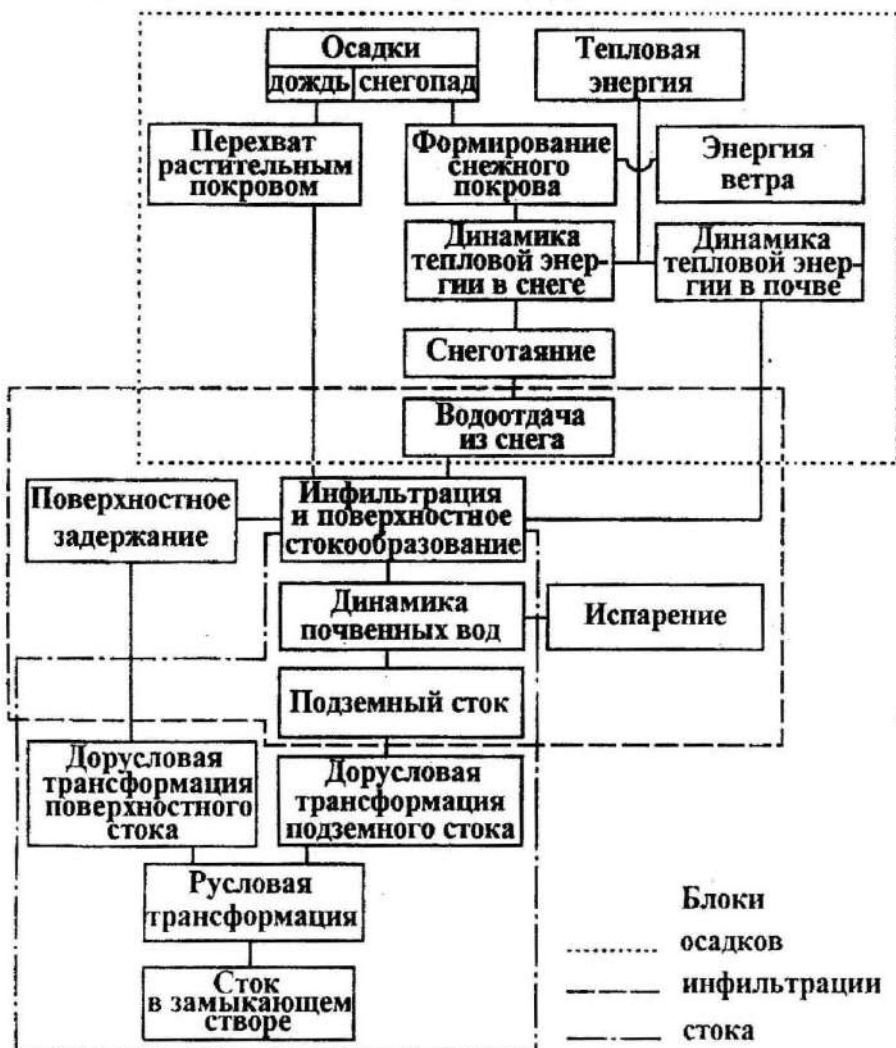


Рис. 2.1. Система процессов инфильтрации и формирования стока (по Ю. Б. Виноградову [59], с дополнениями)

рение и десукцию. При кратковременных дождях и слабом испарении с поверхности снега уравнение водного баланса упрощается: «сток = осадки – инфильтрация», а при стабильном уровне инфильтрации сток нацело определяется осадками и коэффициентом стока K_c ("сток = осадки · $K_c = \text{const}$ " при $K_c = \text{const}$). Сток, таким образом, есть осадки, трансформированные подстилающей поверхностью, и познание этой трансформации дает ключ к выявлению его закономерностей.

Столь важная роль осадков в формировании стока (и других гидрологических характеристик) делает очевидной огромную значимость блока модели осадков в общей модели ГП. Тем не менее, ни одна из отечественных или зарубежных имитационных моделей ГП не опирается на физическую модель осадков. Функции распределения и средние значения гидрологических характеристик рассчитываются по эмпирическим данным многолетних гидрометеорологических наблюдений, а текущие значения определяются непосредственно по данным срочных инструментальных измерений осадков. Отсутствие математических моделей осадков объясняется рядом принципиальных обстоятельств. Рассмотрим их.

Атмосферные осадки есть в первую очередь функция климата, обусловленного атмосферной циркуляцией влагосодержащих воздушных масс как следствия энергомассопереноса под влиянием солнечной энергии, вращения Земли (кориолисов эффект) и наклона ее оси к эклиптике. Перенос влаги в атмосфере осуществляется турбулентными потоками разного масштаба: 1) глобальным зональным переходом экватор-полюсы [34]; 2) так называемыми циркуляционными ячейками G. Hadley – Хедли (Гадлея) [49]; 3) циклонами и антициклонами; 4) местными ветрами и 5) микролокальными перемещениями воздуха. Наиболее крупномасштабные глобальные вихри Хедли менее хаотичны, легче формализуются и во многом объясняют зональные многолетние особенности выпадения осадков. Закономерности же формирования и перемещения короткопериодических циклонов и антициклонов позволяют давать более или менее уверенный региональный прогноз их эволюции на срок не более 5-7 (до 10) дней [27]. В любом случае требуется модель механики сильно хаотизированных вихревых (турбулентных) процессов в пограничном слое. И хотя новейшие исследования дают надежду на создание детерминированной модели «турбулентного хаоса» [13; 60, с. 5], «до сих пор еще не существует теории, которая бы удовлетворительно предсказывала турбу-

лентное течение» 149, с. 9] и «турбулентность по-прежнему остается главной неизученной проблемой классической физики» [149, с. 73].

В соответствии с отмеченными закономерностями глобальной и зональной циркуляции атмосферы формируется характерное поле осадков с наличием экстремумов на стыках ячеек Хедли: максимумы соответствуют восходящим токам, минимумы – нисходящим. Абсолютный пик массы осадков над океанами приходится на экватор с общим уменьшением в обоих полушариях к полюсам (и минимумами на них), а также локальными максимумами на широтах 40-50(60°)[34]. Для суши закономерность сохраняется, но абсолютный и локальный минимумы выражены слабее, четко прослеживается асимметрия полушарий: в северном полушарии масса осадков значительно больше [34]. Экстремумы слоев осадков над океаном имеют несколько иную закономерность: три максимума (абсолютный на экваторе – около 2000 мм, локальные на широтах 40-50° обоих полушарий – 1200-1350 мм) и четыре парные минимума (на широтах 20-30° около 900 мм и у полюсов – около 20-100 мм). Аналогично изменяются слои осадков на суше: вблизи экватора (+10°) 1400-1500 мм; на широтах 30-40° 550-600 мм, 40-50° 500-800 мм и у полюсов 20-100 мм. Над сушей в сравнении с океаном слои осадков заметно меньше и локальные пики и минимумы в северном полушарии почти не выражены. Подобные сведения приводит А. А. Борисов для северного полушария [39]. В целом для земного шара средний слой осадков составляет 1000-1130 мм, в т. ч. над океаном 1240-1300, над сушей 800 мм [39, 43].

На режиме региональных осадков, помимо общих закономерностей, сказываются соотношение поверхностей океанов и континентов, их широтное положение, размеры и очертания, океанические течения, крупномасштабная орография. Для территории Северной Евразии – бывшего СССР (севернее примерно 35° широты), – расположенной в пределах целой ячейки Хедли умеренного пояса и частично двух соседних (полярной и экваториальной), характерен годовой максимум осадков на широте около 60° по линии Минск – Москва – Пермь – Тюмень – Якутск: 800-600 мм в европейской части со снижением в глубь азиатской до 300-200 мм. От этой линии к северу и югу количество осадков убывает до 200-100 мм и менее к аридным и приполярным пустыням [39]. Эта закономерность нарушается в высокогорьях и на восточном побережье с муссонным режимом осадков, где выпадает 800-1600 мм и более. Сезонная картина распределения слоя осадков в

целом такая же, но в теплое время более выражен зональный, а в холодное – широтный перенос. Осадки холодного периода года вдоль указанной линии уменьшаются от 200-100 мм на западе до 50 мм и менее на востоке (Якутск) с заметным (до 100-50 мм) снижением к югу и северу. На европейской части почти повсеместно, за исключением западных районов Прибалтики и Украины, а также Кавказа и Прикаспия, осадки холодного периода оставляют 100-200 мм [39].

Гидрологически важно фазовое состояние осадков, интенсивность их выпадения и кинетическая энергия. В целом климат Земли обуславливает преобладание жидких, преимущественно дождевых, осадков. Так, примерно по широте 35° обоих полушарий проходит экваториальная (точнее, субтропическая) граница выпадения снега [34, 104, 215, 272]. Средний слой осадков в этой зоне соотносится со слоем на остальной территории Земли примерно как 2,5:1,0. Однако в зависимости от сезона года и широты местности твердые осадки (преимущественно снег) могут составлять значительную часть: около половины годового слоя на азиатском побережье Ледовитого океана и 25-30% в лесной и лесостепной зонах.

Слой, продолжительность и интенсивность выпадения дождевых осадков сильно влияет на аналогичные характеристики стока. О характеристиках дождей можно судить по сводке данных, представленных на рис. 2.2.

Связь слоя осадков с их продолжительностью единообразна и проста: согласно уравнению $h_d = at^b$ (табл. 2.1) слой осадков возрастает во времени. Отсюда интенсивность осадков $i_d = at^{b-1}$ (формула Бернарда [198, 263]; известны также ее модификации Мейера, З. П. Богомазовой и З. П. Петровой, Г. А. Алексеева [263]; П. Ф. Вишневого [61]). Изломы на кривых связи для интервала 1-10(20) мин обусловлены или особым характером выпадения кратковременных дождей, или редкой повторяемостью исключительно интенсивных осадков. В пользу последнего предположения свидетельствуют линии кривых Iб и II (см. рис. 2.2) для максимальных осадков. Можно полагать, что с увеличением периода наблюдений тенденция к выравниванию параметров уравнений на всем временном интервале будет усиливаться.

При всем глобальном однообразии функций $h_d(t)$ имеются, и довольно существенные, их зональные и местные различия. Наиболее выдающиеся по слою дожди (кривые Ia, б) зарегистрированы в тропических, субтропических районах и высокогорьях: точки 1-3,5 – Черрапун-

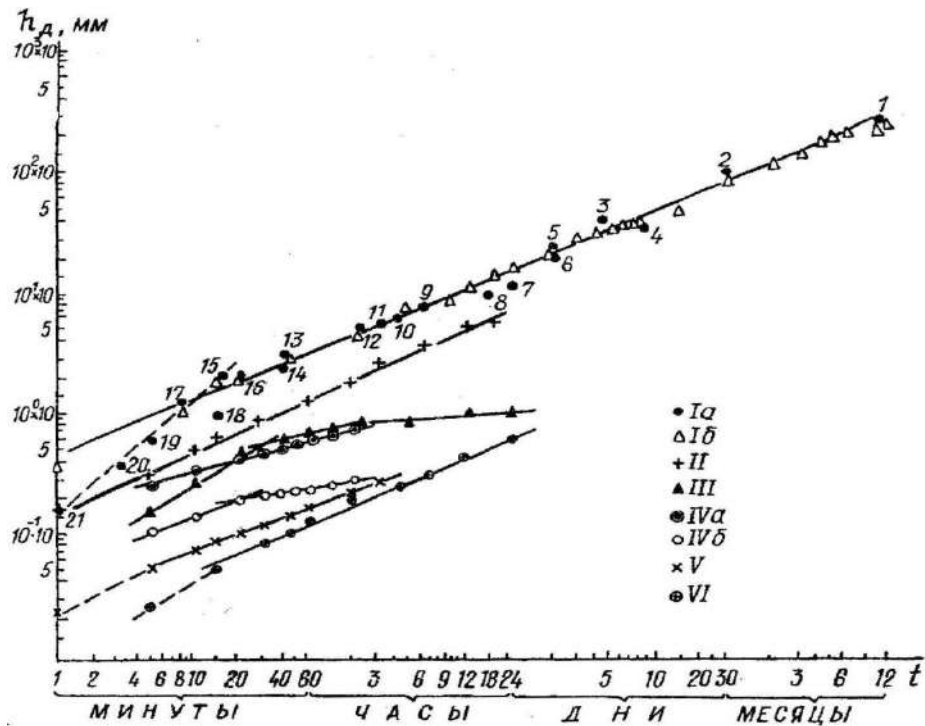


Рис. 2.2. Связь слоя дождевых осадков h_d с продолжительностью t :

Ia – выдающиеся (рекордные) ливни [198, с. 138]; *Iб* – мировые максимумы осадков [276]; *II* – максимумы осадков США [198, с. 139]; *III* – дожди в районе г. Екатеринбурга (Свердловска)[6]; *IVa* – очень редкие дожди (повторяемость 1/160) в Англии (Wilham, 1936; по [34, с. 264]); *IVб* – заслуживающие внимание (повторяемость 1/10) в Англии (тот же источник); *V* – интенсивные дожди по шкале службы погоды ФРГ [34, с. 263]; *VI* – ливневые осадки по Э. Ю. Бергу [295]; 1-21 – пункты наблюдений (в тексте)

Таблица 2.1

Параметры и ошибки m_{yx} , мм, уравнений связи слоя осадков h_d , мм, с их продолжительностью t , мин

Временной интервал, мин	Шифр уравнения (рис. 2.2)	Параметры		m_{yx} , мм
		<i>a</i>	<i>b</i>	
1-20 мин	Ia	17,70	0,80	34,10
1-20 мин	Iб	38,10	0,58	12,90
20 мин-год	Iб	51,60	0,48	1380,00
1 мин-год	Iб	47,70	0,49	1440,00
1-20 мин	IVб	6,69	0,31	0,27
20 мин-2ч	IVб	7,34	0,30	0,31

джи (Гималаи, Индия); 4,15,20 – Ямайка; 6 – Тайвань; 7 – Филиппины; 14 – Гвинея; 19 – Панама; остальные – в США. В целом при движении

от экватора к умеренным широтам и в глубь континентов слои осадков и их интенсивность уменьшаются (от кривых Ia, б к IV-V). Однако и в умеренном климате случаются интенсивные дожди с большим слоем осадков (16 – Румыния, 17 – Бавария). Современные данные подтверждают высказанную А. И. Воейковым в 1903 г. мысль, что «относительно силы непродолжительных ливней тропики не имеют преимущества перед средними широтами до 50° или 55°» [63, с. 387]. Карты характеристик дождевых осадков для европейской части Сев. Евразии [142, 263] свидетельствуют об убывании максимума осадков с юго-запада и запада (Причерноморье и Зап. Украина) к северо-востоку по линии Одесса – Казань – Березово (низовье Оби) и в обе стороны от этой линии. Эта тенденция обусловлена скорее всего общим макрорегиональным переносом воздушных масс в направлении запад-восток. Ее местные нарушения (локальные максимумы) объясняются орографией (Валдай, Донецкий кряж, Среднерусская возвышенность, Кавказ, Урал).

Размеры, скорость падения, энергия капель. Гидрологический эффект осадков сильно зависит от их энергии, обусловленной массой (размерами) дождевых капель. Этому вопросу посвящена обширная литература [33, 34, 63, 100, 133, 169, 223, 318, 359]. Диаметр капель жидких осадков изменяется в широком диапазоне: от 0,004-0,1 мм (туман и морозящий дождь) до 6-8 мм (в экспериментах Ю. Визнера [223]). Спектры дождевых осадков, характеризующие распределение капель по диаметру, описываются колоколообразными левоасимметричными кривыми с увеличением модального диаметра от 0,5 до 2-3 мм при повышении интенсивности дождя от 1,3 до 127 мм/ч [100, 133]. Лишь при очень высокой интенсивности (более 256,5 мм/ч) четко проявляется правая асимметричность, а модальный диаметр достигает 4,5 мм [133]. Средний диаметр капель d_k возрастает с интенсивностью осадков по зависимости Б. Дж. Мейсона и Беста $d_k = ai_d^b$ ($a = 0,92-1,34$; $b = 0,18-0,23$ [286, 359]). Конечная скорость падения капель v_k растет с увеличением их диаметра d_k и массы m_k (табл. 2.2, с округлением данных). Поскольку $m_k \sim d_k^3$, а кинетическая энергия $E_k = d_k^3 v_k^2$, то увеличение d_k в диапазоне 0,1-6,0 мм приводит к возрастанию массы капель в сотни тысяч, а энергии в сотни миллионов раз! Это определяет громадное гидрологическое и эрозионное значение размера капель (см. далее). Расчеты кинетической энергии осадков с учетом их интенсивности, продолжительности и спектра капель выявляют ее возрастание примерно по степенной зависимости с показателем степени < 1 при интенсивности до 200-225 мм/ч [100].

Таблица 2.2

**Конечная скорость падения, масса и кинетическая энергия
капель дождя в зависимости от их диаметра**

Источ- ник	Диаметр капель, мм										
	0,1	0,2	0,5	1,0	1,25	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
[169]	-	-	-	-	4,8	5,5	6,6	8,1	8,9	9,2	9,3
[240]	-	0,80	2,2	4,2	-	-	5,8	6,9	7,7	-	-
[169, 34, 223, 259, 359]	0,27	0,72	2,1	4,0	-	5,4	6,5	8,1	8,8	9,1	9,2
[34, 198]	0,32	-	3,5	4,4	-	5,7	5,9	6,9	7,7	8,0	7,9
[362]	-	-	2,6	3,8	-	4,7	5,6	6,9	7,7	8,1	8,2
<i>Масса, г*</i>											
[359]	0,5E-6	4,2E-6	66E-6	5,2E-4	-	18E-4	42E-4	14E-3	34E-3	0,07	0,10
<i>Кинетическая энергия, Дж*</i>											
[359]	1,8E-11	1,1E-9	14E-8	4,2E-6	-	2,6E-5	8,7E5	4,6E-4	13E-4	2,7E-3	4,2E3

Примечание: * здесь и далее обозначение «E ± число» равноценно записи «N × 10 ± число», т. е. вместе, например, 0,5 × 10⁻⁶ пишется 0,5E-6, что соответствует т. н. экспоненциальному представлению чисел, обычному для компьютеров № знак «+» перед положительным показателем степени обычно опускается.

Рассмотрим критерии ливневых осадков. Существуют разнообразные классификации и градации дождевых осадков, в основу которых положены интенсивность их выпадения и размер капель. Р. К. Линслей и др. различают морось – осадки с $d_k \leq 0,5$ мм) и интенсивностью $i_d \leq 0,017$ мм/мин – и дожди ($d_k > 0,5$ мм) со слабой ($i_d \leq 0,04$ мм/мин), умеренной (0,05-0,13 мм/мин) и сильной ($> 0,13$ мм/мин) интенсивностью [198, с. 86]. Г. Конке и А. Бертран считают слабым, умеренным, сильным и очень сильным дождь с интенсивностью соответственно 0,105; 0,105-0,212; 0,212-0,840 и $> 0,840$ мм/мин [169]. И. Блютген выделяет морось, обложные дожди, ливни [34, с. 226-256]. Б. В. Поляков дает сводку литературных данных по СССР (А. И. Воейков и Э. Ю. Берг), Германии (Гольман), Англии (Симонс), Швейцарии (Риппенбах), США (Фассинг), в которых за ливень принимаются дожди с предельной минимальной интенсивностью 0,34-1,28 мм/мин [263, с. 114]. D. L. Jarnell предлагает считать ливнем дождь продолжительностью t_d , мин, и интенсивностью i_d не менее $25(0,20 + 0,01t)t^{-1}$ мм/мин. Эти и им подобные предложения полезны главным образом для метеорологии.

Попытки же определить так называемые «гидрологически эффективные» (стокообразующие) ливни, основываясь только на характеристиках дождевых осадков, физически несостоятельны, поскольку сток есть результат взаимодействия осадков с субстратом. Именно этим объясняется, почему в одних случаях продолжительные интенсивные осадки на хорошо водопроницаемых почвах не дают стока, а в других даже морозящие дожди с небольшим слоем при низкой водопроницаемости почв формируют значительный сток. Подробнее этот вопрос обсуждается ниже при рассмотрении инфильтрации и стока. Автор разделяет справедливое заключение Г. Конке и А. Бертрана, что «простого определения ливня (как дождя определенной продолжительности и интенсивности – Е. Г.) недостаточно..., чтобы различать дожди, которые вызывают сильный сток, от таких дождей, при которых сток незначителен или вовсе отсутствует» [169, с. 96]. К этому надо добавить, что при образовании стока от дождя он будет тем сильнее, чем выше его интенсивность и больше слой.

Твердые осадки. В Сев. Евразии режим осадков холодного периода, образование снежного покрова, продвижение его границы зимой, высота и запасы в течение зимы, снеготаяние в сильной степени зависят от температуры воздуха и зимней циркуляции атмосферы. Средняя наибольшая декадная высота снежного покрова возрастает от 10 см на юге европейской и азиатской территории (примерно по северу побережий Черного, Азовского, Каспийского и Аральского морей) до 50-60 см на побережье Ледовитого океана; плотность снега составляет 0,18-0,26 г/см³; максимальные запасы соответственно возрастают от 40 до 100-120 мм. На востоке и западе изолинии высот и запасов снега имеют большую меридиональную составляющую, чем в восточных районах европейской части и Западной Сибири. Обширные локальные максимумы осадков (высота 70-80 см, запасы 140-180 мм) приурочены к Уралу, Таймыру, Среднесибирскому плоскогорью (с обширными языками к нижнему течению Оби), т. е. определяются орографией. Разница между осадками холодного периода года и запасами снеговой воды достигает десятков миллиметров и обусловлена инструментальными погрешностями осадкомеров и снегосъемок, ошибками репрезентативности, выпадением части осадков в виде дождей, стаиванием снега при оттепелях (особенно в западных, южных и восточных районах), а также возгонкой при метельном переносе [104, 112, 128, 251]. Экспериментальные данные и расчет показывают, что возгонка влаги с поверхности снега идет

со скоростью от 3 ($T = -20^\circ$) до 30 мм/месяц ($T = 0^\circ$), повышаясь до 1,0-8,7 мм/сутки при увеличении температуры воздуха от 0 до 8° [263]. Скорость возгонки пропорциональна возрастанию температуры метельного потока, размерам частиц и уменьшению дефицита давления пара. Она удваивается при увеличении температуры на 10° и удваивается при понижении относительной влажности с 90 до 80%, более чем вдвое возрастая при удвоении размеров частиц [215]. Интенсивность выпадения снежных осадков может достигать высоких значений, что влияет на темпы снегонакопления, однако наибольшее гидрологическое значение имеет интенсивность снеготаяния и водоотдачи из снега. Максимальная интенсивность водоотдачи за период весеннего половодья вероятностью превышения Р1% составляет в европейской части Сев. Евразии 2-10 мм/ч (0,033-0,170 мм/мин) с тенденцией к повышению с юга на север и на возвышенностях. При Р50% она уменьшается до 0,05-5,00 мм/ч (0,008-0,080 мм/мин) [142].

Расчеты снеготаяния, выполненные по уравнению Лайта, дают величину около 3-12 мм/сутки (0,002-0,008 мм/мин) на единицу скорости ветра в интервале температур 4- 16°C и относительной влажности 40-100%. При конвективном переносе тепла и ветре до 10 м/с снеготаяние составляет 0,005 мм/мин [198]. В экспериментах А. И. Субботина зафиксирован максимум текущей водоотдачи из снега – 1-6 мм/час (0,017-0,1 мм/мин) и около 45 мм/сутки (0,03 мм/мин) [303]. По нашим оценкам, для лесостепной полосы России при запасах снеговой воды около 100 мм, 10-дневном снеготаянии по 10 часов в сутки средняя скорость снеготаяния составляет 0,017 мм/мин. Сопоставимый слой дождя за сутки (см. рис. 2.2) имеет интенсивность от 0,4 до 20 мм/мин. При слое осадков около 10 мм (примерно средний суточный слой снеготаяния в лесостепи) интенсивность дождей достигает 0,2-2,0 мм/мин. Таким образом, интенсивность снеготаяния при сопоставимых слоях осадков во много (десятки, сотни и тысячи) раз меньше интенсивности дождей, что при прочих равных условиях приводит к усиленному дождевому стоку.

2.1.2. Рельеф

Особенности рельефа главным образом сказываются на количестве выпадающих осадков и перераспределении уже выпавших. В первом случае рельеф выступает как мощный глобальный (распреде-

ление суши континентов и их высот) и региональный (внутриконтинентальное распределение равнинных и горных территорий) фактор. В глобальном аспекте суша континентов способствует формированию областей повышенного давления (обширных континентальных максимумов – антициклонов); в Сев. Евразии такой областью является Сибирский антициклон. В региональном аспекте обширные орографические единицы обуславливают действие так называемого орографического фактора – при встрече с возвышенными территориями «подпруживания», подъема воздушных масс, их охлаждения, конденсации паров и выпадения осадков. Местная и региональная орография приводит к сильному искажению поля осадков, обусловленному рассмотренным выше циркуляционным термодинамическим фактором. И хотя именно циркуляционный влагооборот определяет глобальные и зональные пики и минимумы осадков, наложение циркуляционного и орографического факторов определяет их абсолютные значения.

Абсолютный годовой максимум осадков 26461 мм (26,5 м!) зарегистрирован за период август 1860 – июль 1861 г. в Черрапунджи (Гималаи, Индия). Для этого же пункта максимум за два года (1860-1861) составил 40768 мм [198, 276]. Здесь же зарегистрированы месячные (9300 мм) и двухнедельные (4798 мм) рекорды. Недельные (4110 мм) и суточные (1870 мм, т. е. 1,3 мм/мин в среднем) рекорды отмечены в Силао на Реюньоне [там же]. Для обоих этих пунктов характерно формирование влажных тропических (+20..+25° широты) масс пассатов и муссонов, разгружающихся на наветренных горных склонах. В аналогичных условиях зафиксирован среднегодовой максимум осадков на Земле – 11981 мм (гора Вэшаль на о. Кауаи, Гавайские о-ва, 1912-1949 гг. [34]). Почти столько же (до 11000 мм) в среднем за год выпадает осадков в горах Сьерра-Невада в Калифорнии и в Черрапунджи (11674 мм [34]).

В умеренном поясе Сев. Евразии количество выпадающих осадков существенно меньше, но и здесь орографический фактор определяет среднегодовые максимумы (1600 мм и более) в горах Кавказа и Средней Азии. В Карпатах, Крыму, на Урале и Камчатке максимумы составляют 800-1600 мм [39]. Влияние относительно низких (до 300-400 м) возвышенностей не столь велико, однако и они обуславливают заметное (на 40-80 мм при $P = 1\%$) увеличение слоя осадков теплого периода в пределах европейской равнины [142]. Влияние орографии на выпадение твердых осадков особенно сильно в горах; возвышенно-

сти равнин и невысоких гор (Урал, Путоран) влияют заметно слабее – разница с пониженными территориями составляет в среднем за год 20-40 мм [172]. Однако отмеченные локальные проявления орграфического фактора все же не изменяют первостепенного влияния на выпадение осадков в Сев. Евразии циркуляционного фактора и отмеченного общего их уменьшения при движении с запада на восток, обусловленного как «разгрузкой» влажных атлантических воздушных масс, так и нарастанием влияния континентальности (нарушаемого муссонным климатом Дальнего Востока и Приморья).

Влияние рельефа на перераспределение уже выпавших осадков обусловлено главным образом уклоном и длиной склонов. Разность высот и экспозиция склонов оказывают воздействие за счет различий температурного и ветрового режимов. В силу этого на местных водоразделах снег сходит позже, чем в понижениях. На склонах большой крутизны, близкой к крутизне естественного откоса, происходит также гравитационное обрушивание снега (снежные лавины в горах). На равнинах оно имеет место на откосах оврагов. У их подножий происходит значительное накопление снежных масс, особенно при большой длине откосов (в горах – сотни метров).

На равнинах существенно большее гидрологическое и эрозионное значение имеет экспозиция склонов, главным образом в связи с ветровым переносом [41, 90, 144, 164, 310]. Сочетание инсолируемости и ветроударности склонов приводит к тому, что берега балок и крутые (до 8-10°) присетевые склоны к началу снеготаяния имеют незначительный снежный покров и лишены его вовсе. Оттаявшая почва таких склонов легко смывается и размывается поступающими с водораздельных склонов потоками талой воды. На теневых же снегозаносимых склонах, наоборот, накапливаются громадные многометровые толщи медленно тающих сугробов.

2.1.3. Растительность

Взаимодействие растительности и осадков имеет несколько аспектов. Главнейшие из них заключаются во влиянии растительности на выпадающие осадки и в трансформации уже выпавших осадков растительным покровом.

Первый аспект имеет несколько сторон. Одна из них состоит в изменении режима циркуляции воздушных масс за счет уменьшения от-

ражательной способности (альбедо) суши, покрытой растительностью. Вторая заключается в увеличении влагосодержания воздуха за счет транспирации влаги растениями. Третья состоит в том, что повышенная в сравнении с травянистыми растениями десукция влаги корнями деревьев и последующая транспирация обуславливает так называемое гидроклиматическое трансгрессивное (пространственное) их влияние на влагооборот территории [56]. И, наконец, повышенная шероховатость лесистой территории замедляет движение воздушных масс, что приводит к их подъему, охлаждению и дополнительной конденсации влаги. Это явление по своей природе близко к орографическому эффекту.

Второй аспект проявляется в перехвате осадков растительным покровом, во влиянии его на выпадение так называемых «горизонтальных» осадков, а также на перемещение ветром выпавших твердых осадков.

Влагооборот территории (гидроклиматический аспект). Имеется обширная отечественная и иностранная литература, посвященная качественному описанию и количественным оценкам (в т. ч. математическими выражениями) роли растительности как фактора влагооборота. Начиная с работ акад. К. С. Веселовского, впервые высказавшего гипотезу о гидроклиматической роли лесов, и А. И. Воейкова, внесшего в нее существенные уточнения, в экспериментальных попытках определить наличие подъема воздушных масс над лесными насаждениями на величину до 56-68 м [170] и, наконец, при анализе и обобщении многочисленных данных воднобалансовых исследований влияния растительного покрова на перехват атмосферных осадков и их расходование на испарение, десукцию и транспирацию почвенной влаги, поверхностный, грунтовый и речной сток, проблема получила обстоятельное обсуждение [40, 68, 138, 204, 226, 227, 253, 268, 294, 301, 303]. Не вдаваясь в детали, остановимся на тех моментах, которые имеют существенное значение для оценки осадкоформирующей и трансформирующей роли растительности вообще и лесной – в частности.

Главное, что обращает на себя внимание, – полярность выводов разных исследователей, идет ли речь об испарении и транспирации влаги лесом и полем, влиянии растительного покрова на общий (речной) сток или количестве выпадающих осадков над лесом и полем. Помимо чисто субъективных моментов, разноречивость заключений обусловлена сложной физической природой многофакторного объекта исследований, техническими трудностями измерений и оценок (особенно испарения и транспирации), инструментальными погрешностями и

ошибками репрезентативности. Последние два обстоятельства играют очень важную роль, поэтому даже множественный регрессионный анализ с применением ЭВМ [226, 268] не спасает дела.

Инструментальные погрешности и ошибки репрезентативности для отдельных статей водного баланса составляют следующие величины: при учете снегозапасов и влажности почвы 1-10% (раздел 1.2.2), слоя стока около 5% [119], осадков осадкомерами около 10% [117]. Проиллюстрируем, какое это имеет значение для оценки влияния лесистости на осадки на примере работы А. И. Миховича [226]. При слое осадков за теплый период года (IV-X месяцы) на широте Киева 384 мм [117, с. 102] и нормативной прибавке осадков за счет влияния леса 6,8% (по А. И. Миховичу) величина прибавки составит 26 мм и, таким образом, количество осадков при лесистости 100% будет $384 + 26 = 410$ мм. Принимая точность учета осадков над лесом и полем равной $\pm 10\%$, получим разность $(410 \pm 41) - (384 \pm 38) = 26 \pm 79$ мм, т. е. она будет определена с ошибкой 300%! О низкой точности показателей, рассчитываемых по разности исходных значений, особенно при близких их абсолютных величинах, достаточно хорошо известно из теории ошибок измерений [69, с. 19]. Аналогичные расчеты несложно выполнить и для оценок суммарного испарения (эвапотранспирации) косвенным методом – по разности влагозапасов. Ошибка расчетов достигает 50-80 мм [333]. Вообще точность гидрологических расчетов составляет около 15-20% [35].

Что же касается дополнительного увлажнения местности за счет подъема воздушных масс над лесом, то его следует признать заведомо меньшим в сравнении с увлажнением от влияния возвышенностей, которое, как отмечено, не превышает нескольких десятков миллиметров. Поэтому вывод о том, что «проблема гидроклиматической роли леса еще далека от окончательного решения» [294, с. 84], хотя и пессимистичен, но справедлив. Тем не менее роль растительности, и особенно лесной, в преобразовании гидрологического режима местности велика.

Перехват осадков. Многочисленные экспериментальные определения перехвата атмосферных осадков P_{oc} поверхностью надземной фитомассы (в основном листьями и хвоей, а также стеблями и стволами), систематизированные в работах [229, 253], как показали исследования, легко обобщаются простым выражением [59]:

$$P_{oc} = P_M [1 - \exp(-h_{oc}/P_M)], \quad (2.1)$$

где h_{oc} – слой осадков; P_M – максимальная водоудерживающая спо-

способность растительного покрова. Величина P_M имеет порядок нескольких миллиметров.

Следует учитывать, что значительная часть выпадающих за один дождь осадков составляет слой всего в несколько миллиметров. Они перехватываются практически полностью и затем расходуются на испарение. В силу этого перехват осадков колеблется от нескольких до 60-80% [253] и имеет большое значение, обуславливая понижение влажности почвы под лесом в летний период. Кроме того, благодаря высокой влагоемкости лесной подстилки, достигающей 200-400% и более [166, 342 и др.], и значительных ее запасов (до 20-60 т/га и более) перехват ею осадков при единовременном увлажнении выражается величиной от нескольких до 10 мм и более [166, 285, 293 и др.]. Задержание зимних осадков пологом насаждений также значительно, но эти осадки в основном достигают поверхности почвы при ветрах и оттепелях.

«Горизонтальные» осадки, осаждаемые на растениях в виде росы и инея, могут достигать в специфическом климате огромных значений – сотен и тысяч миллиметров [34, 253]. В умеренном поясе обычно их величина под пологом леса относительно невелика и снеготопасы к моменту снеготаяния близки к слою осадков, учтенных осадкомерами за холодный период года.

Важно отметить особенности ветрового переноса снега в ландшафтах с естественной растительностью. В обширных лесных массивах, занимающих всю площадь водосбора, снег не переносится вовсе и залегают рыхло. На травянистой целине часть снега размещается в крупных пустотах степного войлока и рыхло сложенных остатках растений (суммарный слой около 10-15 см). Кроме того, на травянистой целине остается много стеблей высокорослых растений. Все это в совокупности значительно ослабляет уплотнение снега, его перенос, потерю на ветровую возгонку, а также уменьшает его массу, аккумулирующуюся на берегах гидрографической сети и у опушек колковых массивов. Если учесть, что естественная лесистость девственной лесостепи и степи достигала 20-30% и более [347] и была обычно мозаичной, то естественные ландшафты обеспечивали хорошую сохранность снежного покрова без образования больших снежных сугробов у препятствий. Рыхлое залегание снега повышенной мощности, наличие пустот в подстилке предохраняет почву от глубокого промерзания, что является одним из факторов повышения инфильтрации воды в почву.

2.2. Инфильтрация воды в талую почву и ее факторы

2.2.1. Факторы приземного слоя

В схеме гидрологического процесса (пренебрегая испарением) осадки \rightarrow инфильтрация \rightarrow сток ($O_c \rightarrow I \rightarrow C$) инфильтрации принадлежит решающая роль в трансформации осадков в сток ($C = O_c - I$). Если инфильтрация (I) равна нулю, то $C = O_c$; если $I < O_c$, то $C = K_c \cdot O_c = (1 - K_u) O_c$ и $K_u + K_c = 1$, где K_u и K_c – коэффициенты инфильтрации и стока, выраженные в долях от осадков. Приведенные простые воднобалансовые соотношения означают как бы симметричность, зеркальность инфильтрации и стока при одном и том же слое осадков: чем больше (меньше) инфильтрация, тем меньше (больше) сток (рис. 2.3). Это определяет то значение, которое в гидрологии придается экспериментальному и теоретическому исследованию инфильтрации.

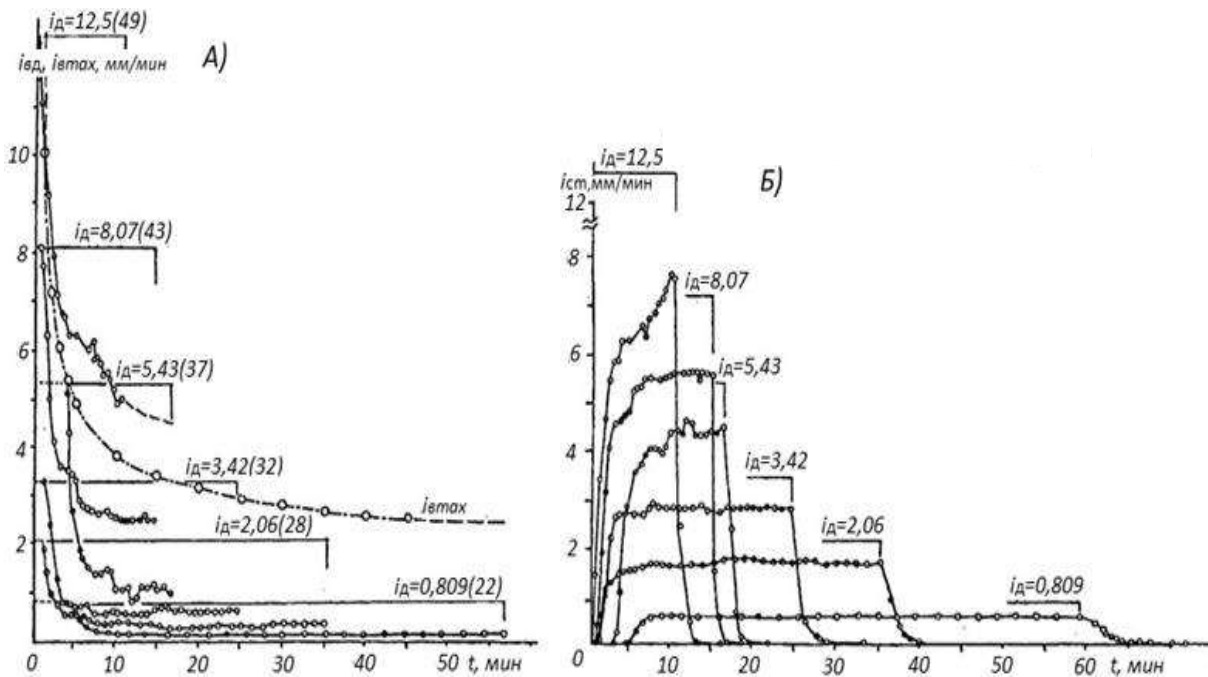


Рис. 2.3. Динамика реальной $i_{вд}$, максимальной $i_{вmax}$ интенсивности инфильтрации (А) и стока $i_{ст}$ (Б) в зависимости от интенсивности дождевания i_d . Сосново-еловое насаждение ур. Колодезного, 1966 г. В скобках – номер опыта

Инфильтрация определяется водопроницаемостью почвы – ее способностью, по Н. А. Качинскому, «воспринимать воду, подаваемую с поверхности ее, проводить эту воду от слоя к слою в ненасы-

щенных водой горизонтах и, наконец, **фильтровать** воду сквозь определенную толщу горизонтов, **вполне насыщенных** водой... Процесс восприятия воды сухой ненасыщенной водой почвой называется впитыванием воды, и измеряют его «коэффициентом впитывания», в отличие от «коэффициента фильтрации», которым характеризуют интенсивность прохождения воды сквозь почвенные или грунтовые слои, вполне насыщенные водой. В природной полевой обстановке, в большинстве случаев, четкое разграничение этих двух процессов **отсутствует**. Поверхностные горизонты почвы, первыми воспринимающие воду, и насыщаются ею **в первую очередь**. В то же время, когда в отношении их уже можно применить понятие о фильтрации воды, подстилающие их горизонты будут воду только впитывать» [153, с. 31; подчеркнуто мною – Е. Г.].

В отечественной и зарубежной литературе понятия впитывания, поглощения, просачивания и инфильтрации часто отождествляют; относительно фильтрации как качественно особой фазы (стадии) процесса мнение более единодушное. Различают два режима инфильтрации: безнапорный («свободная» [42, 114, 184 и др.] инфильтрация) и напорный. Кроме того, может быть их сочетание. Первый наблюдается при естественном выпадении дождей, орошении дождеванием и снеготаянии пока интенсивность впитывания больше или равна интенсивности дождя ($i_v \geq i_d$) и пока на поверхности субстрата не начинается формирование лужиц. Второй режим формируется при условии $i_v < i_d$, а также при изначальном сплошном затоплении поверхности субстрата водою. Эти режимы соответствуют так называемой «реальной» и «максимальной» ($i_{вд}$, $i_{вмакс}$, см. рис. 2.3) водопроницаемости почвы по Г. П. Сурмачу [305]. В обоих случаях отмечается характерная динамика скорости процесса во времени: исходно высокая в начальный момент скорость убывает быстро, затем медленнее и, наконец, стабилизируется при переходе инфильтрации из начальной фазы впитывания (поглощения) в фазу просачивания (фильтрации, характеризующейся коэффициентом фильтрации K_ϕ) согласно представлениям А. Н. Костякова. (Заметим, что хотя понятие начальной скорости инфильтрации априорно вводится, но экспериментально не определяется.) При общем сходстве обоих режимов инфильтрации между ними имеются и очевидные различия (в частности, во времени и уровне стабилизации процесса), природа которых нуждается в объяснении. Полагают, что фаза впитывания определяется процессом ка-

пиллярного (частично пленочного) заполнения свободных пор влагой, а фаза фильтрации – гравитационным и напорным течением воды сквозь заполненные капиллярные и некапиллярные поры (А. Н. Костяков [178], А. И. Будаговский [42], А. А. Роде [273], И. Б. Ревут [269], А. Д. Воронин [65], М. Дж. Керкби [154] и др.). Очевидно, что только различиями в механизме процессов на разных фазах динамика инфильтрации не исчерпывается, о чем свидетельствуют послойные ее определения, обнаруживающие обычно более высокую водопроницаемость верхних слоев почвы [42 и др.], часто вследствие их большей крупнокапиллярной порозности и дефицита влажности.

Таковы основные представления, понятия о процессах и явлениях инфильтрации, положенные в основания ее теории: капиллярное строение субстрата, действие ведущих сил – капиллярного всасывания и гравитационного течения, напора, – безнапорный и напорный режимы инфильтрации. Они-то и выражаются соответствующими математическими моделями.

Хотя математические модели инфильтрации (фильтрации) существуют уже сотни лет [31], наибольшие успехи в ее теории достигнуты благодаря применению теоретических положений неравновесной термодинамики и математической физики, описанию явления в понятиях гидравлической проводимости, градиента потенциала скорости передвижения воды, основных гидрофизических характеристик почвы [65, 93, 184, 235, 273, 339].

А. Н. Костяков [178], выделивший в процессе инфильтрации начальную стадию впитывания (просачивания) влаги, предложил для ее описания выражение

$$i_{gt} = i_{go}t^{-a}, \quad (2.2)$$

где i_{go} – скорость впитывания в начальный момент времени t ; $a = 0,3-0,8$ – параметр. Полным аналогом выражению (2.2) является соотношение Фри (G. Free) и др. [372].

Почти одновременно с А. Н. Костяковым было выведено Р. Е. Хортоном (R. E. Horton) [374] более сложное выражение:

$$i_{gt} = i_{gy} + (i_{go} - i_{gy})e^{-at}, \quad (2.3)$$

где i_{gy} – установившаяся скорость инфильтрации при естественных дождях.

Хотя это выражение утвердилось в специальной литературе, но, по мнению М. Дж. Керкби (М. Дж. Киркби, Керкби), «по-видимому, вообще не имеет физической основы» [154, с. 62].

J. R. Philip [381, 382], основываясь на дифференциальных уравнениях сохранения массы в законе Дарси, а также ограничивая задачу изотермическими условиями полунасыщенного потока, получил приближенное выражение для суммарной инфильтрации [154, 273]:

$$i_{ec} = S_p t^{0.5} + A_p t, \quad (2.4)$$

где S_p – почвенный параметр, называемый поглощающей способностью; A_p – почвенный параметр, связанный с насыщенной гидравлической проводимостью и равный ей для почвы с насыщенной водой поверхностью.

Первый член уравнения доминирует на начальной стадии инфильтрации с преобладанием процессов гидравлической «диффузии», второй – при $t \geq 10^5$ мин и преобладании гравитационной составляющей.

Дифференцирование (2.4) приводит к выражению

$$i_{et} = 1/2 S_p t^{-0.5} + A_p, \quad (2.5)$$

что очень близко к уравнению А. Н. Костякова и других авторов [1, 184]. Его преимущества не в большей точности (на больших периодах времени), а в том, что оно основано на физических соображениях [346]. М. Дж. Керкби, наоборот, отмечает его большую точность в начале процесса [154, с. 62].

Эксперименты и новейшие теоретические разработки последних лет, в том числе основанные на модели представления почвы в виде капиллярной колонны или параллельных пластин [154, 184], а также учитывающие геометрию и распределение по размерам элементарных почвенных частиц – ЭПЧ [65], роль заземленного воздуха и т. п., продвинули вперед понимание сложного многофакторного процесса инфильтрации. Вместе с тем следует подчеркнуть, что заключение С. А. Коля [165] о невозможности построения единой обобщенной кривой впитывания при любых сочетаниях интенсивности осадков и влажности почвы остается справедливым по сей день. Это означает необходимость принципиальных уточнений аспектов физической природы процесса.

Таким образом, краткий обзор моделей позволяет заключить, что конечные математические выражения достаточно просты. Они двучленны, что обусловлено ведущей ролью двух физических процессов (капиллярного всасывания и гравитационного течения), довольно хорошо аппроксимируют опытные данные, согласуются с эмпирическими выражениями. В связи с этим мы разделяем точку зрения В. Я. Кулика [184], что простые параболические модели типа уравнения Костякова, дающие удовлетворительные результаты расче-

та, имеют большие преимущества в сравнении со сложными моделями тепломассопереноса, требующими трудоемкого определения многих сложно оцениваемых коэффициентов. При этом трудно учитываемая вариация этих коэффициентов в естественных условиях сводит на нет преимущества более сложных моделей [59, 154] даже при применении численных методов расчетов и ЭВМ. Вместе с тем отмеченные, в основном технические, трудности не исключают поисковые и теоретические исследования с применением новых типов моделей и уравнений [184]. Это тем более необходимо, что «наши представления о тонкостях процессов, протекающих в пределах однородных элементов почв, все еще остаются неполными» [154, с. 54].

На наш взгляд, состояние современной теории инфильтрации таково, что слабо исследованы не только ее «тонкости», но и традиционные представления о сути ведущих процессов нуждаются в серьезных уточнениях. Остановимся на анализе лишь некоторых аспектов проблемы, существенных для ее понимания и дальнейшей разработки. Таковы, по нашему мнению, условия, которые определяют соотношение инфильтрации и стока, свободной и напорной инфильтрации, так называемой «реальной» и «максимальной» инфильтрации.

Рассмотрим эти вопросы.

Соотношение инфильтрации и стока. Анализ особенностей выпадения осадков без учета свойств субстрата не дает ответа на вопрос, какие осадки являются стокообразующими (см. раздел 2.1.1). Не дает ответа на этот вопрос и теория инфильтрации, несмотря на попытки рассчитать время начала формирования стока из соотношения интенсивности осадков и временной динамики инфильтрации [154], поскольку условия, при которых начинает формироваться сток, до сих пор не определены.

Остановимся на этом обстоятельстве более подробно, поскольку оно имеет принципиальное значение для понимания соотношения инфильтрации и стока.

Еще Р. Хортоном (30-е годы XX в.) было высказано предположение, что сток формируется тогда, когда интенсивность осадков превысит интенсивность инфильтрации ($i_o > i_g$). Это положение настолько логично, что не нуждается в доказательстве. Тем не менее, чтобы этот логический императив превратить в физический, требуется сущая малость: необходимо назвать явление, обуславливающее превышение i_o над i_g , и процесс, определяющий это явление. При всей

беспорности такого подхода дискуссионным остается вопрос, при каких условиях возможно соотношение $i_o > i_v$ и чем оно определяется. Облегчить ответ помогает другое положение, обусловленное первым, а именно: **сток не формируется тогда, когда i_e больше i_o , т. е. тогда и только тогда, когда часть порового пространства остается свободной, не заполненной водою.** Это очевидно для некапиллярных, крупнокапиллярных крупнозернистых грунтов и соответственно агрегированных почв, менее очевидно для грунтов с мелкими капиллярами. Однако при малых интенсивностях осадков и высоком капиллярном потенциале (при низкой исходной влажности субстрата) такое допущение вполне вероятно. Мыслимо поглощение влаги сухим субстратом с передачей ее вследствие контакта поверхностей от агрегата к агрегату или элементарными почвенными частицами и гранулометрическими отдельностями несвязных грунтов за счет капиллярного всасывания и (или) микростока по поверхностям отдельностей без полного перекрытия (хотя бы некоторой доли) просветов между ними.

Но если справедливо допущение, при котором сток не формируется ($i_e > i_o$), то справедливо и обратное: $i_e < i_o$, и **сток формируется тогда и только тогда, когда просвет всех пор полностью перекрыт водою.** При этом в субстрате образуется сначала сплошная менисковая пленка (СМП), а затем и слой воды, ограниченный сверху и снизу менисками (по А. А. Роде – «сплошной слой подвешенной воды, полностью насыщающей» [273, с. 203] субстрат. Важно подчеркнуть, почему именно это явление обуславливает формирование стока (процесс и особенности формирования СМП изображены на рис. 2.4). СМП обладает двумя важными свойствами: 1) вертикальной гидравлической проводимостью под действием собственной массы влаги в капиллярах и избыточного гидростатического напора и 2) сплошностью водной пленки как в пределах просвета капилляров, так и смоченной поверхности ЭПЧ и агрегатов. Первое свойство обуславливает собственно инфильтрацию. Второе – при непременном наличии минимальных уклонов на уровне ЭПЧ и агрегатов создает тангенциальную составляющую водного потока и формирует хотя бы незначительный микросток по поверхности СМП. (Появление локального микростока мыслимо еще до формирования СМП, когда часть порового пространства не перекрыта водою. Важно, чтоб общий расход микростока превышал расход в не полностью закрытые поры).

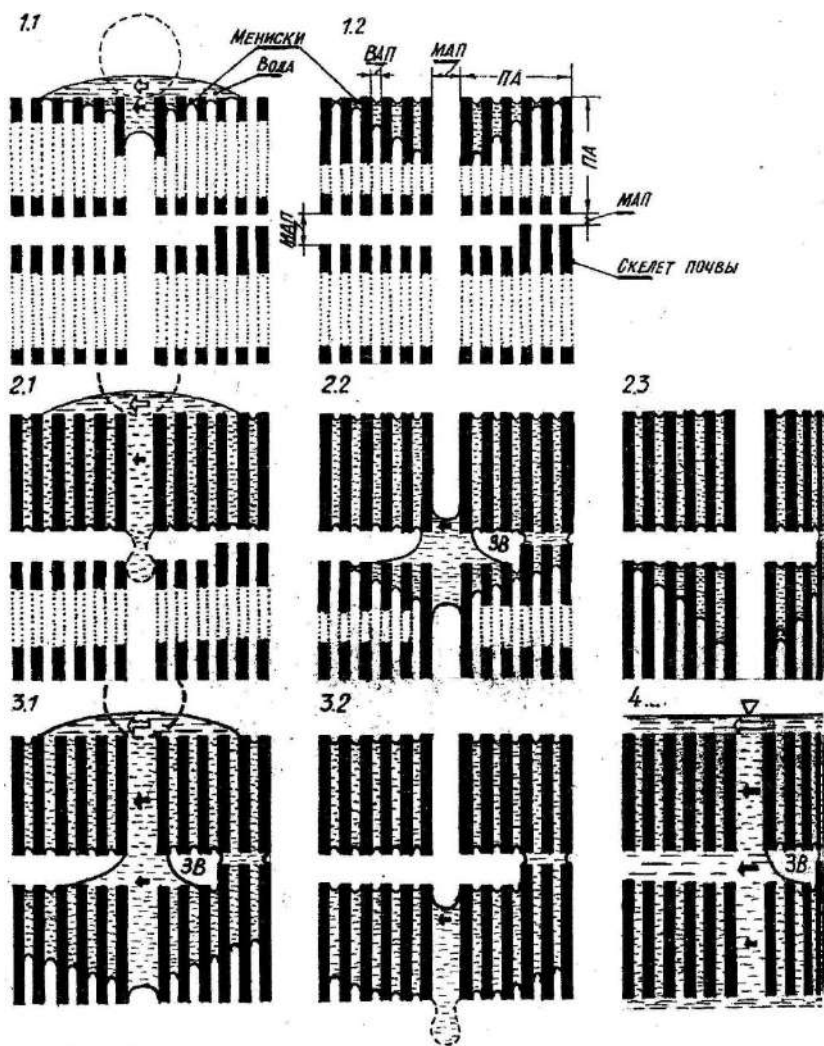


Рис. 2.4. Схема этапов (1.1-4...) взаимодействия влаги осадков с почвой, образования сплошной менисковой пленки, просачивания влаги в почву и формирования внутрипочвенного и поверхностного стока (стрелки):

ПА – почвенный агрегат, ВАП – внутриагрегатные поры, МАП – межагрегатные поры, 3В – полость с заземленным воздухом

Концепция СМП дает ключ к пониманию роли факторов, приводящих к ее образованию. Понятно, что вероятность образования СМП тем больше, чем меньше размер пор (для почвы – в первую очередь межагрегатных, ЭПЧ, агрегатов, меньше капиллярный потенциал и дефицит влажности, слабее водопрочность структуры, крупнее капли дождя, сильнее их разрушающее воздействие на почву и т. п. В зависимости от сочетания названных факторов время (от начала поступления осадков) и глубина образования СМП возрастают или уменьшаются. При некоторых условиях сток возникает практически с началом выпадения осадков, в иных случаях он формируется значительно позже или не формируется вообще даже при очень больших слоях интенсивных дождей. Образование СМП на той или иной глубине от поверхности субстрата объясняет не только поверхностный, но и внутрипочвенный, и «остаточный» сток после прекращения выпадения осадков и исчезновения луж на поверхности почвы. (В англоязычной литературе принято

различать «обычный» поверхностный сток – сток Хортонa – при «предельной» инфильтрации, когда $i_o > i_e$; сток в условиях «излишнего» насыщения почвы еще до выпадения дождя и так называемый «возвратный» сток – аналог остаточного [154].)

Важно подчеркнуть, что большинство стокообразующих осадков имеют слой около 10 мм, что сопоставимо с обычной емкостью поверхностного микрорельефа. Это означает, что СМП часто формируется очень рано, т. е. в самых верхних слоях почвы или практически на ее поверхности. Таким образом, свойства именно поверхности почвы и ее тонкого приповерхностного слоя (первые миллиметры) часто имеют решающее значение в формировании СМП. Об этом свидетельствуют наблюдения в природе и эксперименты с дождеванием крупной каплей слабОВОДOPочных почв. При этом на поверхности образуется слой диспергированных почвенных частиц, отличающийся повышенной плотностью, мелкой капиллярностью и слабой водопроницаемостью. О роли сложения поверхности почвы в инфильтрации сообщает В. Я. Кулик. Он отмечает, что малозаметное воздействие, в т. ч. «простое разглаживание рукой поверхности вспаханной почвы, иногда приводит к изменению ее впитывающей способности на порядок» [184, с. 12]. (Однако, по личному сообщению А. Т. Барабанова, такая же операция, приводившая к ликвидации емкого микрорельефа, практически не сказывалась на водопроницаемости почвы при дождевании.) В. Я. Кулик указывает также на случаи провального впитывания независимо от количества поданной в опыте воды. Вместе с тем в его опытах предварительный небольшой полив снимал провальную водопроницаемость или она не обнаруживалась на другой день без каких-либо видимых изменений состояния почвы. Таким образом, на инфильтрацию сильно влияет наличие зоны или границы раздела (перехода) между водой и субстратом и процессы здесь в сильнейшей степени определяются характером поступления влаги, т. е. особенностями самих осадков [59]. Только один пример из множества. Так, И. П. Сухарев, ссылаясь на эксперименты Е. Н. Цыкина в Каменной степи, выполненные с применением дождевальной установки ($i_d = 4,5$ мм/мин), отмечает бессточное впитывание 1470 мм (!) осадков, объясняя это рыхлостью и оструктуренностью почв [320]. В другом эксперименте в 60-летней лесополосе, где почва также хорошо оструктурена, сток появлялся через 30-40 минут при $i_d = 2,7$ мм/мин, т. е. слой бессточного впитывания составлял только 80-110 мм [321]. Расхождение величин на порядок не комментируется. Ес-

ли учесть, что дожди с интенсивностью 2,7-4,5 мм/мин в условиях Каменной степи крайне редки и их продолжительность не превышает обычно нескольких минут, а абсолютный максимум слоя наблюдаемых в ЦЧО осадков, по данным О. А. Дроздова, обычно не превышает 70-80 мм, колеблясь в пределах 50-140 мм [320], то полученные в экспериментах результаты приводят к парадоксальному заключению: дождевой сток в ЦЧО – явление не рядовое, а исключительное. В действительности это не так. О. Г. Котлярова отмечала в Каменной степи наличие стока и смыва 26.07.1967 г. при ливне слоем всего 13 мм, а в экспериментах 1967-1969 гг. при $i_d = 1,5-2$ мм/мин – бессточное поглощение 225-520 мм осадков [179]. Причины этого парадокса обусловлены особенностями дождевальных установок с мелкой каплей (см. далее).

Образованием СМП на поверхности почвы или в приповерхностном слое можно объяснить и результаты наших экспериментов с дождеванием на серых лесных почвах в лесных насаждениях и на пашне [74]. Слой бессточных осадков составлял в среднем на пашне 5,8-6 мм (от 2,1 до 10,4 мм), в березовом лесу 6,6 мм (3,2-15 мм), в сосново-еловом 4,2 мм (1,4-6,9 мм). Таким образом, почва до начала стока поглощала 1,4-15 мм осадков. При исходной влажности почвы 10-17% в слое 0-10 см, наименьшей влагоемкости НВ = 21-35%, полной влагоемкости ПВ = 50-60%, объемной массе $OM = 1,2-1,4$ г/см³ количество влаги до начала образования стока способно было промочить слой почвы мощностью в несколько миллиметров или, от силы, несколько сантиметров. Если же учесть наличие бессточного микро-рельефа емкостью порядка 3-5 мм, то промачивание было еще меньше. Из этого следует, что СМП формировалась практически в начале дождевания, т.е. с поверхности почвы.

Справедливости ради следует сказать, что в литературе отмечается образование СМП в процессе инфильтрации [184, 273] и ее связь с поверхностным стоком. Так, в опытах Бодмана и Кольмана [273] установлено, что при инфильтрации влаги в почву самый верхний ее слой (примерно 0-5 см) имеет влажность, равную ПВ и даже больше ее (за счет набухания). Ниже залегает слой с влажностью 0,7-0,8 ПВ (12-18% от ПВ здесь занимает заземленный воздух) [42, 52], затем слой с несколько уменьшающейся книзу влажностью, который довольно резко переходит в фронт смачивания; ниже его залегает почва с исходной влажностью. Аналогичный профиль распределения влажности в инфильтрующей почве приводят И. С. Васильев [51], А. И. Будаговский

[42], Н. С. Орешкина [241], Е. G. Youngs [154], И. И. Судницын [304] и другие. Характерно, что после прекращения подачи воды на поверхность почвы профиль влажности во времени деформируется со смещением пика вниз так, что влажность выше- и нижележащих слоев понижается. Это означает, что слой капиллярно-подвешенной влаги как бы стремится к сохранению, рассасываясь кверху и книзу и утончаясь до СМП, которая разрушается в последнюю очередь.

На прямую связь образования СМП с формированием поверхностного стока указывает М. Дж. Керкби. Он считает, что поверхностный сток отсутствует, если не все макропоры насыщены водой [154]. Некоторые исследователи полагают, что при диаметре пор ≥ 1 мм образование СМП затруднено или исключается, особенно в предварительно увлажненном субстрате [51, 273]. Кроме того, в грунтах с размером частиц 0.08-0,1 мм слой воды между верхней и нижней границами СМП при достижении им некоторой критической толщины под влиянием гравитации «обрывается» и вся или почти вся вода стекает вниз [273]. Утверждается также, что условие $i_o \geq i_s \geq K_\phi$ наступает лишь после полного насыщения водой всей зоны аэрации [184].

По поводу изложенного заметим следующее. Понятие «все поры заполнены» водой достаточно неопределенно в отношении слоя почвы и отличается от понятия СМП; во всяком случае, первое без второго трудно объяснить и понять. Что касается гравитационного «обрыва» слоя капиллярно-подвешенной и исчезновения вследствие этого «почти всей» влаги, то, во-первых, это также порождает неопределенность смысла утверждения (неясно, какую форму имеет оставшаяся влага) и, во-вторых, (что наиболее существенно), если это означает разрушение СМП (т. е. появление свободного просвета капилляров), то ни логически, ни физически становится необъяснимым возникновение СМП. Иными словами, мы считаем, что гравитационный обрыв не уничтожает СМП. Далее, простые наблюдения показывают, что на ситах с достаточно большим размером ячеек (по меньшей мере 1-2 мм) образуется СМП. И, наконец, если обусловить соотношение $i_s \leq i_o$ только полным насыщением всей зоны аэрации водой, то в экспериментах с дождеванием и в природе при реальных слоях осадков полное насыщение зоны аэрации является скорее исключением, а не правилом (или понятие зоны аэрации надо уточнять). Обычно фронт промачивания при стокоформирующих дождях опирается на слои, весьма далекие от насыщения. Кроме того, здесь требуется анализ соотношения напорной и безнапорной, максимальной и реальной водопроницаемости.

Безнапорная и напорная инфильтрация. А. И. Будаговский так описывает явление безнапорной (свободной) инфильтрации: при выпадении дождевых капель поверхность почвы «покрывается тонкой водяной пленкой, становится сплошной (образуется СМП – Е. Г.). Этот момент соответствует окончанию фазы свободной инфильтрации и началу следующей фазы – напорной инфильтрации. Коэффициент фильтрации, устанавливающийся в первой фазе, зависит от интенсивности дождевания [42, с. 64]. Он же полагает, что свободная инфильтрация в однородной почве при постоянстве интенсивности осадков характеризуется постоянным напорным градиентом и постоянной скоростью движения фронта впитывания. Напорная инфильтрация пропорциональна гидравлическому градиенту и коэффициенту фильтрации K_f – гидравлической проводимости [65, 273]. Коэффициентом фильтрации (или насыщенной гидравлической проводимости) обычно считается конечное значение скорости инфильтрации [65, 178]. В соответствии же с определением А. И. Будаговского, K_f есть характеристика любого момента напорной инфильтрации, т. е. K_f есть не константа, а переменная величина (для слоя почвы реальной мощности, а не для «элементарного» слоя). Таким образом, в одних случаях предлагается весь процесс в фазе напорной инфильтрации считать фильтрацией, а в других – понимать под фильтрацией лишь конечную фазу процесса со стабильной величиной скорости. Правомерность того или иного подхода определяется сущностью физических процессов. Если полагать, что напорная инфильтрация характеризуется полным насыщением пор субстрата, то правомерно считать, что ее режим не отличается от режима «истинной» фильтрации на стадии стабилизации процесса, когда все поры субстрата вплоть до уровня грунтовых вод заполнены водой. Если же принимать в расчет, что, хотя напорная инфильтрация в пределах промоченного слоя субстрата и сопровождается полным насыщением пор, а влага в его пределах движется только по межагрегатным пустотам, все же скорость этого движения будет определяться не только характеристиками заполненного водой слоя, но и способностью субстрата, лежащего ниже фронта промачивания, впитывать воду внутри- и межагрегатными силами, а также гидравлической проводимостью межагрегатных пор. Очевидно, что это разные ситуации.

Важно отметить следующее: из определения по А. И. Будаговскому и В. Я. Кулику следует, что безнапорной инфильтрации соот-

ветствует фаза дождя с отсутствием стока, т. е. фаза безнапорной инфильтрации для поверхностного стока гидрологически непродуктивна. Это также означает, что как только все поры будут заполнены водой (сформируется СМП) и наступит фаза напорной инфильтрации, сток при дожде будет определяться только этой ее фазой. Известно, однако, что при дождях, даже если вся видимая поверхность почвы покрывается водной пленкой (т.е. заполняются все внутриагрегатные поры) поверхностного водообразования еще долго может не быть, т. е. сток не начинает формироваться и может вообще не сформироваться. Но даже если происходит поверхностное водообразование («поверхность начинает блестеть» [42, с. 64], на ней отмечается «блеск воды» [71], формируется микросток на бортах емкостей микрорельефа, образуются лужицы в его днищах, происходит переполнение его емкостей и формируется поверхностный сток), все равно часть поверхности почвы остается не затопленной водой даже при очень интенсивных дождях. Известно также, что по мере увеличения интенсивности дождя степень затопления водой поверхности почвы возрастает и возрастает интенсивность инфильтрации, достигая максимума при сплошном покрытии почвы водой. И даже если эта предельная ситуация вполне соответствует режиму «истинной» напорной инфильтрации, очевидно, что это понятие не дает исчерпывающего объяснения всему диапазону ситуаций, начиная от появления водной пленки на поверхности почвы и первых лужиц до сплошного затопления поверхности почвы водой.

Максимальная и реальная водопроницаемость почвы. Понятия реальной и максимальной водопроницаемости почвы были предложены Г. П. Сурмачем [305]. Под реальной водопроницаемостью он понимал водопроницаемость, обнаруживаемую почвой при естественном поступлении на ее поверхность дождевых и талых вод и несплошном затоплении водой поверхности. После сплошного затопления поверхности почвы наступал режим максимальной водопроницаемости. При этом реальная водопроницаемость оказывается ниже максимальной, по крайней мере, на начальных стадиях выпадения осадков (см. рис. 2.3). Наиболее существенным отличием реальной водопроницаемости почвы от максимальной является ее зависимость от интенсивности осадков: с увеличением интенсивности осадков реальная водопроницаемость возрастает, стабилизируясь всякий раз на более высоком уровне (см. рис. 2.3).

Остановимся подробнее на двух этих характеристиках. Начнем с наиболее простой, хорошо оцененной экспериментально и теоретически осмысленной характеристики максимальной водопроницаемости – коэффициента фильтрации K_ϕ .

Существует следующая связь между K_ϕ (мм/мин) и средним диаметром гранулометрических отдельностей d_{cp} (мм) при пористости 42% [99]:

d_{cp}	0,001	0,002- 0,005	0,005- 0,01	0,01- 0,05	0,05- 0,1	0,1- 0,25	0,25- 0,5	0,5- 1,0
K_ϕ	0,000006	0,0012	0,02	0,4	1,6	15	30	150

Аналитически эта связь описывается простым выражением

$$K_\phi = 284d_{cp}^{1,94} \approx 300d_{cp}^2, \quad (2.6)$$

т. е. означает, что K_ϕ пропорционален площади поперечного сечения пор. Это согласуется с известной формулой Пуазейля. При других значениях пористости меняется главным образом величина коэффициентов размерности и пропорциональности.

С увеличением пористости фильтрация возрастает, но медленнее, чем при переходе от одной градации диаметра частиц к другой. Аналогичные данные имеются и в других источниках [151, 284]. Таким образом, дело не только (и не столько) в общей пористости, а в размере пор. При плотной упаковке частиц приведенных выше размеров диаметр пор между ними меньше диаметра частиц (меньше 1 мм). Это капиллярные поры, поскольку заметный капиллярный подъем не обнаруживается при диаметре пустот более 2-3 мм (определено нами в эксперименте с расположенными под углом стеклянными пластинами, опущенными в воду). Таким образом, рассматриваемые величины K_ϕ позволяют сделать чрезвычайно важное заключение, что в водопрономном агрегированном субстрате водопроницаемость в существенной степени определяется межагрегатными капиллярными пустотами (в данном случае гранулометрические отдельности, не имеющие внутренней пористости, являются моделью идеально водопроных почвенных агрегатов). Эти данные однозначно свидетельствуют о том, что именно капиллярные каналы между частицами диаметром 0,25-1 мм (и даже 0,1-1 мм) обеспечивают «провальную» водопроницаемость, заведомо превышающую практически любые реально наблюдаемые интенсивности дождевых осадков (см. раздел 2.1.1). Некапиллярные пустоты повышают водопроницаемость до 300-700 мм/мин и более. Если учесть, что размеры значительной ча-

сти водопрочных агрегатов верхних горизонтов хорошо оструктурированных почв находятся в пределах от 0,25-0,5 до 1-2 мм [46, 207, 214 и др.], то высокая водопроницаемость таких почв в достаточной степени может быть объяснена размером только капиллярных пустот. Это тем более справедливо для бесструктурных почв тяжелого мехсостава, предельно низкая водопроницаемость которых обусловлена малым диаметром капилляров (при диаметре капилляров 0,1 мкм свойства воды приближаются к свойствам твердого тела и продвижение в них влаги прекращается [99]). Уменьшение проводимости капилляров вследствие заполнения их водой или льдом при ее замерзании будет рассмотрено далее. Заметим лишь, что замерзание воды мало меняет качественную картину, если не учитывать теплофизические процессы. Меняются количественные характеристики – лед уменьшает просвет капилляров или закупоривает их.

Рассмотренные факторы в их совокупности свидетельствуют о решающей роли капиллярной порозности в инфильтрации воды, о высоком потенциальном уровне впитывающей способности преобладающего большинства типов почв при обычной их агрегированности, о большом значении водопрочности почвенных агрегатов. Иными словами, почвы как будто должны поглощать влагу дождевых осадков нацело, без остатка, а формирование стока на них должно быть явлением исключительным при дождях очень высокой интенсивности с большим слоем осадков. Между тем формирование стока – явление рядовое и отнюдь не результат экстремальных дождей, о чем свидетельствуют литературные данные и наши эксперименты [74; см. также рис. 2.3].

Обычно отмечаемые несоответствия между потенциально высокой и фактически проявляющейся водопроницаемостью почвы при дождях объясняют слабой водопрочностью структуры почв на пашне и различиями между максимальной и реальной водопроницаемостью почв. По поводу первой причины следует заметить, что разрыв между потенциальной и реальной водопроницаемостью обнаруживается не только на пашне с неводопрочной или слабоводопрочной структурой, но и на угодьях, имеющих водопрочную структуру, а также при наличии мульчи, хорошо развитой дернины или лесной подстилки. Обычное объяснение второй причины сводится к следующему. При дождевых осадках крупные капли не успевают поглотиться почвой и начинают формироваться локальный микросток с бортов емкостей микрорельефа. Это приводит к формированию лужиц в днищах емкостей. Хотя в лу-

жицах впитывание происходит с той же (максимальной) скоростью, что и при сплошном затоплении поверхности почвы, они покрывают лишь часть поверхности, а потому в целом реальная водопроницаемость меньше, чем максимальная [42, 281, 305]. Чем больше интенсивность дождя, тем больше заполняется микрорельеф, тем выше реальная водопроницаемость и тем ближе она к максимальной [42, 305]. Таким образом, объясняется наблюдаемое увеличение интенсивности инфильтрации при возрастании интенсивности дождя и стабилизация интенсивности инфильтрации на все более высоком уровне (см. рис. 2.3).

Однако некоторые явления противоречат этой схеме процесса. Во-первых, переполнение емкостей микрорельефа и сток из них начинаются задолго до того, как в днищах емкостей потенциальная водопроницаемость исчерпается. Во-вторых, на почвах с повышенной потенциальной водопроницаемостью он должен начинаться заметно позже, чем при пониженной. Между тем, как уже отмечалось, в наших экспериментах с дождеванием слой бессточных осадков был практически одинаков, несмотря на значительные различия в максимальной водопроницаемости на разных угодьях. Наконец, в специально поставленном нами эксперименте при подаче воды в сосуд с сетчатым дном (размер ячеек сетки 1×1 мм) она просачивалась со скоростью около 6000 мм/мин (!), образуя на сетке слой высотой около 0,5-1 см. Подача же существенно меньшего расхода (порядка 10 мм/мин) на ту же сетку перевернутого сосуда с наклонным дном приводила к немедленному формированию на ее поверхности стока. Если в первом варианте опыт имитировал потенциальную водопроницаемость почвы при сплошном затоплении ее водою, то во втором – поступление осадков в естественном режиме. Отметим важную деталь: после эксперимента практически все ячейки сетки были заполнены пленками воды с ясно выраженными менисками. Этот пленочный экран – СМП – значительно сопротивляется механическому разрушению даже при очень сильном встряхивании сита. Таким образом, даже при огромных (тысячи мм/мин и более) величинах потенциальной водопроницаемости возможно формирование стока при несопоставимо малых (единицы мм/мин и менее) интенсивностях поступления осадков. Иными словами, характеристики максимальной водопроницаемости почв не позволяют однозначно судить о реальной их водопроницаемости, что свидетельствует о существенно иной физической природе этих процессов.

Изложенные факты нуждаются в объяснении, а значит, в обстоятельном рассмотрении процессов взаимодействия осадков с почвой и

возникающих при этом явлений. Ниже излагается наша версия этих процессов.

Будем рассматривать почву как некий субстрат из агрегатов с мелкими внутриагрегатными капиллярными каналами и межагрегатными несколько более крупными, но также преимущественно капиллярными промежутками между гранями агрегатов с редкими некапиллярными каналами. Положим также, что от поверхности вглубь размеры межагрегатных промежутков и в целом порозность уменьшаются. Такая модель субстрата в общем характерна для реальных почв разных типов.

Поверхность субстрата всегда имеет более или менее выраженный микрорельеф (совокупность возвышений и понижений), обычно обусловленный деятельностью фауны. Почва в обработке часто имеет резко выраженную глыбистость и, как следствие, очень крупные некапиллярные пустоты и скважины в пахотном слое. (особенно часто это имеет место при плужной обработке почв в засушливых условиях юга и юго-востока РФ и Сев. Евразии.) Это затрудняет определение самого понятия «поверхность почвы» (см. также [65] со ссылкой на А. Ф. Чудновского) и выявление ее важных гидрологических характеристик. Так, отдельно взятая глыба представляет собою сильно сцементированный монолит, труднопроницаемый не только для воды, но даже и для воздуха. В целом же пахотный слой может иметь очень высокую скважность [214], в т. ч. за счет межглыбовых пустот (фиктивное уменьшение объемной массы).

Во всех этих случаях поверхность субстрата может быть лишена растительности (грунт и порода; оголенная, в том числе при обработке, почва) или иметь растительный надземный (травостой, кроны деревьев и кустарников) и наземный покров той или иной степени сомкнутости, живой или мертвый (лесная подстилка, степной войлок, искусственная мульча и т. п.).

Положим также, что влага на поверхность субстрата поступает двумя принципиально разными способами: 1) более или менее расщеплено непосредственно из дождевых осадков в дискретно-капельном виде и практически сплошной пеленой при таянии снега или 2) в виде сосредоточенных водных масс при подтоке со стороны: ручьевого (талый и дождевой) сток, орошение напуском по бороздам и полосами или в естественных и искусственных водоемах (озера, реки, пруды, водохранилища и т. п.). При этом важно подчеркнуть, что расщепленное поступление влаги обеспечивает безнапорную (до не-

которого момента), а сосредоточенное – напорную инфильтрацию. Безнапорной инфильтрацией условимся считать инфильтрацию, определяемую лишь силами капиллярного всасывания и гравитационного стекания влаги по граням агрегатов (без полного смыкания влаги в межагрегатных промежутках). Безнапорная стадия инфильтрации в последующем может перейти в напорную, однако для рассмотрения этого перехода требуется выполнить анализ взаимодействия осадков с субстратом. Кроме того, учтем, что продолжительность взаимодействия влаги дождевых осадков – минуты и первые часы – несоизмеримо мала в сравнении с продолжительностью просачивания влаги в искусственных и естественных водоемах, измеряемой часто многими сутками, месяцами и даже годами. За длительное время процесс инфильтрации стабилизируется на стадии фильтрации.

Размеры капель и инфильтрация. Наиболее общим недостатком современных теорий инфильтрации является оценка роли главным образом почвенных условий и недооценка факторов, так или иначе определяемых характером осадков, т.е. особенностями их взаимодействия не только непосредственно с субстратом, но и «на дальних подступах» к нему – с растительностью и продуктами ее распада в приземном слое. Такой подход принципиально следует из того очевидного обстоятельства, что процесс инфильтрации определяется именно взаимодействием осадков и субстрата. Однако в математических моделях инфильтрации продолжают преобладать лишь почвенные параметры, характеристики же осадков отсутствуют вовсе или присутствуют скрытно и обычно в качественной форме. Такое положение побуждает к более обстоятельному рассмотрению сути взаимодействия осадков с подстилающей поверхностью.

Рассмотрим процесс выпадения капли на субстрат и взаимодействия с ним. При обычном рыхлом агрегированном сложении почвы первая же капля может попасть непосредственно на поверхность агрегата самого верхнего почвенного слоя или в промежуток между агрегатами. Это определяется соотношением размеров капель, агрегатов и межагрегатных промежутков. Рассмотрим вначале случай, когда капля попадает на поверхность агрегата верхнего слоя почвы (см. рис. 2.4). По данным табл. 2.2, падающая капля морозящего дождя имеет диаметр 0,1-0,2 мм и скорость падения порядка 0,3-0,7 м/с (18000-42000 мм/мин) при ливнях соответственно 2-3 мм и 6,5-8,1 м/с (390000-486000 мм/мин). Таким образом скорость падения капли по-

вышает интенсивность локального (в месте падения капли) поступления осадков в тысячи, десятки и даже сотни тысяч раз (!) в сравнении с отнесенной ко всей поверхности субстрата интенсивностью осадков (обычно целые и доли мм/мин).

Встречаясь с пористым агрегатом почвы, капля начинает впитываться со скоростью, определяемой отчасти сорбцией и в основном интенсивностью внутриагрегатного капиллярного всасывания. Его величина, согласно экспериментальным данным, в первые минуты составляет около 10-30 мм/мин [269, 273, 304, 349 и др.], т.е. во много раз меньше скорости встречи капли с агрегатом. (Поскольку экспериментальных способов определения начальной скорости процесса не существует, поэтому указанные величины являются ориентировочными.) При этом обычно наблюдается эффект разбрызгивания, затем растекание капли по поверхности агрегата и ее передвижение по наклонным его граням в процессе капиллярного всасывания. Даже при нулевой вертикальной скорости на впитывание капли диаметром 0,1-0,2 мм при скорости всасывания уйдет 0,01-0,02 мин (0,6-1,2 с), а диаметром 2-3 мм 0,2-0,3 мин (12-18 с). Если наклон грани агрегата большой, а скорость горизонтального перемещения капли всего 1 мм/с, то крупная капля в процессе впитывания ее агрегатом может пройти расстояние, сопоставимое с его обычным в верхнем горизонте почвы (1-2 мм) размером. Таким образом, при рассмотрении начала процесса уже на уровне агрегата обнаруживаются два важных момента: 1) разная степень капиллярного насыщения агрегата влагою и 2) формирование микростока по поверхности агрегата задолго до его полного насыщения водою.

Крупные капли, кроме того, при падении могут сильно разрушать (распылять) субстрат, уменьшая межагрегатные просветы, а также разбиваясь при этом на более мелкие и теряя кинетическую энергию.

Падение следующей капли происходит уже на увлажненную поверхность самого верхнего слоя агрегатов; ее всасывание капиллярными силами идет с меньшей интенсивностью (за счет уже впитавшейся влаги), что приводит к нарастанию интенсивности микростока. При диаметре агрегата 1 мм, интенсивности осадков 1 мм/мин, исходной влажности 12,5% и НВ = 25% полное капиллярное насыщение агрегата произойдет примерно через 1/4 мин после начала дождя и в последующем перемещение влаги по этому агрегату будет происходить исключительно в виде микростока. Поскольку размеры пор между агрегатами больше, чем внутри агрегатов, то явление капиллярного гистерезиса [273]

будет затруднять (исключать) гидростатический отток влаги из агрегата в межагрегатное пространство. Таким образом, после капиллярного насыщения агрегатов водой инфильтрация определяется практически полностью межагрегатным микростоком (определенную роль, конечно, играет и капиллярное перераспределение влаги между агрегатами в местах их соприкосновения). На важную роль «обходных потоков» между «более плотными блоками грунта» указывает М. Дж. Керкби [154, с. 58].

Обращает на себя внимание поразительная идентичность (с точностью до величины параметров) уравнения (2.2) Костякова, описывающего скорость инфильтрации, с уравнением для скорости капиллярного всасывания влаги [273, 304]. Это означает, что именно капиллярные процессы в значительной степени определяют безнапорную инфильтрацию.

Описанные особенности впитывания осадков при каплях разного диаметра объясняют, в частности, влияние растительного покрова на инфильтрацию. В целом распыление капель надземными частями растений (пологом насаждений, листьями травы), наземным войлоком и подстилкой благоприятствуют инфильтрации. Падающие с листьев крупные капли, образующиеся за счет микростока [156], редки и, кроме того, снова улавливаются подстилкой. Сток по травянистому стеблестую поступает на почву рассеянно, а по стволам деревьев хотя и концентрированно, но локально, лишь в приствольную часть.

Таким образом, в целом надземный, наземный покров и дернина, а также разного рода мульча благоприятствуют водопоглощению и в естественных ландшафтах формирование дождевого стока должно происходить только при интенсивных продолжительных ливнях. При этом важен перехват и задержание части осадков растениями (см. выше), что уменьшает массу осадков, участвующих в инфильтрации.

Отмеченные обстоятельства позволяют сделать важное методическое заключение: для оценки инфильтрационной способности почвы, защищенной любого рода мульчпокровом, размеры капель в дождевальном устройстве имеют подчиненное значение (для обнаженной поверхности – наоборот). Поэтому надежные оценки инфильтрационной способности угодий с защитным напочвенным покровом могут быть получены почти независимо от конструкции каплеобразователей. Отсюда также следует очевидная возможность давать оценку водопроницаемости почвы в лесу, помещая установку под пологом древостоя, а не над ним, что технически весьма сложно.

Для полноты картины следует отметить и факты относительного снижения водопроницаемости поверхности, покрытой подстилкой (табл. 2.3). На такую возможность указывал П.А. Костычев, выявивший слипание, склеивание листьев в лесу, особенно под тяжестью снега при весеннем снеготаянии [177]. В. Maran и О. Lhota отмечали увеличение стока из букового леса при образовании толстого слоя листьев на почве [253]. Дж. Китредж низкую водопроницаемость почвы при наличии подстилки в хвойных насаждениях объяснял скатыванием капель вдоль игл хвои [253]. Сухие пятна под подстилкой находил при дождевании С. А. Коль [166]. Нами в хвойном насаждении ур. Колодезного (слой подстилки 3 см, запас 20 т/га) обнаружены пятна сухой почвы после дождя слоем 92,5 мм при $i_d = 0,59$ мм/мин и слое стока 13,8 мм. При повторном дождевании этой же площадки через неделю с интенсивностью $i_d = 0,61$ мм/мин и слое дождя 92 мм слой стока составил 0,25 мм. Н. Nesmer и А. Feldmann также обнаруживали сток из хвойного леса при сухой подстилке и отсутствие его при увлажненной [253]. На наш взгляд, это объясняется гидрофобностью подстилки, обусловленной сильным переплетением ее гифами грибов; после смачивания водопроницаемость подстилки возрастает. Кроме того, введение подлеска из лиственных пород под полог хвойных насаждений должно способствовать формированию более рыхлой и водопроницаемой подстилки. Уничтожение подстилки пожарами и при выпасе скота пагубно сказывается на водопроницаемости почвы.

Таблица 2.3

Влияние лесной подстилки хвойного насаждения (состав 5Е5С) на водопроницаемость $i_{\text{в}}^{\text{у}}$ почвы при дождевании в установившемся режиме (1966 г., ОПХ Новосильской ЗАГЛОС, ур. Колодезное)

Вариант опыта	i_d , мм/мин	Слой, мм		$I_{\text{в}}^{\text{у}}$, мм/мин	$I_{\text{в}}^{\text{у}}(2)$
		дождя до начала стока	инфильтрации всего		$I_{\text{в}}^{\text{у}}(1)$
С подстилкой, (1)	0,81	3,6	16,0	0,22	1,0
Без подстилки (2)	0,74	3,3	21,4	0,35	1,6
С подстилкой, (1)	2,06	1,4	16,2	0,38	1,0
Без подстилки (2)	2,11	4,4	26,1	0,62	1,6

Водообразование и микрорельеф как фактор реальной водопроницаемости почвы. Особо следует остановиться на роли микро-

рельефа поверхности и приповерхностного слоя почвы, которая часто недооценивается или трактуется неверно. Между тем роль микрорельефа как фактора инфильтрации велика.

Широко бытует упрощенное представление о микрорельефе как пассивном факторе чисто физической аккумуляции (задержания) некоего избытка воды, поступающей на почву как бы со стороны, в «перехвате» проходящего извне поверхностного стока. Однако роль микрорельефа во влиянии на процессы инфильтрации принципиально иная. Рассмотрим суть дела.

Проникнув сквозь надземный и наземный растительный покров, потеряв значительную часть кинетической энергии и расплывшись на более мелкие капли (см. выше), дождевые осадки более или менее равномерно поступают наконец на поверхность почвы. После насыщения пор (и частично еще до того, если скорость продвижения влаги по капиллярам меньше скорости поступления осадков) на поверхности агрегатов формируется некоторый очень тонкий (доли миллиметра) слой воды. Это, по сути, начальный этап скрытого, внутрпочвенного водообразования. Перемещение воды, хотя и в тонком слое, происходит уже за счет гравитационного микростока. Вода этого микростока, стекая по поверхности агрегатов, переходит на нижележащие агрегаты, и процесс повторяется для каждого нового (нижнего) слоя не смоченных и не насыщенных влагой агрегатов. Во времени слой почвы с микростоком увеличивается. Часть его при этом проходит и по стенкам крупных некапиллярных пустот, оставляя свободный просвет. По мере продвижения процесса вглубь с уменьшением просвета некапиллярных пустот, попадая в «слепые» каналы, влага начинает скапливаться (аккумулироваться) в этих пустотах. Это явление следует выделить особо как **внутрпочвенную аккумуляцию** свободной (напорной, гравитационной) влаги. Это очень важный момент. Внутрпочвенная аккумуляция свободной влаги запускает механизм так называемого внутрпочвенного стока – «бокового» передвижения влаги при относительной разнице впитывающей способности соседних слоев почвы. Этот сток тем более интенсивнее, чем больше эта разница, чем менее водопроницаем нижележащий и более водопроницаем вышележащий слой. Начало внутрпочвенной аккумуляции, по сути, означает именно ту пороговую величину инфильтрации, которая сравнивается с интенсивностью дождя ($i_e = i_d$), но внешне еще не обнаруживается. Явным это становится лишь после начала поверхностного водообразования и появления поверхност-

ного стока. Однако правильная трактовка и предвидение позволяют глубже уяснить генезис процесса и выделение области внутрипочвенного стока, который начинает формироваться ранее момента t_c (рис. 2.5Б). Общее передвижение фронта влаги вниз, начиная с этого момента, не прекращается, но существенно важно, что процесс внутрипочвенной аккумуляции («внутрипочвенного водообразования»), раз начавшись, прогрессирует, заполняя локально сначала наиболее мелкие, затем все более крупные пустоты. Таким образом в почве в стороны и из почвы снизу вверх навстречу продвигающемуся потоку инфильтрации в обратном направлении к поверхности почвы растет колонна (пучок) заполненных свободной водою межагрегатных пустот. И как только она достигнет поверхности почвы, начинается изливание воды в емкости поверхностного микрорельефа и их заполнение, т. е. **поверхностное водообразование** (напорное «лужеобразование»). А. О. Гаврилица и В. В. Папук даже предлагают отделять стадию «блеска воды» на по-

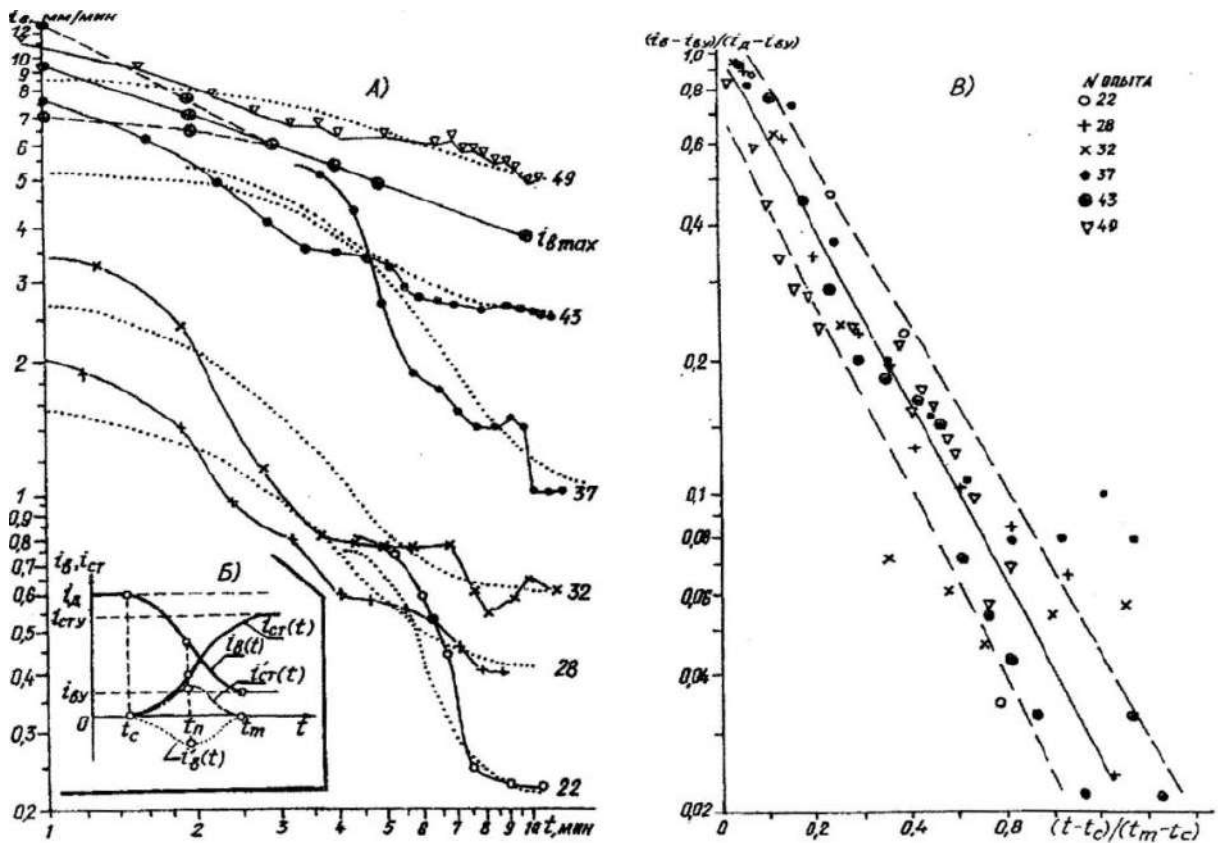


Рис. 2.5. Логарифмическая (А) и линеаризованная (В) (по выражению (2.9а) – см. далее) анаморфозы функции $i_g(t)$, по данным рис. 2.3Б, и ее графическая формализация (Б)

верхности почвы от стадии образования «устойчивых» луж как признак перехода от безнапорного к напорному режиму инфильтрации [71]. Если при этом даже самые мельчайшие емкости микрорельефа не переполняются или имеет место только незначительный местный перелив из малых емкостей в большие, то поверхностный сток по всей длине склона не формируется. Поскольку формирование поверхностного стока имеет громадные гидрологические и эрозионные последствия, очень важно определить те факторы, которые обуславливают его отсутствие.

Из изложенного следует, что генетически первым фактором водообразования и стока является водопроницаемость почвы, определяемая капиллярной внутри- и межагрегатной влагопроводностью (и отчасти некапиллярной). Аккумуляция воды («внутренняя» и поверхностная емкостями микрорельефа) не только вторична, но по своей сути есть явление, свидетельствующее об исчерпании (насыщении) механизма влагопроводности по порам и о подчиненной роли микрорельефа. Конечно, аккумуляция влаги есть фактор, ограничивающий сток, но ее роль определяется соотношением того слоя влаги, который, во-первых, может быть пропущен влагопроводящими каналами и лишь, во-вторых, будет аккумулярован в почве и на ее поверхности.

Поскольку размеры межагрегатных пустот (в т.ч. крупных некапиллярных каналов) варьируют случайным образом, то и внутреннее, и поверхностное водообразование внешне проявляется хаотически, беспорядочно. Это означает наличие в почве перемежающихся зон с разной степенью насыщенности влагой и определяет напорно-безнапорный режим впитывания на поверхности почвы. Однако совершенно закономерно, что сначала идет заполнение мельчайших и мелких пустот (до состояния ПВ) и емкостей микрорельефа, а затем уже средних и крупных. Наиболее крупные пустоты и неровности микрорельефа могут сохранять свободный просвет и неисчерпанную емкость, т.е. почва до состояния ПВ насыщается лишь локально. На этот процесс накладывается переполнение мелких емкостей и перелив части воды в более крупные, которые, в свою очередь, сбрасывают воду в еще более крупные и т. д. При этом заполняются внутрипочвенные пустоты под крупными емкостями микрорельефа. Так благодаря инфильтрации поступление осадков на почву трансформируется сначала во внутреннее, затем поверхностное водообразование и, наконец, в поверхностный сток.

Хотя заполнение каналов в почве происходит, с одной стороны, вследствие снижения ее влагопроводности из-за уменьшения внут-

ренней емкости пустот к низу почвенного профиля, аккумулируемая влага как сплошная среда, с другой стороны, передает гидростатический напор, обеспечивает и усиливает гравитационный ее поток в почву. Таким образом, внутрипочвенные емкости и напочвенный микрорельеф являются фактором усиления инфильтрации. Важно понимание функционирования почвенных пор и микрорельефа как взаимосвязанных (по принципу обратной связи) факторов водопроницаемости. Лишь взятые порознь, вне взаимосвязи, поры можно представить как активные проводники влаги, а емкость микрорельефа как некий инертный сосуд с заданным объемом, просто вмещающий некоторое количество воды. В действительности это взаимодействующая система: заполнение почвенных пор обуславливает вступление в работу емкостей микрорельефа, а их заполнение усиливает влагопроводность пор. Это определяет важную сторону описываемого процесса, а именно его связь с интенсивностью и слоем осадков. При некоторой минимальной (первой критической) интенсивности ($i_o \leq i_c$) влага осадков будет поглощаться почвой нацело без ее аккумуляции на поверхности и образования стока. По достижении надкритической (второй критической) интенсивности ($i_o > i_c$) начинается поверхностное водообразование и формируется сток (с момента t_c – см. рис. 2.5Б). Рассмотрим более детально этот важный процесс. Он начинается в условиях, когда емкости внутренних пустот и микрорельефа не исчерпаны полностью. Это значит, что сток в начальный момент является существенно неустойчивым: от его появления (t_c) и до некоторого момента t_n приращение его интенсивности возрастает, а на интервале $t_n \dots t_m$ падает. В силу этого интегральная кривая интенсивности принимает своеобразную сигмоидную форму (см. также рис. 2.3). Кривая скорости инфильтрации является как бы зеркальным отражением кривой интенсивности стока (см. рис. 2.3 и 2.5А, Б). Такого рода кривые характерны для физических процессов, управляемых двумя противоположными тенденциями. В данном случае это означает, что приращение интенсивности стока обуславливается уменьшением инфильтрации и включением в силу этого в работу по сбросу воды сначала небольшого числа самых малых переполняющихся емкостей микрорельефа (момент t_c и его ближайшая область), затем более крупных и наиболее многочисленных средних (в области t_n) и, наконец, наиболее крупных, но малочисленных (в области $t_n \dots t_m$). (На ход интенсивности стока, кроме того, влияет и время добегания воды от

разных частей склона к створу.) Такой характер переполнения емкостей и включения их в работу на сброс воды соответствует нормальному (Гаусса) случайному распределению объемов емкости микрорельефа. По этим причинам сброс воды сначала интенсивно прирастает ($t_c...t_n$), затем прирост достигает максимума (t_n) и падает ($t_n...t_m$). Его стабилизация означает, что между интенсивностью поступления осадков и скоростью их просачивания устанавливается динамическое равновесие. Оно определяется соотношением интенсивности дождя, степенью заполнения пор и емкости микрорельефа. И когда от самой крупной емкости сбрасываемый избыток воды достигнет учетного створа, произойдет стабилизация интенсивности стока и инфильтрации, т. е. $i_{\text{вы}} = i_{\text{д}} - i_{\text{см}} = \text{const}$. Эта стабилизация не абсолютна и свидетельствует лишь об относительном (квазистабильном) равновесии.

Обращает на себя внимание заметное постоянство временного интервала $0...t_m$, на котором происходит стабилизация интенсивности инфильтрации и стока (около 10 мин, см. рис. 2.3 и далее – табл. 2.6). Если это не случайность, то явление нуждается в объяснении. Природа его не ясна. Можно лишь предположить, что дождь более высокой интенсивности создает равновесную ситуацию на большей глубине от поверхности почвы (при большей интенсивности за одно и то же время выпадает и просачивается большее количество воды на соответственно большую глубину), где просвет влагопроводящих пор уже и стабилизация происходит при большей площади затопления поверхности, большем гидростатическом напоре и соответственно большей водопроницаемости. Существенно больший гидростатический напор в режиме $i_{\text{вmax}}(t)$ обуславливает и значительно более позднюю (часы и сутки) ее стабилизацию на уровне $K_{\text{ф}}$. Очевидно: явление нуждается в дополнительном изучении, как, впрочем, и весь механизм внутрипочвенного перемещения влаги от начала дождя и до напочвенного водообразования. Никаких экспериментальных данных по этому вопросу в литературе не обнаружено.

При возрастании интенсивности осадков равновесие сначала нарушается, но после заполнения нового объема пор и емкости микрорельефа, вследствие возросших в связи с этим гидростатического напора и площади лужиц, водопроницаемость возрастает и снова стабилизируется на новом уровне (см. рис. 2.3). (Такая модель процесса аналогична работе воронки: увеличение поступления воды в воронку одновременно увеличивает уровень воды в ней и расход через ее ка-

нал. Еще более близким аналогом является воронка из пористого материала и заполненная частицами пористого вещества.) Таким образом, интенсивность дождя выступает как фактор изменения водопроницаемости (и, очевидно, стока): при увеличении интенсивности дождя инфильтрация возрастает. Это явление отмечалось многими исследователями. Г. П. Сурмачу принадлежит его объяснение, связывающее «реальную» инфильтрационную способность почвы при дождевых осадках с площадью затопления поверхности за счет заполнения емкостей микрорельефа.

При этом может произойти полное затопление всей поверхности почвы водой и инфильтрация перейдет в режим напорной (максимальной), а затем фильтрации.

Такова в общих чертах качественная сторона процесса инфильтрации в режиме естественного поступления осадков. Резюмируем его основные особенности.

1. Поступление естественных осадков на поверхность почвы происходит капельно-дискретно и (или) рассредоточено – сплошным слоем в безнапорном режиме.

2. Сочетание внутри- и межагрегатной скважности обуславливает два процесса: а) капиллярное поглощение влаги агрегатами б) микросток по межагрегатным, обычно капиллярным и частично некапиллярным, просветам. Перемещение воды в почве происходит под действием главным образом капиллярных сил и гравитационного (безнапорного и напорного) тока.

3. Имеет место хаотично перемежающаяся (мозаичная) степень заполнения пустот и насыщения влагой почвы при движении фронта промачивания вглубь. Часть крупных капилляров и некапиллярных пустот и каналов может сохранять свободный просвет в течение всего периода поступления осадков, т.е. режим просачивания влаги в почву не является насыщенным и влажность промоченной почвы находится в пределах от НВ (и ниже) до ПВ.

4. Внутрипочвенная аккумуляция гравитационной влаги происходит снизу вверх к поверхности почвы навстречу продвижению колонны промачивания.

5. Поверхностное мозаичное водообразование («лужистость») и формирование поверхностного стока возможно лишь при мозаичном заполнении внутрипочвенных пустот и емкостей микрорельефа. Инфильтрация с поверхности происходит в напорно-безнапорном режи-

ме до тех пор, пока соотношение интенсивности дождя и водопроницаемости почвы не обеспечит ее сплошное затопление водой и переход в режим напорной инфильтрации.

6. Имеется зависимость скорости инфильтрации от режима поступления осадков: возрастание инфильтрации с увеличением интенсивности осадков. Квазистабильный (динамически равновесный) режим впитывания определяется сочетанием интенсивности осадков, влагопроводности почвы и емкости микрорельефа.

7. Емкость микрорельефа играет служебную роль, влияя на интенсивность инфильтрации и усиливая ее как за счет увеличения гидростатического напора, так и за счет увеличения площади затопления поверхности почвы водой.

В рамках изложенной модели процесса объясняются многие известные факты и явления: отсутствие стока или его позднее появление при мелкокапельных осадках, гидрологическая роль мульчпокрова, водопрочности структуры и др., – обозначаются пути управления процессом, возможно предсказание неочевидных эффектов. Остановимся особо на роли уклона и микрорельефа – факторов регулирования инфильтрации и стока в их сочетании.

Уклон и микрорельеф. Очевидно, что внутреннее и поверхностное водообразование определяется соотношением интенсивности осадков и инфильтрации, следовательно, разность $i_{cm} = i_o - i_e$ не зависит от уклона. Уклон сказывается лишь в уменьшении емкостей микрорельефа за счет их отклонения от горизонтального положения. Поэтому на склонах крутизной до 3° , т. е. на основной части приводораздельных и присетевых склонов, разность объемов горизонтальных и наклонных емкостей невелика. Бессточная емкость микрорельефа часто составляет всего несколько миллиметров слоя воды. В крупных емкостях может задержаться значительное (десятки миллиметров) количество воды, но такие емкости встречаются относительно редко и поэтому их роль незначительна. Кроме того, в процессе стекания воды перемычки между емкостями размываются и остаточная емкость дополнительно уменьшается. Поэтому роль микрорельефа относительно возрастает при малых интенсивностях и слоях осадков, высоких водопроницаемости и противоэрозионной устойчивости почвы. Этим же объясняется, почему обычный микрорельеф поверхности склонов неэффективен в регулировании подтекающей со стороны воды. По самой сути процесса инфильтрации емкость микрорельефа

«вступает в работу» только после того, как интенсивность инфильтрации становится меньше интенсивности поступления осадков. В силу этого емкости микрорельефа заполняются «снизу» избытком влаги, поступающей «из почвы», а не «сбоку» притекающей со склона водою. Емкости могут лишь временно аккумулировать то, что не поглотилось почвой при выпадении осадков. К моменту, когда начинается приток воды с вышележащих склонов, микрорельеф уже заполнен «до краев» избытком непросочившейся влаги и не может задержать на нижележащих (обычно более крутых) отрезках склонов с уменьшенной за счет наклона емкостью то, что сбрасывается с вышележащих. Речь не идет, конечно, о специальных водозадерживающих, особенно гидротехнических, устройствах, рассчитанных преимущественно на физическое задержание именно приточной воды.

Мнения, аргументы и данные о слабом влиянии уклона на слой стока изложены в работах М. И. Львовича [204], Г. П. Сурмача [310], Н. И. Коронкевича [175] и других [62, 190, 191, 300]. Имеются даже данные об уменьшении слоя стока с возрастанием уклона [92]. Противоречивость мнений и результатов обусловлена погрешностями экспериментов и недоучетом взаимосвязи факторов, на что справедливо указывает Н. И. Коронкевич [175]. Мы разделяем его мнение, что экспериментальные оценки роли уклона наиболее надежны лишь при моделировании в лабораторных условиях.

Выполненный нами анализ явления [75] привел к соотношению

$$h_{\text{ст}} = (i_{\text{ос}} - i_{\text{в}})t - \frac{1}{2} i_{\text{в}} \cdot \frac{L}{v}$$

где $i_{\text{ос}}$ – интенсивность осадков; $h_{\text{ст}}$ – слой поверхностного стока; L – длина склона; v – скорость стекания воды.

Используя формулу П. А. Дудкина [110]

$$v = 11,75Q^{0,4}I^{0,5},$$

где Q – расход воды с 1 пог. м ширины склона, м³/с; $I = \text{tg}\alpha$ – уклон (α – крутизна склона, град), для склона длиной 500 м и шириной 1 м при слое осадков 120 мм получаем приведенные в табл. 2.4 оценки влияния крутизны склона на слой и коэффициент K_c стока за счет поглощения воды на стадии добегаания.

Анализ данных табл. 2.4 показывает, что резкое увеличение скорости стекания воды происходит в диапазоне крутизны 0-2°, при большей крутизне скорость нарастает медленнее. Весной слабое уменьшение слоя стока обнаруживается лишь в диапазоне 0-0,5°, на более крутых склонах зависимости слоя стока от крутизны склона

практически нет. В летний период ощутимое уменьшение слоя стока (на 5% и более) проявляется при крутизне склона менее 1° и особенно заметное на склонах крутизной менее $0,25^\circ$.

Таблица 2.4

Зависимость V , см/с, $h_{ст}$, мм, и K_c дождевых и талых вод от крутизны склона α с густым травянистым покровом

α	Дождевые воды (талая вода)			Талые воды (мерзлая почва)		
	V	$h_{ст}$	K_c	V	$h_{ст}$	K_c
0	0	0	0	0	0	0
0,1	5,4	41,7	0,35	1,1	58,1	0,49
0,5	12,2	51,5	0,43	2,6	59,2	0,49
1,0	17,3	54,0	0,45	3,6	59,4	0,50
2,0	24,6	55,8	0,46	5,2	59,6	0,50
5,0	38,7	57,3	0,48	8,1	59,7	0,50
10,0	54,8	58,1	0,48	11,5	59,8	0,50
20,0	76,7	58,6	0,49	16,1	59,9	0,50

Экспериментальное дождевание субстратов, практически не изменяющих своих поверхностных свойств при взаимодействии с каплями дождя, выполненное под нашим руководством С. И. Шкулевым, а также почвы, выполненное А. В. Терешкиным (табл. 2.5), подтвердило теоретические расчеты. Наиболее заметные изменения K_c происходят в интервале до $0,5-1^\circ$. Максимальное влияние уклона проявляется на наиболее эрозионно-податливом субстрате – песке. Наименее водопроницаемый субстрат поролон и наиболее водопроницаемый дернина слабо влияют на изменение величины K_c при $\alpha > (1-3^\circ)$. Для слоя осадков 50 мм различия в слое стока при увеличении крутизны склона от $0,5$ до 1° и соответствующих изменениях коэффициентов стока составляют всего $0,25-7,5$ мм, а в диапазоне $1-3^\circ$ $0,45-7$ мм, т. е. примерно такие же, что и для расчетных величин табл. 2.4.

Новейшие исследования А. О. Гаврилицы и В. В. Папука [71], выполненные в естественных условиях, хотя и привели к однозначной математической зависимости уменьшения бессточной нормы дождевания при возрастании уклона, но, во-первых, при больших уклонах ($I > 0,033$) экспериментальные данные явно не укладываются в зависимость (норма бессточных осадков возрастает), а во-вторых, при I до $0,05$ слой бессточных осадков достигает $20-50$ мм. Это значит, что влияние уклона ощутимо может сказаться лишь при очень обильных и редких дождях.

Таблица 2.5

Изменение коэффициента стока K_c в зависимости от крутизны склона α , интенсивности дождевания i_d и субстрата (слой дождя 50 мм)

i_d , мм/мин	K_c при α , град					
	0,5	1,0	3,0	5,0	8,0	10,0
<i>Поролон*</i>						
0,51	0,62	0,64	0,66	0,67	-	0,69
1,07	0,79	0,80	0,81	0,82	-	0,84
2,14	0,48	0,50	0,54	0,56	-	0,58
3,25	0,60	0,62	0,64	0,72	-	0,82
5,08	0,79	0,84	0,89	0,92	-	0,96
<i>Песок</i>						
0,53	0	0	0	0	-	0
1,09	0	0	0	0,03	-	0,05
2,08	0,06	0,17	0,23	0,34	-	0,46
3,11	0,13	0,21	0,27	0,37	-	0,49
5,10	0,22	0,37	0,51	0,60	-	0,75
<i>Дернина</i>						
0,52	0	0	0	0	-	0
1,10	0	0	0	0,06	-	0,11
2,12	0,10	0,10	0,12	0,13	-	0,13
3,05	0,30	0,31	0,32	0,32	-	0,34
5,13	0,32	0,34	0,36	0,39	-	0,42
<i>Темно-каштановая почва (t = 15 мин)</i>						
2,90	-	0,90	0,90	-	0,93	-
4,70-4,80	-	0,91	0,91	-	0,94	-
6,80-7,20	-	0,89	0,92	-	0,93	-

*Нарушение закономерного возрастания K_c при увеличении i_d обусловлено каким-то неучтенным фактором (вероятно различными начальными условиями увлажнения).

Таким образом, на основе литературного, теоретического анализа и данных экспериментов можно заключить, что ощутимое влияние уклона как фактора поверхностного стока должно проявляться на исключительно равнинных территориях типа Западносибирской низменности и при наличии очень слабо наклонных обширных плакоров на возвышенностях равнин. На достаточно сильно расчлененных возвышенностях обычно такому сочетанию условий нет места и с влиянием уклона на поверхностный сток можно практически не считаться.

Важно также и понимание, что в естественных ландшафтах функционируют два главных и взаимосвязанных почвенных фактора водопоглощения: высокая инфильтрационная способность оструктуренных водопрочных почв (ведущий фактор) и временная поверхностная аккумуляция влаги в емкостях микрорельефа и напочвенном покрове. Оба эти фактора действуют и в антропогенно преобразованных ландшафтах, но их соотношение существенно меняется.

Диффузионная модель инфильтрации. Остановимся на некоторых моментах математической формализации процесса инфильтрации. Изложенные в разделе 2.2.1 литературные данные позволяют сделать вывод о степенном характере функции $i_e(t)$ при напорном режиме. Однако на малых отрезках времени от начала процесса отмечаются заметные отклонения от степенной зависимости, особенно в безнапорном и комбинированном режимах [154, 273, 381 и др.]. Это подтверждается и нашими экспериментами (см. рис. 2.3, 2.5А). Лишь осредненные значения максимальной инфильтрации $i_{e\max}$ на логарифмической клетчатке линейны, т. е. подчиняются степенной зависимости, а на кривой индивидуальных значений (штриховые линии) обнаруживается излом, что свидетельствует о правомерности применения степенной функции при ее кусочно-линейном представлении. Сложная нелинейность кривых инфильтрации при дождевании очевидна. Идеализация опытных кривых 22-49 (см. рис. 2.5А) позволяет выделить асимптоты i_d и i_{ey} , между которыми от времени начала стока t_c до окончания дождевания t_m имеется точка перегиба (рис. 2.5Б). Производная функции $i'_e(t) = di_e/dt$ имеет характерный вид, свойственный дифференциальному уравнению диффузии $\partial i_e/\partial t = -K\partial^2 i_e/\partial z^2$ (z – глубина слоя почвы), которое является одним из членов математической модели единого процесса инфильтрации-фильтрации [24, 37, 154, 381]. Как будет показано в главе 3, интеграл диффузионного уравнения хорошо аппроксимируется логистической функцией. На интервале $t_c \dots t_m$

$$i_e = (i_d - i_{ey}) / (1 + \exp(-a + bt)) + i_{ey}, \quad (2.9)$$

где a и b – параметры.

Приводя к единице интервалы переменных по осям абсцисс и ординат, т. е. полагая $i_{e\Delta} = (i_e - i_{ey}) / (i_d - i_{ey})$ и $t_\Delta = (t - t_c) / (t_m - t_c)$, получим

$$i_{e\Delta} = 1 / (1 + \exp(-a + bt_\Delta)). \quad (2.9a)$$

Эти функции легко линеаризуются, и все семейство разнообразных кривых рис. 2.5А стягивается в довольно плотный пучок линий (рис. 2.5В), с некоторым расхождением в области значений, близких к

t_m . Регрессионный анализ дает оценку параметров логфункции, приведенную в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Параметры и ошибка m_{it} функции (2.9) по результатам дождевания в ур. Колодезном

Номер опыта	Параметры		i_d	$I_{\text{св}}$	t_m	t_c	$\pm m_{it}$
	a	b	мм/мин		мин		
22	1,28	7,19	0,81	0,23	9,83	4,83	0,17
28	0,86	5,51	2,06	0,42	8,33	1,00	0,15
32	0,89	5,82	3,42	0,62	7,83	1,17	0,17
37	1,01	4,74	5,43	1,08	10,67	3,33	0,16
43	0,84	5,78	8,07	2,51	10,33	0,67	0,12
49	0,17	4,74	12,50	4,50	17,50	0,67	0,14

Точность аппроксимации при сильной вариации значений i_e в эксперименте можно признать удовлетворительной, особенно вблизи t_m . В целом имеется тенденция к уменьшению параметров a и b при возрастании интенсивности дождя и уменьшении времени появления стока t_c . Совершенствование уравнения (2.9) возможно путем установления зависимости его характеристик от начального увлажнения почвы, ее порозности, емкости микрорельефа и других водно-физических показателей, а также при учете явлений внутрпочвенной аккумуляции и стока.

Основным преимуществом использования логфункции является не только чисто формально-математическая аппроксимация ею диффузионной модели, но и то обстоятельство, что она предназначена для описания взаимодействия процессов с противоположными тенденциями. Этим определяется вид дифференциальной $i'_e = di_e/dt$ и интегральной $i_e(t)$ функций (см. рис. 2.5Б). Обычное отсутствие левой ветви функции $i_e(t)$ при сплошном затоплении поверхности почвы водю обусловлено издержками методики, не позволяющей определять начальную скорость инфильтрации в опытах. Этот недостаток можно исключить, используя разработанные автором (а. с. 896323) способ и устройство [15, 264].

Интенсивность осадков и инфильтрации. Отмечавшаяся выше связь инфильтрационной способности почвы с интенсивностью поступления осадков имеет исключительное значение для понимания ЭГП. Наиболее обстоятельно этот вопрос рассмотрен в работе

Ю. Б. Виноградова [59]. Ниже излагается суть его модели, адаптированной для водопоглощения в лесонасаждениях при подтоке – уравнения (2.10) – (2.15).

В основу подхода положена физическая модель взаимодействия осадков (в т. ч. подтока) с инфильтрующей почвой. Модель учитывает изменение (увеличение) интенсивности впитывания с изменением (увеличением) интенсивности осадков (подтока). Это явление было обнаружено и обсуждалось Ф. П. Сериком [281], М. Ф. Срибным [300], С. А. Колем [165], А. А. Роде [273], А. И. Будаговским [42], Г. П. Сурмачем [305], Н. Ф. Бефани и Н. И. Коноваловой [30], Е. В. Терентьевым [322] и др. Модель является прямым следствием представлений о соотношении реальной и максимальной водопроницаемости почвы.

Процесс протекает следующим образом. При исходной незначительной интенсивности подтока в насаждение большой ширины поступающая в виде струи вода будет поглощаться на некотором участке насаждения полностью. Интенсивность, слой водопоглощения и ширина участка насаждения, где происходит полное поглощение, определяются площадью контакта водной струи с поверхностью почвы, слоем воды (гидростатическим напором), свойствами поверхности и верхних слоев почвы. Чем больше интенсивность подтока и масса воды, тем, при прочих равных условиях, более широкое насаждение требуется для полного поглощения. При этом очевидно, что будет возрастать и водопоглощение (его интенсивность и масса). Наконец, при некотором соотношении подтока и водопоглощения длина зоны полного поглощения станет равной максимальной ширине насаждения, и при дальнейшем увеличении интенсивности подтока часть воды будет сбрасываться из насаждения на нижележащий склон. Дальнейшее увеличение интенсивности подтока обуславливает как увеличение водопоглощения, так и усиление стока из насаждения. При этом каждому уровню интенсивности подтока соответствует новый, более высокий уровень водопоглощения. Поскольку возрастание подтока сопровождается увеличением площади затопленной водой поверхности, то рано или поздно при некотором очень интенсивном подтоке вся поверхность почвы будет затоплена водой и режим водопоглощения будет соответствовать максимальной водопроницаемости почвы, дальнейшее возрастание которой целиком будет определяться гидростатическим напором водного потока в насаждении. Такова в общих чертах качественная картина процесса. Формализация его сводится к следующему.

При взаимодействии с инфильтрующей почвой осадков (капельножидких при дождях, «сплошных» при снеготаянии) и ручейковом подтоке в насаждение воды поверхностного стока для элементарного участка склона в пределах насаждения существует интегральная функция распределения относительной инфильтрующей площади в зависимости от интенсивности подтока:

$$F(p) = \int_0^p \varphi(p) dp, \quad (2.10)$$

где p – интенсивность подтока (поступления осадков); $\varphi(p)$ – дифференциальная инфильтрующая площадь, выражающая изменение ее относительной величины в зависимости от интенсивности подтока.

При очень слабом подтоке инфильтрующая площадь (затопленная водою) мала, при сильном подтоке вероятность сплошного затопления всей инфильтрующей поверхности стремится к единице, а средняя интенсивность инфильтрации (водопоглощения) – стремится к w_m . С ростом интенсивности подтока приращение инфильтрующей площади уменьшается и в пределе (при $p \rightarrow \infty$) стремится к нулю, т.е. функция $\varphi(p)$ является убывающей.

Исходя из предположения, что приращение инфильтрующей площади, соответствующее приращению интенсивности подтока, убывает пропорционально этой площади, т. е. $dF(p) = cF(p)d(p)$, можно записать:

$$\varphi(p) = k \exp(-cp). \quad (2.11)$$

Параметры этого выражения определяются из следующей системы уравнений:

$$\begin{aligned} k \int_0^\infty \exp(-cp) dp &= w_m, \\ k \int_0^\infty \exp(-cp) dp &= 1. \end{aligned} \quad (2.12)$$

Первое из этих уравнений определяет минимальную интенсивность подтока, при которой в идеальных условиях участвует вся инфильтрующая поверхность с максимально возможной интенсивностью водопоглощения w_m . Второе уравнение означает, что при неограниченном возрастании интенсивности подтока вся площадь будет инфильтрующей.

Решение системы уравнений (2.12) приводит к $c = k = 1/w_m$ и, таким образом,

$$\varphi(p) = \frac{1}{w_m} \exp(-p/w_m), \quad (2.13)$$

$$w(p) = F(p) = \frac{1}{w_m} \int_0^p \exp(-p/w_m) dp = 1 - \exp(-p/w_m), \quad (2.14)$$

Можно предположить, что средняя в насаждении интенсивность водопоглощения в зависимости от интенсивности подтока будет иметь вид

$$w = w_m w(p) = w_m [1 - \exp(-p/w_m)]. \quad (2.15)$$

Интегральное (по времени за период стока) абсолютное водопоглощение

$$W = W_m [1 - \exp(-P/W_m)], \quad (2.16)$$

а относительное

$$K_w = \frac{W}{P} = \frac{W_m}{P} [1 - \exp(-P/W_m)]. \quad (2.17)$$

Эти выражения [85] с индексами W_n , W_c , K_{Wn} , K_{Wc} , P_n , P_c , в зависимости от рассмотрения только полевого или суммарного подтока и соответствующих величин водопоглощения, и являются гипотетической «функцией водопоглощения», обобщающей фактическую информацию. (Следует лишь иметь в виду, что если величина w_m является в определенном смысле константой, как и коэффициент фильтрации, то интегральная характеристика W_m таковой не является, поскольку определяется произведением $w_m t$ и, следовательно, зависит от продолжительности подтока, как и величины P_n , P_c , W_c .) Подстановка в выражения (2.16), (2.17) величин подтока $P_n = s_n(L_n/B_n)$ и $P_c = P_n + h_n = h_n + s_n(L_n/B_n)$ позволяет рассчитывать водопоглощение в лесонасаждении как функцию слоя полевого стока (h_n – собственный слой осадков под пологом насаждения до подтока, B_n – ширина насаждения)

2.2.2. Почвенные факторы

Почвенные факторы водопроницаемости формируются в значительной, даже определяющей степени за счет воздействия с растительным покровом, точнее с биогеоценозом, включая животный мир и микроорганизмы. Идея В. В. Докучаева о генезисе почвы как растительно-наземном образовании оказала огромное влияние на объяснение химизма и физики (скорее биохимии и биофизики) почв. Однако, понять влияние минералогии и литологии материнской породы на водопроницаемость почв можно лишь с учетом их трансформации почвообразованием.

Инфильтрационная способность почвы есть следствие ее водопроницаемости – способности воспринимать и пропускать через себя воду. Поэтому логично допущение, что главное условие водопроницаемости – порозность (скважность) почвы. Поскольку порозность почвы формируется как совокупность внутри- и межагрегатных пор, то факто-

ры образования почвенной структуры одновременно являются факторами, определяющими скважность и инфильтрационную способность.

При рассмотрении связи инфильтрации с агрегатным составом почв естественных ландшафтов господствует точка зрения, что решающим фактором водопроницаемости в лесу и на целине является сочетание высокой оструктуренности, водопропрочности агрегатов и высокой некапиллярной скважности. На особое, часто определяющее влияние некапиллярной скважности на водопроницаемость почвы указывается в работах многих исследователей [113, 227, 273 и др.]. Большое внимание уделено ей в работах Г. П. Сурмача, особенно в связи с формированием стока [305, 310]. Большинство ученых главное внимание обращают на образование пустот за счет расклинивающего действия корней и их отмирания, рыхления почвы и образования нор обитающей в подстилке, степном войлоке, дернине и почве мезофауны – мелкими позвоночными, насекомыми, червями [105, 202, 234], а также рыхления почвообрабатывающими орудиями.

Важно обратить внимание на динамику параметров почвы по ее профилю, обусловленную соотношением аккумуляции-расхода органического вещества и деятельностью почвенной фауны (в основном беспозвоночных и особенно дождевых червей). В лесу и на целине в условиях обширных лесостепных и степных территорий наибольшее содержание органики, наилучшая оструктуренность, высокая водопропрочность агрегатов, их рыхлое сложение, максимальная порозность (и особенно некапиллярная) отличают верхний аккумулятивный горизонт (30-50 см) и его приповерхностный слой. Это определяет и наивысшую по профилю почвы водопроницаемость верхних слоев. С глубиной вся совокупность этих характеристик обычно ухудшается, что приводит к уменьшению инфильтрационной способности почв.

G. R. Free, G. M. Browning, G. W. Musgrave [372] определили величины коэффициентов корреляции r между инфильтрацией и характеристиками почвы: содержанием органического вещества ($r = 0,50$), некапиллярной ($r = 0,36$) и общей ($r = 0,24$) пористостью, объемной массой ($r = -0,24$), содержанием глины ($r = -0,16$), эквивалентом влажности (наименьшей влагоемкостью, $r = 0,02$). Общая пористость функционально связана с объемной массой ($r = -0,99$); с некапиллярной пористостью связь тесная ($r = 0,76-0,80$); довольно высокая связь между объемной с массой и содержанием органического вещества ($r = -0,59... -0,63$) [202, с. 366]. Данные о связи объемной массы с водопроницаемостью почвы приводятся также в работах [19, 44, 70, 97, 160, 297 и др.].

Обращают на себя внимание два обстоятельства: главенствующая роль органики и невысокие значения всех, даже самых больших коэффициентов корреляции. Это может быть истолковано или как отсутствие ведущего фактора вследствие многофакторности явления и взаимодействия факторов, или тем, что какой-то важный фактор упущен, или роль какого-то важного фактора перенесена на другой. Мы склоняемся к последнему, хотя многофакторность и взаимосвязь факторов очевидны.

Если учесть, что коэффициент детерминации $D = r^2$ количественно определяет долю участия каждого фактора, то роль наиболее мощного фактора – органики – не превышает в лучшем случае 25%, а объемной массы и общей пористости всего 6%. С одной стороны, эти несколько парадоксальные результаты свидетельствуют, возможно, об ином механизме инфильтрации, чем это следует из существующих о нем представлений. С другой стороны, они не столь уж и противоречивы, если принять во внимание, что эксперименты скорее всего выполнялись на антропогенно преобразованных почвах с существенно деградированной структурой и пониженной водопрочностью агрегатов. Ведущая, тем не менее, роль органики, следующей за ней пористости (некапиллярной и капиллярной) и объемной массы, а также довольно высокая корреляция между объемной массой и органикой означают не что иное, как косвенную характеристику важнейшего почвенного параметра – оструктуренности (агрегированности) почвы и водопрочности структуры. Однако в связи с трудностями адекватной количественной оценки этих характеристик требуется найти косвенную оценку их влияния на инфильтрацию. Что по своей сущности означает агрегированность как фактор инфильтрации? Любой агрегат в полилитологической почве есть совокупность консолидированных гранулометрических отдельностей, разделенных системой мелких и мельчайших капиллярных пор. Вся же почва есть совокупность агрегатов (разного уровня), т. е. пористых дискретных отдельностей, и соответственно системы более или менее крупных межагрегатных капиллярных (на стыках и поверхностях соприкосновения агрегатов) и некапиллярных пустот (при рыхлом сложении агрегатов, а также из-за наличия разного рода каналов). Все эти характеристики поддаются количественной оценке и в конечном итоге именно их общий объем, конфигурация и соотношение определяют способ перемещения влаги (плечной, капиллярной, гравитационной) и его интенсивность.

Заметим также, что капиллярное насыщение агрегатов (в противоположность их мгновенному обволакиванию водой), как показали

Факторы изменения условий инфильтрации воды в зоне раздела приземный слой – почва

Объект	Характеристика	Фактор (причина) изменения условий инфильтрации
Осадки	Размер капель	Мелкая капля
	Способ поступления на поверхность субстрата	Рассредоточено
Наземная биомасса растений	Листовая поверхность	Измельчение капель
	Стволы, ветви, стебли	Уменьшение скорости падения капель
Опад (подстилка, войлок)	Слой, сложение	Площадь контакта с почвой
Корни, дернина	Фауна опада	Образование некапиллярных пустот (копролиты)
	Гидравлическая шероховатость	Уменьшение скорости течения воды
	Биомасса	Рыхление почвы, обособление структурных отдельностей
		Образование перегородок и пустот при сгнивании
Поверхность почвы	Микрорельеф	Площадь затопления
	Глыбистость	Межглыбовые пустоты
	Структура	Повышение водопропускности и некапиллярной скважности
	Фауна	То же
		Улучшение
		ухудшение
		Крупная капля
		Сосредоточено
		Концентрация капель
		Концентрация стекающей воды
		Уплотнение почвы давлением
		Пожары*
		Гидрофобность
		Слеживание листьев
		Влагоёмкость
		Минерализация
		Пожары*
		Уплотнение давлением
		Слитность глыб, пылеватость*
		Разрушение каплями, запыливание (корка)*
		Уплотнение при выпасе*

*Сильное действие фактора, уменьшающего инфильтрацию.

эксперименты Г. И. Павлова и Е. Г. Петрова, П. В. Вершинина (по И. В. Реуту [269]), способствуют сохранению их водопрочности, исключая их «взрывание» заземленным воздухом.

Таким образом, главным фактором высокой водопроницаемости почв является водопрочность структуры, в значительной степени обусловленная почвенной органикой [44]. Водопрочность почв в естественных ландшафтах на 1,5-2 порядка выше, чем на пашне [45, 214]. При сочетании этих двух характеристик высокая водопроницаемость почвы обуславливается капиллярной проводимостью меж- и внутри-агрегатных пустот.

В табл. 2.7 дана качественная группировка перечисленных выше естественных факторов, влияющих на слой инфильтрации и ее интенсивность. Ради удобства здесь помещена и часть антропогенных факторов, обусловленных обработкой почвы.

Завершая обзор основных естественных факторов гидрологического процесса, подчеркнем те обстоятельства, которые отличают гидрологический режим девственных территорий до изменений, обусловленных их хозяйственным освоением. Важнейшими характеристиками основных угодий естественных ландшафтов – леса и лугово-степной целины – на обширных территориях лесной, лесостепной и степной зон умеренного пояса Сев. Евразии являются наличие сомкнутого древесного и травянистого полога, мощной лесной подстилки, степного войлока и дернины, благоприятных условий для существования и деятельности почвенной мезофауны. Сочетание этих условий обеспечивает накопление органического вещества в почве, формирование почвенной водопрочной структуры и высокую инфильтрационную способность почвы, что резко ослабляет поверхностный сток и эрозию. Девственные ландшафты являются эталоном естественных биоэкосистем, отличающихся высокой устойчивостью функционирования и обеспечивающих тем самым благоприятные условия для существования человека.

2.3. Инфильтрация воды в мерзлую почву

До сих пор рассматривалась инфильтрация влаги в талую почву. Инфильтрация воды в талую и мерзлую почву связаны между собою скорее логически, нежели физически.

В XIX в. бытовало представление о водонепроницаемости мерзлой почвы. А. А. Шалабановым в 1903 г. впервые было установлено,

что «замороженная земля, вообще говоря, способна пропускать сквозь себя воду в весьма значительном количестве» [356, с. 273]. Лишь сильно переувлажненные с осени и уплотненные с поверхности мерзлые участки (дороги) считались неводопроницаемыми. Последующие исследования Н. А. Качинского, начатые в 1921 г. [152], существенно расширили представления о водопроницаемости мерзлых почв. Абсолютная водонепроницаемость почвы им отмечена в редких случаях замерзания влаги в виде сплошных ледяных прослоек и при наличии притертой ледяной корки; в остальных случаях мерзлая почва усваивает влагу тем лучше, чем меньше ее влажность. Особое значение исследователь придавал естественной вариации влажности мерзлой почвы, ибо ««пестрополье» в замерзании способствует пятнистому размерзанию почвы весной, что, в свою очередь, тесно связано с восприятием почвой талых вод снежного покрова» [152, с. 29]. Им также подчеркивалось, что «сверху при наличии снежного покрова или ледяной корки почва никогда не размерзается при условии, что... отсутствует затечь талых вод со стороны... Если под снегом мы обнаруживали талую почву, то она была талой насквозь: это означает, что почва целиком размерзалась снизу» [152, с. 46]. Следует отметить, что исследования Н. А. Качинского выполнены в лесной зоне с обычно сильным увлажнением почвы с поверхности при довольно глубоком ее промерзании. В работах Г. П. Сурмача [305, 309 и др.], И. П. Сухарева [319], А. И. Субботина [303] и других отмечались случаи оттаивания почвы сверху на зяби под снегом, обусловленного теплом просочившейся сквозь снег талой воды. Нами это явление обнаруживалось в лесостепи на слабо промерзшей зяби и уплотненной пашне. При этом обычно имело место пятнистое промерзание с наличием к началу снеготаяния талых участков.

Многочисленные экспериментальные оценки водопроницаемости мерзлых почв, выполненные с применением метода колец или рам, дают чрезвычайно широкий разброс скорости усвоения талой воды почвой: от нуля и тысячных долей мм/мин до уровня практически талой почвы (доли и первые мм/мин) с обычным нарастанием от начала снеготаяния к его окончанию.

Большинство исследователей полагают, что инфильтрационная способность мерзлых почв обусловлена их влажностью [21, 86, 130, 152, 182, 189, 315, 361 и др.], т. е. замерзанием в порах воды и сужением их просвета вследствие закупорки кристаллами льда. Считается, что при

влажности мерзлой почвы около НВ ее водопроницаемость сохраняется на высоком уровне. Отмечается также пониженная вязкость низкотемпературной (около 0°) талой воды как фактор снижения водопроницаемости почвы. В связи с этим значительная часть усилий исследователей направлена на выявление связей водопроницаемости почвы (точнее, стока талых вод) со степенью увлажнения мерзлой почвы. (Дело в том, что оценка водопроницаемости мерзлой почвы методом рам и колец сильно искажает реальный природный процесс, а оценка инфильтрации на стоковых площадках осуществляется косвенно – по разности осадков и стока без оценки интенсивности снеготаяния и водоотдачи.) Причем связь стока с влажностью почвы и снегозапасами некоторые ученые устанавливают без учета глубины промерзания [167, 168], другие учитывают и глубину промерзания.

В общем виде уравнения связи обычно определяются выражением $y = a_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3$, где x_1 – снегозапасы; x_2 – запасы влаги в верхнем (обычно 0-50 см) слое почвы или какой-либо их эквивалент; x_3 – глубина промерзания или эквивалент температуры почвы. Обстоятельные обобщения, выполненные в последние годы А. Т. Барабановым [21], выявили, что глубина промерзания как фактор инфильтрации (и стока) действует специфически: до некоторой критической (лимитирующей) глубины (около 30-50 см) мерзлая почва инфильтрует воду без образования стока; при промерзании же свыше критического слой стока не зависит от глубины промерзания, а определяется лишь влажностью почвы и снегозапасами, возрастая с их увеличением. Вторым критическим (лимитирующим) фактором исследователь полагает влажность почвы: при некотором малом влагосодержании сток также не формируется. Таким образом он приходит к двухфакторному уравнению связи, а по сути процесса – однофакторному, ибо инфильтрационная способность почвы определяется ее влажностью в мерзлом состоянии. Иначе говоря, стекает часть непоглощенного почвой избытка влаги.

Принципиально важным для понимания процесса инфильтрации влаги в мерзлую почву является его рассмотрение с позиций теплообмена между талой водой и почвой.

Исследованиями В. Д. Комарова [167] впервые была выявлена важная роль теплофизического взаимодействия инфильтрующейся влаги с мерзлой почвой. Выполненные в последующем фундаментальные теоретические и экспериментальные исследования тепло- и влагопереноса при замерзании и оттаивании почв (А. М. Глобус [93];

И. Л. Калюжный, Н. С. Морозова, К. К. Павлова, В. В. Романов [145]; В. Я. Кулик [184]; А. П. Герайзаде, А. Г. Юсифов, Дж. М. Исмаилов [89]; Ю.Г. Мотовилов [233]; Л. С. Кучмент [186]; А. Н. Гельфан [88] и др.) существенно углубили понимание сути процесса взаимодействия талой воды с почвой. Особый интерес, на наш взгляд, представляют теоретические и экспериментальные (лабораторные и полевые) исследования гидрофизической лаборатории ГГИ при совместной оценке теплофизических и инфильтрационных процессов в мерзлых грунтах (П. А. Бажин, К. К. Павлова [20]; И. Л. Калюжный, К. К. Павлова [146]; И. Л. Калюжный, К. К. Павлова, С. А. Лавров [147, 148]). Основным результатом этих исследований явилась выработка концепции формирования в мерзлой почве так называемого «запирающего слоя», суть которой заключается в том, что при некотором соотношении влажности и температуры (отрицательной) мерзлой почвы в процессе ее взаимодействия с инфильтрующей влагой в почве формируется неводопроницаемый (запирающий) слой [145]. Заключение о критерии формирования водонепроницаемого слоя «основано на условии равенства запаса холода в единице объема промерзшей почвы и количества тепла, приносимого в единицу объема почвы просачивающейся водой и выделяемого при ее замерзании» [146, с. 114]. Ученые разделяют процесс инфильтрации талой воды в мерзлую почву на четыре последовательные во времени фазы: 1) убывающей скорости инфильтрации; 2) ее отсутствия; 3) нарастающей и 4) установившейся (фильтрации). Вторая фаза является следствием «полной закупорки свободных пор льдом, образующимся в процессе теплового взаимодействия талой воды с мерзлой почвой» [145, с. 77]; последующие фазы обусловлены разрушением запирающего слоя вследствие размерзания почвы в ходе снеготаяния.

Важно заключение авторов, что «до прекращения инфильтрации, вследствие образования запирающего слоя, в почву может впитаться объем воды, равный сумме объемов свободных пор в запирающем слое и во всех слоях, лежащих выше него» [145, с. 81]. Это совпадает с тезисом А. Т. Барабанова, что усвоение талой почвой влаги определяется дефицитом влажности оттаявшего до окончания снеготаяния слоя почвы [21].

Подчеркивая исключительную плодотворность концепции запирающего слоя для понимания сути взаимодействия талой воды с мерзлой почвой, необходимо отметить и существенную несогласо-

ванность результатов расчетов с данными экспериментов самих авторов. Так, в 1969-1974 гг. на стоковых площадках Нижнедевицкой стоковой станции (табл. 3.1 [146, с. 124-127]) неоднократно наблюдались ситуации превышения слоев и коэффициентов талого стока на вариантах опытов с отсутствием запирающего слоя в отличие от вариантов, где мощность запирающего слоя (по расчету) составляла от 0-6 до 0-20 см. Установлены случаи значительных различий в слое и коэффициентах стока при равных мощностях запирающего слоя. Показательны также данные об огромных расхождениях слоев (6-77 мм) и коэффициентов (0,07-0,61) стока при отсутствии запирающего слоя, но с разными уровнями увлажнения и промораживания почвы (1971/72 г.). Изложенные факты свидетельствуют о необходимости уточнения концепции запирающего слоя.

2.3.1. Анализ взаимодействия факторов инфильтрации воды в мерзлую почву

Поскольку образование запирающего слоя определяется температурой и влажностью мерзлой почвы, обратимся к анализу имеющейся информации об этих характеристиках в увязке со снегозапасами и гидрометеорологическими условиями на разных угодьях по данным исследований в стационарных опытах.

Ранее отмечалось, что отдельно взятые факторы – температура и промерзание почвы, ее увлажнение, запасы снеговой воды – не определяют однозначно инфильтрацию воды в мерзлую почву и оценку их роли необходимо проводить во взаимосвязи. Выполненные А. Т. Барабановым обстоятельные обобщения обширного материала показали, что водопроницаемость мерзлой почвы (точнее, обусловленная ею характеристика – сток талых вод) зависит от сочетания двух ведущих факторов – влажности почвы и снегозапасов [21]. Учитывая, что сток есть разница между снегозапасами и инфильтрацией, т. е. что на сток идет избыток непоглощенной почвой воды, можно утверждать, что инфильтрация нацело определяется запасами почвенной влаги (дефицитом влажности). Уравнения множественной линейной регрессии $s(W_{пч}, h_{сн})$ для описания связи стока s с влажностью почвы $W_{пч}$ и снегозапасами $h_{сн}$, полученные А. Т. Барабановым для широкого диапазона условий, – от лесостепи до сухой степи – примерно в 40% случаев имеют высокий коэффициент множественной корреляции (0,92-

0,97), т. е. отличаются высокой адекватностью. В 60% случаев коэффициенты корреляции составляют величину 0,48-0,86, т. е. влиянием факторов объясняются лишь 23-74% общего вклада переменных, управляющих инфильтрацией (стоком). Очевидно: модель нуждается в уточнении. Обратимся к анализу использованной А. Т. Барабановым информации. На рис. 2.6 помещены все данные из работы [21]. При

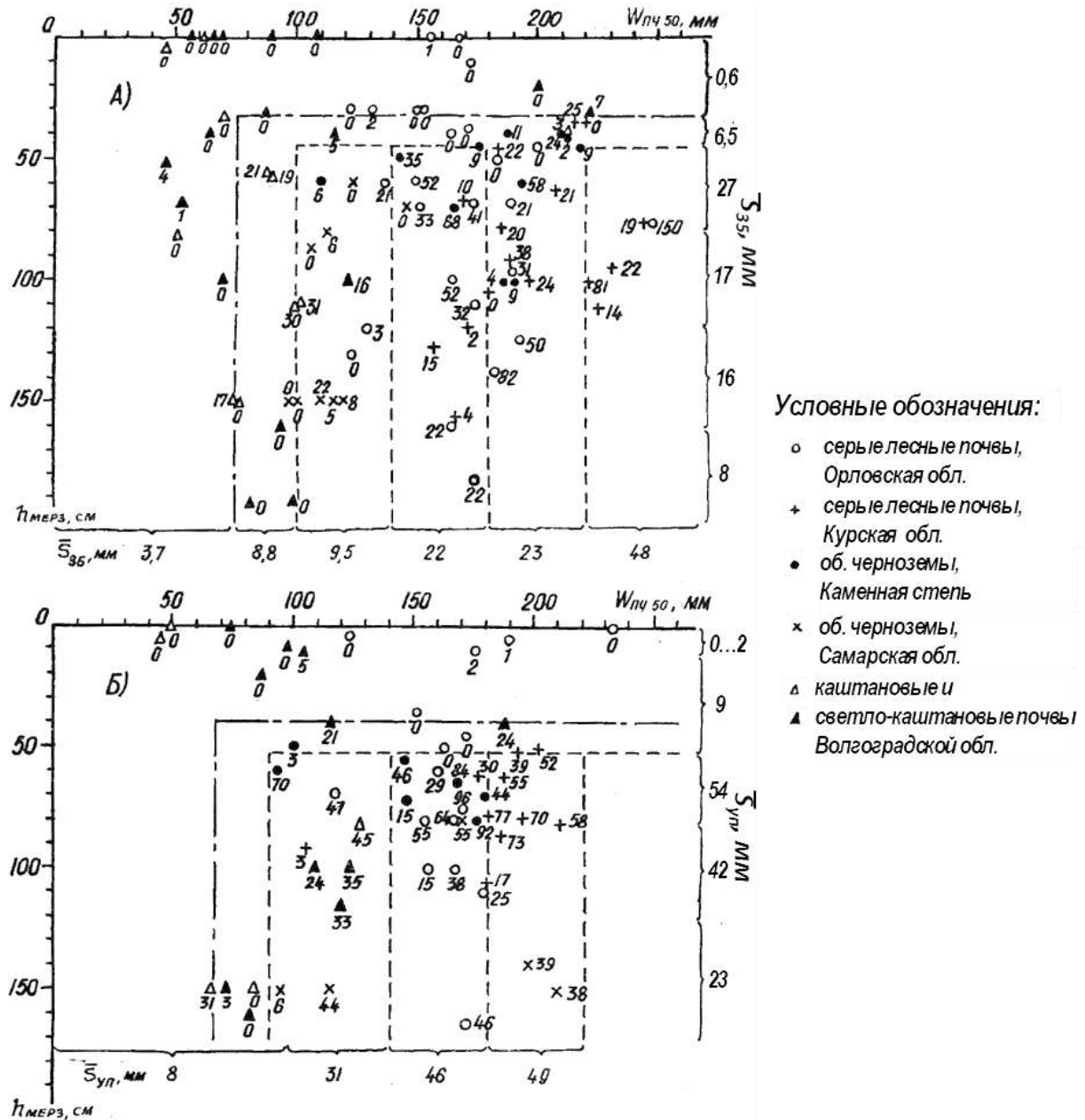


Рис. 2.6. Связь слоя талого стока s (числа у точек) с глубиной промерзания $h_{мерз}$ и влажностью слоя почвы 0-50 см $W_{пч50}$ на зяби (А) и уплотненной пашне (Б)

этом величины влажности верхнего (0-50 см) слоя почвы $W_{nч50}$ и глубины промерзания $h_{мерз}$ приводятся без изменений. Кроме того, вместо величин стока по уравнению (2.16) рассчитаны, исходя из соотношения осадков (снегозапасов) и инфильтрации, величины максимального слоя водопоглощения W_m (рис. 2.7). Это обстоятельство не меняет сути дела при рассмотрении факторов стока и инфильтрации. Решение уравнения (2.16) при равенстве инфильтрации и слоя осадков для весен с отсутствием стока дает неопределенность ($W_m \rightarrow \infty$).

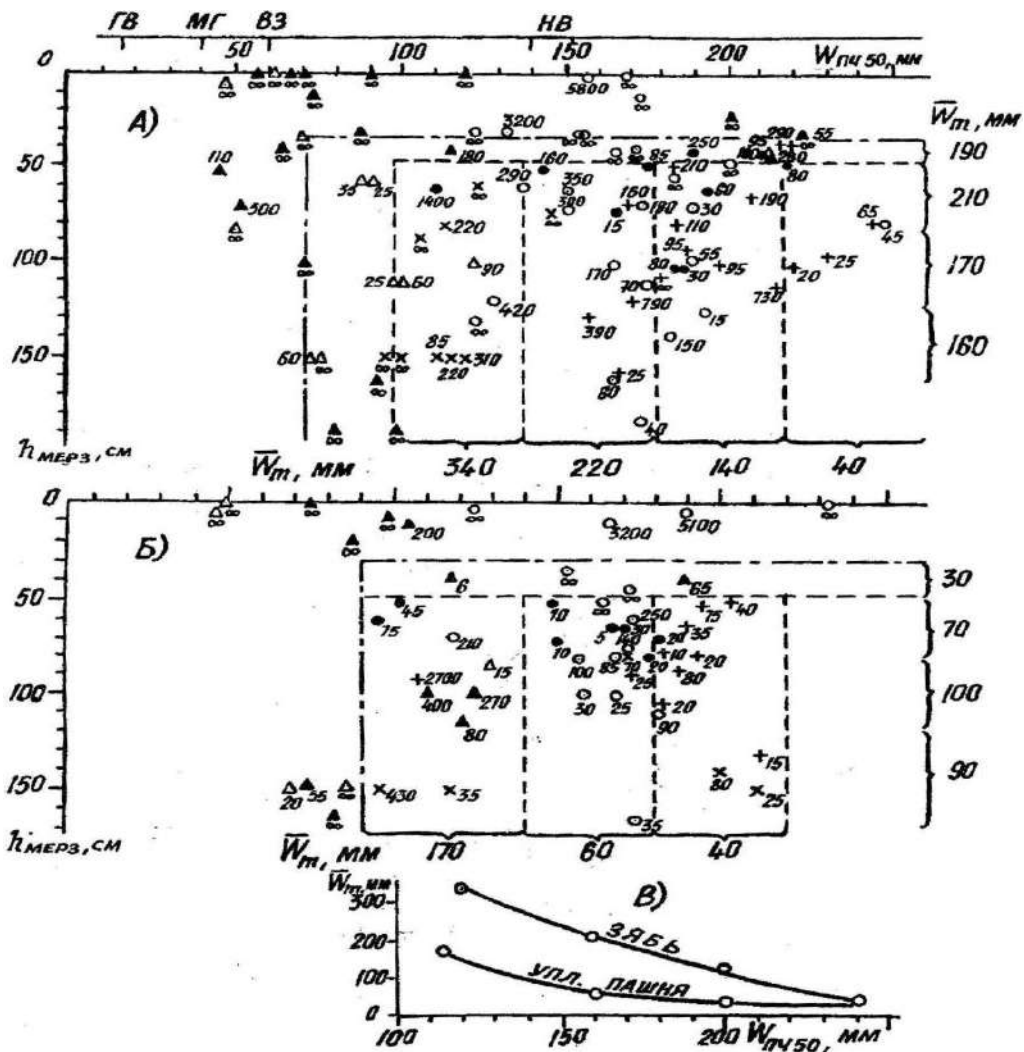


Рис. 2.7. Связь максимальной инфильтрационной способности мерзлых почв W_m (числа у точек) с глубиной промерзания $h_{мерз}$, влажностью $W_{nч50}$ верхнего (0-50 см) слоя почвы на зяби (А), уплотненной пашне (Б) и по интервалам влажности почвы (В). Знак ∞ обозначает W_m в годы с отсутствием стока. Гидрологические константы приняты ориентировочно для суглинистых почв. Обозначения точек – см. рис. 2.6

Реально величина W_m имеет конечное значение, но метод стоковых площадок не позволяет ее оценить при ограниченных снеготаяниях и интенсивности снеготаяния.

Анализом приведенных на рис. 2.6 и 2.7 данных и теоретическими соображениями установлено следующее.

1. Весь массив данных, независимо от почвенных (зональных) условий, образует единую совокупность. Зональные различия обуславливают лишь изменение запасов почвенной влаги и глубины промерзания. Это позволяет сделать заключение о едином виде зависимости инфильтрационной способности почвы от рассматриваемых факторов. Изменение снеготаяний вследствие этого является фактором инфильтрации несколько иного рода, чем промерзание почвы, которое активно влияет на инфильтрацию, меняя физику процесса. (Здесь не рассматривается вопрос влияния снежного покрова на замерзание-размерзание и влажность почвы – «истинные» факторы инфильтрации как физического процесса.) Фактором стока осадки являются в силу балансового соотношения «сток = осадки – инфильтрация»; их влияния на физику процесса нет (за рамками гидродинамики стекания воды). Иначе говоря, при равенстве снеготаяний сток определяется только величиной инфильтрации; при увеличении или уменьшении снеготаяний сток возрастает или убывает в полном соответствии с изменением снеготаяний. (Строго говоря, снеготаяния все-таки являются фактором инфильтрации в процессе снеготаяния, определяя время освобождения почвы из-под снега и начало ее оттаивания с поверхности. В силу этого при прочих равных условиях повышенные снеготаяния дают непропорционально большее увеличение стока, но этот вопрос не рассматривается.)

2. Промерзание и влажность почвы как факторы инфильтрации действуют совместно, но не однозначно. На уменьшение инфильтрационной способности почвы при замерзании и формирование талого стока влияет сам факт наличия (или отсутствия) промерзания, степень же и глубина промерзания влияют на изменение инфильтрации (уменьшение с увеличением глубины промерзания) только до определенного предела (около 30-50 см); увеличение глубины промерзания сверх этого предела на инфильтрационную способность почвы не влияет. Что касается влажности почвы, то она действует в любом интервале, начиная примерно от уровня максимальной гигроскопичности (МГ).

Независимыми лимитирующими факторами инфильтрации и талого стока ни промерзание почвы, ни ее влажность, строго говоря, не

являются. Это значит, с одной стороны, что даже при совершенно та-лой почве в ходе снеготаяния может сформироваться сток, с другой – даже очень сухая (около МГ), но мерзлая почва обладает ограниченной инфильтрационной способностью, и сток может сформироваться.

3. Взаимное влияние промерзания и влажности почвы обуславливает один и тот же уровень инфильтрации и стока при разнообразном соотношении этих факторов, что приводит к образованию специфических областей (зон) их сочетания, границы которых определяются диапазоном величин глубины промерзания и влажности почвы (рис. 2.8). Выделено три области сочетания разных уровней промерзания и влажности почвы:

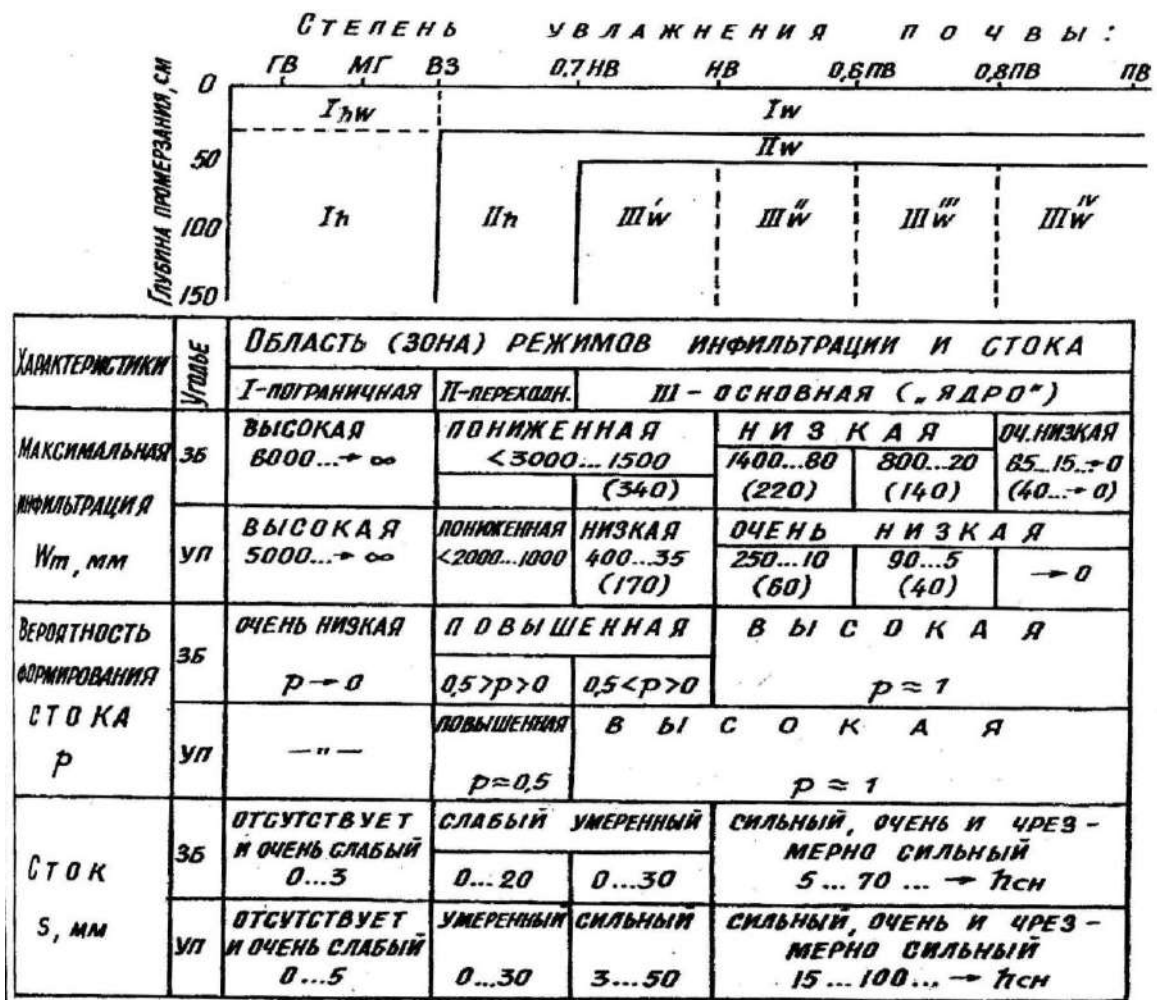


Рис. 2.8 Схематизация (блок-диаграмма) областей (зон) с разными режимами инфильтрации и стока в зависимости от сочетания увлажнения и промерзания почвы на зяби (зб) и уплотненной пашне (уп). Числа в скобках – среднее величины W_m .

I область – пограничная – с тремя подобластями:

1. Почва талая или мерзлая до глубины около 30(40-50) см; влажность до уровня завядания – ВЗ (подобласть I_{hw}). Предельно высокая инфильтрационная способность почвы. Сток отсутствует (лимитируется сочетанием обоих факторов – глубиной промерзания и влажностью на самом низком их уровне). Теоретически возможен сток при наличии ледяной корки, а также при исключительно высокой интенсивности снеготаяния на сильно переохлажденных почвах с пониженной инфильтрационной способностью.

2. Почва талая или мерзлая до глубины около 30 см; влажность в диапазоне ВЗ-ПВ (подобласть I_w). Очень высокая инфильтрационная способность, несколько снижающаяся (сток возрастает) с увеличением глубины промерзания и более заметно – с увеличением влажности почвы. Сток маловероятен, лимитируется промерзанием; в отдельные годы, обычно при высокой влажности почвы, сток может достигать величин порядка 10-20 мм.

3. Почва мерзлая более чем на 30(40-50) см (до 100-150 см и глубже); влажность до уровня около ВЗ (подобласть I_h). Сток отсутствует или маловероятен и незначительный с тенденцией к увеличению в сравнении с подобластью I_w , по-видимому, при сильном переохлаждении глубоко промерзших почв; в отдельные годы обычно при глубоком промерзании и сильном переохлаждении достигает 20-30 мм; лимитируется низкой влажностью почвы.

II область – переходная – с двумя подобластями:

1. Почва мерзлая в слое 0-50 см; влажность выше ВЗ (подобласть II_w). Инфильтрация – от предельно высокой до пониженной с тенденцией уменьшения (возрастания стока) с увеличением влажности; вероятность стока и его величина возрастают в том же направлении. Сток практически отсутствует или мал (2-5 мм) при низкой влажности; при высокой влажности может превышать 20-25 мм; лимитируется глубиной промерзания.

2. Почва мерзлая в слое 0-50 см и глубже (100-150 см и более); влажность в диапазоне от ВЗ до 0,7 НВ (подобласть II_h). Инфильтрационная способность почвы, вероятность формирования стока как в подобласти III_w ; сток лимитируется влажностью почвы, не зависит от глубины промерзания.

III область – основная (могут выделяться подобласти по диапазонам увлажнения III'_w , III''_w , ...). Почва мерзлая до 50 см и глубже;

влажность выше 0,7 НВ. В сравнении с I и II областями имеет пониженную инфильтрацию, повышенный сток. Снижение инфильтрации, увеличение вероятности формирования стока и его слоя возрастают с увеличением влажности независимо от глубины промерзания почвы.

Предлагаемое зонирование сочетания условий, определяющих инфильтрацию и сток, в известной мере условно в отношении их границ (так, например, можно выделить «нулевую» область с талой почвой во всем диапазоне увлажнения). Что же касается самого принципа определения границ областей по сочетанию ведущих факторов, то его правомерность основывается на выявлении четких связей с ними инфильтрации и стока. Вместе с тем следует особо подчеркнуть, что оба фактора не дают исчерпывающего объяснения всем ситуациям: часто при одном и том же сочетании факторов инфильтрация и сток сильно различаются. На наш взгляд, существенное значение имеет температурный режим почвы (величина и профиль температуры), особенности изменения влажности по глубине (профиль влажности), наличие ледяной корки, особенности оттаивания почвы и т. п. К сожалению, информация об этих характеристиках крайне скудна. Тем не менее, несмотря на эти ограничения, основная масса экспериментальных данных хорошо объясняется сочетанием рассмотренных ведущих факторов.

Важным является практическое совпадение границ областей для обоих угодий – зяби и уплотненной пашни, что служит дополнительным аргументом в пользу универсальности характера взаимодействия ведущих факторов. Различия между угодьями, таким образом, не в сути процессов, а чисто количественные. Пониженная инфильтрационная способность почвы на уплотненной пашне вполне согласуется с известными представлениями о повышенной плотности ее верхних слоев.

Анализ данных позволяет существенно уточнить бытующие представления о влиянии низкой влажности мерзлой почвы на инфильтрацию и сток. Утверждения, что «на сухой почве сток не формируется» или что при влажности почвы на уровне НВ ее впитывающая способность остается высокой, верны лишь отчасти. Верно, что в бессточные и с малым стоком годы почва обычно имеет низкую влажность, но неверно, что низкая влажность почвы является достаточным условием, чтобы сток не сформировался или был мал. То же следует сказать и о глубине промерзания. В годы, когда стока нет или он мал, почва талая или промерзла на небольшую глубину. Однако при этих же условиях может формироваться ощутимый сток.

Рассмотрим вопрос о виде аналитической связи между инфильтрацией, стоком и ведущими факторами – увлажнением почвы и снегозапасами. Критический разбор предложенных разными авторами зависимостей, выполненный А. Т. Барабановым [21], привел его к простому линейному уравнению с двумя независимыми переменными, удовлетворительно аппроксимирующему экспериментальные данные при глубине промерзания почвы более 50 см. Наш анализ и теоретические предпосылки модели инфильтрации Ю. Б. Виноградова позволили обобщить имеющуюся информацию на основе уравнения (2.16) и его модификаций:

$$W = h_{CH} - s = W_m[1 - \exp(-h_{CH}/W_m)], \quad (2.18)$$

$$s = W_m \left\{ \frac{h_{CH}}{W_m} - [1 - \exp(-h_{CH}/W_m)] \right\}. \quad (2.19)$$

Вид полученных зависимостей представлен на рис. 2.9, 2. 10. Отличительными особенностями зависимостей являются: 1) существенно криволинейный характер связей $W(h_{CH}, W_m)$ и $s(h_{CH}, W_m)$; 2) универсальный (единый) характер связи для обоих агрофонов (зябь и уплотненная пашня); 3) единство связи во всем диапазоне глубины промерзания почвы (в слое 0-50 см и глубже). О численных характеристиках слоя стока в зависимости от максимального водопоглощения и снегозапасов позволяют судить данные табл. 2.8.

Полученные результаты согласуются с результатами обобщения А. Т. Барабанова, что особенно хорошо иллюстрируется рис. 2.11, где наряду с косвенной характеристикой увлажнения почвы W_m использованы данные А. Т. Барабанова о влагозапасах верхнего (0-50 см) слоя почвы. Это согласие относится к интервалу значений W_m менее 100-40 мм и W_{nc} более 120-160 мм, где функция $s(W_m, W_{nc}, h_{CH})$ практически линейна в области больших величин s , что означает пропорциональность ее величине увлажнения почвы. При этом сток возрастает почти настолько, насколько возрастают снегозапасы, т.е. весь избыток осадков идет на образование стока. Однако при больших значениях W_m и меньших W_{nc} расхождения с простой линейной моделью велики (что и привело А. Т. Барабанова к необходимости исключения из аналитического обобщения данных с малой глубиной промерзания почвы, т. е. с высокими значениями W_m). Кроме того, криволинейность функции при ее линейном представлении дает совокупность не параллельных, а расходящихся прямых. При этом параметр b в уравнении прямой должен возрастать; тенденция к его возрастанию обнаруживается в обобщении А. Т. Барабанова при переходе от сухой степи к лесостепи по мере увеличения отношения h_{CH}/W_m и слоя стока.

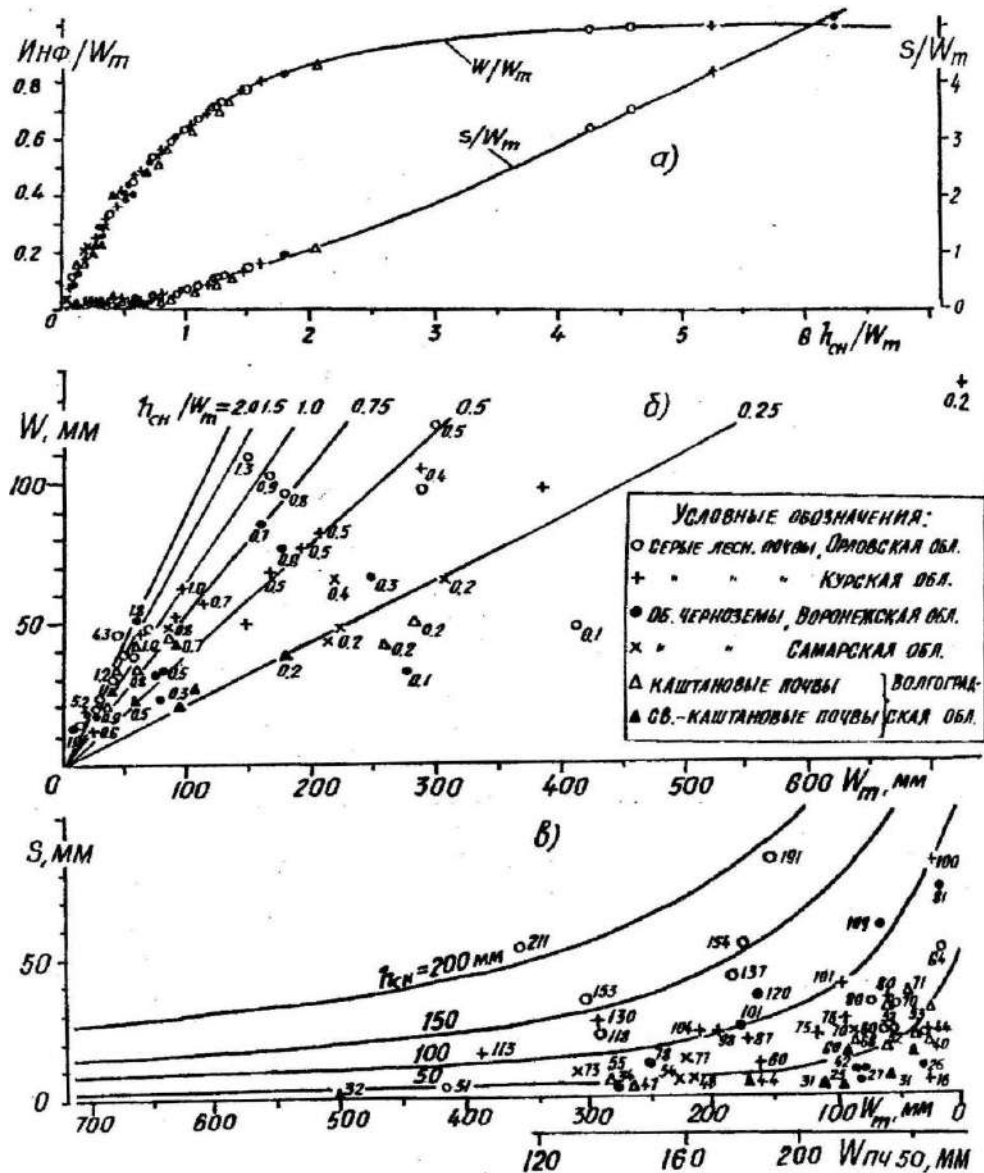


Рис. 2.9. Связи талого стока s и инфильтрации (водопоглощения W) со снегозапасами h_{ch} и максимальным водопоглощением W_m на зяби: а) в относительных величинах; б, в) в абсолютных величинах. Числа у точек и кривых: индекс h_{ch}/W_m (б), h_{ch} (в)

Таким образом, выполненный анализ и обобщение данных о связи инфильтрации и стока талых вод в зависимости от ведущих факторов – влажности почвы и снегозапасов – позволили получить математическое выражение, достаточно хорошо согласующееся с теоретическими соображениями и фактическими материалами во всем диапазоне глубины промерзания почвы. Эта зависимость может быть использована для прогноза стока талых вод точно так же, как и

уравнение А. Т. Барабанова. Для этого требуется в первую очередь иметь оценку влажности верхнего слоя мерзлой почвы.

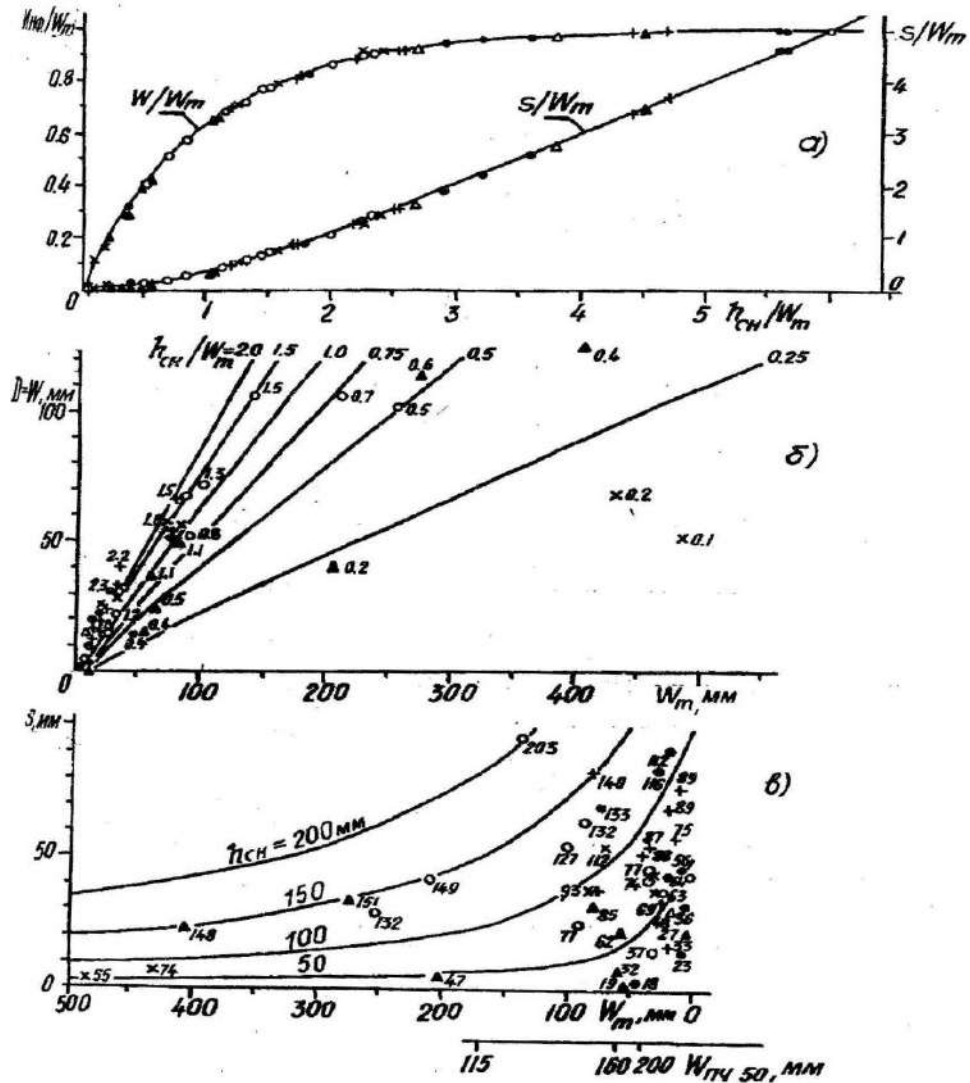


Рис. 2.10. Те же связи и обозначения, что на рис. 2.9, для уплотненной пашни

Остановимся особо на вопросе о мощности того слоя мерзлой почвы, влажность которого определяет ее инфильтрационную способность. Рассмотренные данные свидетельствуют о том, что этот слой с наибольшей динамикой влажности сильно варьирует по мощности (от 10-20 до 100 см и более). Есть мнение, что инфильтрационная способность мерзлой почвы определяется влажностью не 50-сантиметрового верхнего слоя, а 20-30-сантиметрового и меньше – мощностью «запирающего» слоя и дефицитом влаги в нем [21, 146].

Таблица 2.8

Расчетный слой талого стока s в зависимости от максимального водопоглощения W_m и снегозапасов $h_{сн}$ на зяби и уплотненной пашне, мм

W_m	$h_{сн}$			
	50	100	150	200
1000	1,2	4,8	10,7	18,7
900	1,4	5,4	11,8	20,7
800	1,5	6,0	13,2	23,0
700	1,7	6,8	15,0	26,0
600	2,0	7,9	17,3	30,0
500	2,4	9,4	20,4	35,2
400	3,0	11,5	25,0	42,6
300	3,9	15,0	32,0	54,0
200	5,8	21,3	44,5	73,6
100	10,7	36,8	72,3	114,0
50	18,4	56,3	104,0	151,0
40	21,5	63,3	111,0	160,0
30	25,7	71,1	120,0	170,0
20	31,6	80,1	130,0	180,0
10	40,1	90,0	140,0	190,0
0	50,0	100,0	150,0	200,0

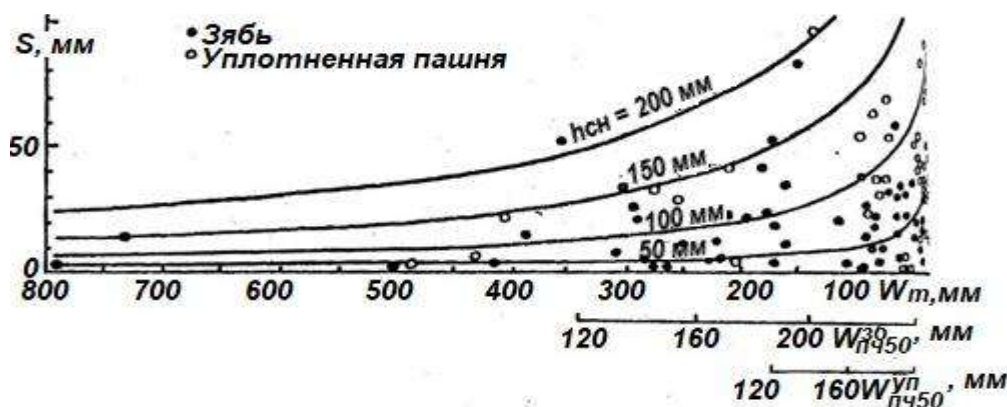


Рис. 2.11. Зависимость слоя стока s от величины максимального водопоглощения W_m , влажности верхнего 50-сантиметрового слоя почвы $W_{пч50}$ и снегозапасов $h_{сн}$ на зяби и уплотненной пашне

А. Т. Барабановым сформулирован тезис: «почва – саморегулирующаяся система, способная поглотить и удерживать определенное количество воды, максимальная величина которой в мерзлом состоянии

потенциально может быть равна полной влагоемкости верхнего слоя. Дефицит влаги (разница между полной влагоемкостью и фактическими влагозапасами) обуславливает величину водопоглощения» [22, с. 38]. Этот тезис означает, что вообще мощность верхнего мерзлого слоя, определяющего инфильтрацию, не является фиксированной величиной. Оба эти обстоятельства логически и по сути дела приводят к тому, что количество поглощенной мерзлой почвой талой влаги определяется мощностью оттаявшего за весенний паводок слоя почвы. Это позволяет оценить его мощность, используя данные о влажности почвы, ее ПВ и слое инфильтрации (поглощения) по результатам воднобалансовых наблюдений. Приравнивая водопоглощение и дефицит влажности почвы, а также полагая линейным изменение влажности по профилю, легко рассчитать мощность талого слоя почвы, вмещающего слой просочившейся влаги (табл. 2.9). Результаты расчетов показывают, что его мощность существенно меньше 50 см, составляя в годы со стоком в среднем 9-25 см на зяби и 8-24 см на уплотненной пашне, понижаясь до 3-4 см в годы с высокой водностью. Даже в бессточные годы с полным просачи-

Таблица 2.9

Мощность мерзлого слоя h_D (с дефицитом влаги, равным просачиванию), определяющего при оттаивании слой просачивания влаги на зяби и уплотненной пашней в годы со стоком (с) и без него (б/с)

Почва, область	Водность весен	Мощность слоя почвы h_D , см						Среднее значение просачивания влаги, мм	
		max		min		среднее		зб	уп
		зб	уп	зб	уп	зб	уп		
<i>Серые лесные</i>									
Орловская	с	46	38	8	8	25	24	74	64
	б/с	71	66	15	41	37	54	116	176
Курская	с	68	26	6	6	27	15	63	40
<i>Обыкновенные черноземы</i>									
Воронежская	с	35	15	6	4	19	8	50	22
Самарская	с	17	24	12	9	14	16	53	48
	б/с	74	-	10	-	18	-	66	-
<i>Кашиановые</i>									
Волгоградская	с	23	-	6	-	10	-	35	-
	б/с	40	-	4	-	15	-	75	-
<i>Светло-кашиановые</i>									
Волгоградская	с	12	30	3	3	9	13	31	45
	б/с*	38	42	0	6	11	19	38	84

Примечание: *для каштановых и светло-кашиановых вместе.

ванием всех снегозапасов и максимально благоприятными условиями инфильтрации мощность этого слоя возрастает ненамного и в среднем составляет 11-37 см на зяби и 19-54 см на уплотненной пашне. (Последнее число скорее завышено из-за короткого ряда наблюдений в годы с повышенными снегозапасами.) Обнаруживается четкая тенденция уменьшения этого слоя к югу и юго-востоку, обусловленная увеличением дефицита влажности и уменьшением снегозапасов. На уплотненной пашне этот слой обычно несколько меньше, что обусловлено худшим оттаиванием почвы. Тот факт, что мощность управляющего просачиванием слоя мерзлой почвы незначительна (8-25 см и менее – до 3-4 см) имеет большое теоретическое и практическое значение. Для теории это означает, что процесс усвоения влаги мерзлой почвой определяется состоянием ее самых верхних слоев, что в целом согласуется с аналогичным заключением, сделанным ранее при анализе инфильтрации влаги в летний период. Для практики из этого следует возможность прогноза талого стока по данным определения влажности самых верхних слоев почвы (в т. ч. дистанционными методами [360]), что согласуется с профилем влажности мерзлой почвы. Кроме того, состояние влажности верхнего слоя почвы определяет возможность (точнее, невозможность) управления процессом регулирования инфильтрации средствами поверхностного задержания влаги и рыхления почвы, практически не влияющими на ее влажность. Лимитирование слоя просачивания влаги глубиной оттаивания почвы означает, что именно в направлении глубины оттаивания почвы (или, что то же самое, уменьшения глубины промерзания) и уменьшения ее влажности должен идти поиск средств управления инфильтрационной способностью мерзлой почвы.

2.3.2. Факторы инфильтрационной способности мерзлой почвы под лесными насаждениями

Рассмотрим специфику факторов, определяющих поглощение талых вод под лесными насаждениями, на примере экспериментальных данных по ур. Колодезному о снегозапасах, просачивании и стоке талых вод, глубине промерзания и влажности почвы. Предварительный анализ данных показывает, что здесь так же, как и на полевых угодьях, сток талых вод при талой почве отсутствует (1966, 1975 гг.); при слабом промерзании до 30-50 см отмечаются случаи полного от-

сутствия стока (1975 г.), но обычно он достигает величин от 15-20 до 40-50 мм, а иногда 115-132 мм (1970 г.), т. е. как в годы с глубоким (до 180 см) промерзанием. Применяя методы и подходы, использованные в предыдущем разделе, получаем результаты, представленные на рис. 2.12. Они показывают, что качественная связь слоя талого стока на полевом склоне и в лесных насаждениях с параметром водопоглощения W_m (т. е. с увлажнением почвы) и снегозапасами $h_{сн}$ одина, различаются лишь численные значения распределения параметра W_m . В силу этого средний слой стока за 1964-1988 гг. на полевом склоне больше (30 мм) в сравнении с березовым (26 мм) и сосново-еловым (18 мм) насаждениями. В этом же направлении уменьшается и влажность почвы. В целом обнаруживается тенденция к повышению поглощения талой воды почвой в лесных насаждениях и уменьшению слоя талого стока. Однако следует признать эти различия небольшими и обусловленными скорее всего тем, что насаждения создавались на сильноосмытых почвах с неблагоприятными водно-физическими свойствами. Определенную роль сыграли специфические условия особо многоводных весен 1969 и 1970 гг., когда сток из леса превышал сток с поля (средний слой стока с исключением этих лет составляет соответственно 27, 19 и 9 мм). Кроме того, полевой склон находится в пределах влияния снежного шлейфа насаждения, что также способствует снижению стока за счет поглощения талой воды в приопушечной зоне с пониженным промерзанием почвы.

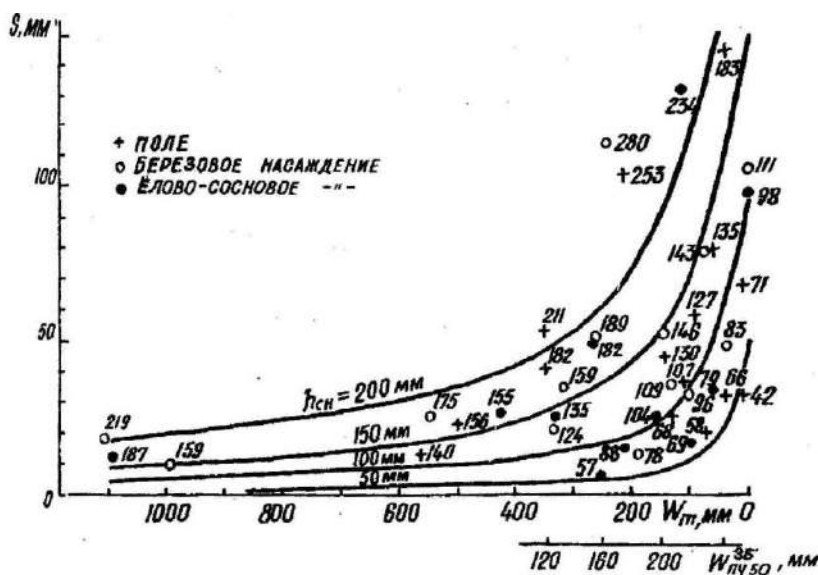


Рис. 2.12. Зависимость слоя стока от максимального водопоглощения W_m и снегозапасов $h_{сн}$ в поле, березовом и сосново-еловом насаждениях (ур. Колодезное, 1964-1988 гг.)

2.3.3. Концепция ледяного экрана как лимитирующего фактора усвоения влаги мерзлой почвой

Обзор концепций, анализ и обобщение экспериментальных данных, полевые визуальные и полуинструментальные наблюдения позволяют сформулировать представления об основных процессах и явлениях при усвоении влаги мерзлой почвой.

Центральным вопросом является следующий: почему при огромной свободной пористости (в диапазоне МГ-НВ), когда от влаги свободны не только межагрегатные, но и значительная часть внутриагрегатных пор, инфильтрация влаги сильно затруднена (в сравнении с такой же ситуацией летом) и формируется сток, несмотря на исключительно низкую интенсивность снеготаяния (сотые и тысячные доли мм/мин). Фактически это означает, что агрегированные почвы суглинистого мехсостава, способные летом при той же исходной влажности пропускать воду дождевых осадков со скоростью от десятых до целых мм/мин и более, переходят весной по уровню водопроницаемости в разряд тяжелосуглинистых и илистых грунтов с диаметром пор в сотни и тысячи раз меньшим, чем в талой почве. Уменьшением просвета пор это не объяснить, поскольку межагрегатные, т. е. наиболее крупные поры (примерно 50% общего объема при влажности около НВ), в мерзлой почве свободны от воды. Концепция «запирающего слоя» объясняет явление лишь для случаев с определенным сочетанием температуры и влажности почвы, будучи бессильной пролить свет на условия формирования стока при отсутствии «запирающего слоя», особенно при слабом и неглубоком промерзании умеренно влажной почвы.

На наш взгляд, всю совокупность наблюдаемых фактов можно истолковать, опираясь на обоснованную ранее концепцию сплошной менисковой пленки, которая при снеготаянии и теплообмене в системе «таялая вода – мерзлая почва» превращается в сплошной ледяной экран (ЛЭ). Формирование этого экрана в виде ледяной корки автором систематически отмечалось в приствольной части проталин и под снегом в насаждениях, а также на лугу с момента, когда просачивающаяся сквозь снег вода достигала поверхности до этого визуалью сухой почвы.

На полевых угодьях его регистрация затруднена вследствие часто образующейся под снегом ледяной корки. Более надежно ЛЭ регистрируется под слоем оттаявшей почвы на границе с мерзлой – на этой границе нога скользит, как по льду, наличие которого визуалью

отмечается при снятии оттаявшего слоя почвы. Кроме того, ручьи талой воды, в руслах которых смыт оттаявший слой, имеют обычно мерзлое оледенелое дно. Во всех этих случаях ниже ЛЭ в почве не обнаруживаются признаки влаги в жидкой фазе, и она имеет естественную влажность на исходном (до снеготаяния и оттаивания) уровне. И даже после окончания снеготаяния и стока (и прекращения поступления на поверхность почвы осадков), если почва к тому времени не оттаяла полностью, ЛЭ сохраняется, постепенно опускаясь по мере оттаивания почвы (в 1969 г. При исключительно глубоком – до 180 см – промерзании мерзлая почва сохранялась до июня); ниже ЛЭ жидкая влага не проникает.

Косвенным аргументом в пользу формирования ЛЭ является обычное отсутствие оттаивания почвы под снегом и в днищах лужиц талой воды. (Характерно, что при совершенно талой почве во время таяния снега на границе раздела «снег-почва» перенасыщение снега водой и формирование лужиц не наблюдается: просачивающаяся сквозь снег вода по мере ее поступления поглощается почвой без остатка. С другой стороны, образование таких лужиц есть свидетельство образования ЛЭ. Если под снегом обнаруживаются пятна талой почвы, то обычно она бывает талая насквозь еще до начала снеготаяния. Наблюдаемое оттаивание почвы под снегом происходит обычно на рыхлой зяби при наличии больших пустот, слабом промерзании на небольшую глубину – примерно в пахотном слое – и высокой сухости почвы.) Это можно объяснить лишь отсутствием инфильтрации влаги в мерзлую почву. Если б инфильтрация имела место, то почва обязательно оттаивала, иначе невозможно понять, куда расходуется громадный запас тепла талой воды (на каждый грамм растаявшего снега приходится около 80 калорий тепла) и почему только освобождение почвы из-под снега (появление проталин) вызывает ее оттаивание. Ответ один – мерзлая почва под снегом влагу не впитывает (т. е. она неводопроницаема), она расходуется на заполнение крупных пустот, емкостей поверхностного микрорельефа и сток. Лишь часть тепла отбирается почвой для образования ЛЭ, остальное уходит с талым стоком.

Формирование ЛЭ есть результат теплообмена на границе раздела «талая вода – мерзлая почва»: вода отдает тепло мерзлой почве, повышая ее температуру вплоть до оттаивания, а почва, в свою очередь, отнимая тепло у воды, понижает ее температуру до точки заморозания и превращения ее в лед. В зависимости от перепада температур

и интенсивности потока тепла может наблюдаться как намораживание льда на границе раздела, так и протаивание почвы. Реально соотношение таково, что этап намораживания льда является неизбежным. Этому способствует низкая скорость снеготаяния, вследствие чего поступление влаги на мерзлую почву происходит очень тонким слоем, быстро отдающим тепло, передача тепла осуществляется диффузионным, а не конвективным механизмом теплообмена (вода на поверхности почвы под снегом покоится без признаков не только турбулентного, но и практически ламинарного течения).

Гидрологические последствия образования ЛЭ очевидны. Сплошной ЛЭ неводопроницаем, т. е. его образование исключает инфильтрацию влаги в привычном понимании ее как физических процессов капиллярного впитывания, напорного и гравитационного течения. Отсюда следует исключительно важное правило: при наличии ЛЭ формируется талый сток и, наоборот, – наличие талого стока означает формирование ЛЭ. По мере протаивания почвы и опускания ЛЭ поровое пространство над ним заполняется поступающей водой до уровня ПВ. Количество поступающей воды поэтому равно дефициту влажности – разности между ПВ и естественной влажностью. Суммарный слой проникшей таким образом в почву влаги за весь период снеготаяния в точности равен дефициту влажности оттаявшего слоя почвы. Это полностью соответствует представлениям И. Л. Калюжного, К. К. Павловой [146] и А. Т. Барабанова [21]. Кроме того, специальными наблюдениями и измерениями, выполненными О. В. Ложкиной в ОПХ Новосильской ЗАГЛОС с применением специального пробоотборника для оттаивающей почвы (см. гл. 1), подтверждено, что влажность талого слоя почвы близка к ПВ, а ниже границы раздела «вода – мерзлая почва» ее влажность равна исходной до начала снеготаяния. Аналогичное распределение влажности отмечено в зоне оттаивающих многолетнемерзлых переувлажненных почв [345].

В схематизированном виде картина состояния влаги в мерзлой и оттаивающей почве поясняется рис. 2.13.

Рассмотренные явления, процессы и изложенные соображения приводят к заключению, что физически процесс усвоения талой влаги мерзлой почвой хотя и представляет собою, несомненно, ее передвижение вглубь, но не является собственно инфильтрацией в привычном ее понимании. И суть не в том, что при оттаивании почвы инфильтрация замедлена. Дело в том, что «термоинфильтрация» – это инфильтрация

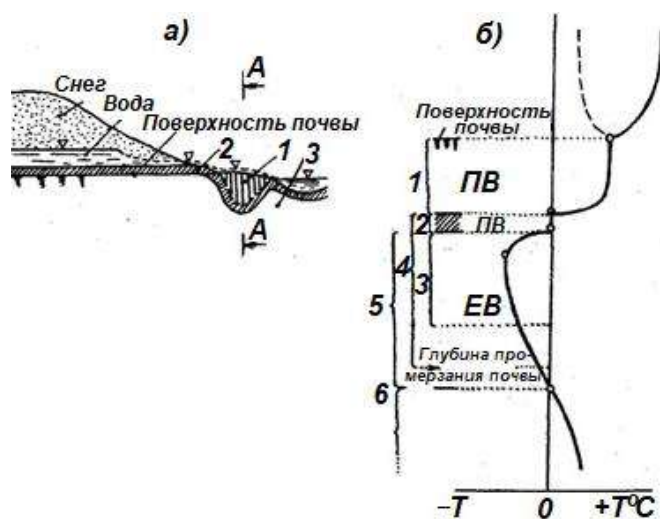


Рис. 2.13. Принципиальная схема формирования ледяного экрана при снеготаянии и оттаивании почвы (а), хода температуры T воздуха и почвы, распределения ее влажности (б).

Почвенные слои: 1 – оттаивший, 2 – с ледяным экраном, 3 – «запирающий», 4 – мерзлый, 5 – с отрицательными и 6 – положительными температурами

размораживания, протаивания почвы. По аналогии с обычной инфильтрацией в талую почву термоинфильтрация определяется соотношением скорости поступления в почву тепла талой воды и скорости встречного холодного потока из почвы (ее теплопроводностью, теплоотдачей). Соотношение скоростей этих двух встречных теплотоков и определяет скорость протаивания, равную скорости термоинфильтрации (с учетом объема свободных пор). Если скорость протаивания превышает скорость заполнения пор влагой, то сток не формируется, и наоборот. В этом также состоит принципиально важное различие концепций запирающего слоя и ледяного экрана. Можно сказать, что ледяной экран определяет скорость термоинфильтрации, а запирающий слой – количество (слой) усвоенной влаги, слой термоинфильтрации.

Остановимся в связи с этим особо на ситуации со слабомерзлыми (с малым запасом холода и неглубоко – обычно до 20-30-50 см – промерзшими), а также слабоувлажненными почвами. Для таких почв характерно полное отсутствие стока или весьма незначительный сток. По нашему мнению, формирование в этом случае любого, сколь угодно малого стока полностью укладывается в рамки концепции ЛЭ в изложенном выше виде. Пониженная величина стока есть следствие, очевидно, повышенной термоинфильтрации, которая, в свою очередь, обусловлена более быстрым опусканием ЛЭ и освобождением порового пространства из-за малых запасов холода в слабомерзлой почве. Повышению термоинфильтрации также способствует суточная цикличность снеготаяния, особенно при его низкой интенсивности. Циклично малыми порциями поступающая вода заполняет сперва пустоты и емкости микрорельефа и лишь при их переполнении частично

расходуется на сток. В ночные часы процесс протаивания почвы продолжается практически с той же скоростью, что и днем (температура на границе ЛЭ равна 0°), но интенсивность снеготаяния уменьшается. Сток ослабевает или прекращается даже при положительных кругло-суточных температурах воздуха и талой воды. Протаявшая за ночь почва освобождает поровое пространство и емкость микрорельефа. Их заполнение утром начинается вновь, что удлиняет бессточный период и уменьшает сток, и т. д. При пятнистом промерзании (чередовании талых и мерзлых участков почвы) процесс идет по той же схеме, т. е. на мерзлых участках формируется ЛЭ и сток. Дальнейшее распределение стекающей влаги определяется соотношением площади мерзлых и талых пятен, скоростью ее инфильтрации на пятнах талой почвы и оттаиванием мерзлой. Здесь могут быть ситуации как с очень слабым стоком, так и с его отсутствием, что вполне согласуется с наблюдениями в поле и данными экспериментов на стоковых площадках. Таким образом, эффект лимитирующей сток глубины промерзания (до определенной глубины промерзания сток не формируется, а свыше ее формируется и от глубины промерзания не зависит) является кажущимся. Если при талой почве в зоне избыточного увлажнения при тяжелом мехсоставе и наличии иллювиальных и иных слабо водопроницаемых горизонтов талый сток возможен и формируется, то при незначительном промерзании он имеет место всегда, хотя бы локально. Но даже если принять концепцию лимитирующей глубины промерзания, особенно с учетом независимости водопроницаемости от глубины промерзания сверх лимитирующего предела, то это означает появление мощного фактора снижения водопроницаемости (и формирования стока), которым является только ЛЭ.

Справедливости ради следует заметить, что тезис о лимитирующей глубине промерзания имеет некоторое право на существование. Мощность мерзлого слоя примерно до 20 см, при которой сток может отсутствовать или в ряде случаев быть очень слабым, согласуется с глубиной пахотного слоя (более рыхлого), глубиной оттаивания к концу снеготаяния и дефицитом влаги этого слоя, обычно достаточным для полного вмещения снеготаяния (см. табл. 2.9). Этому благоприятствует неравномерность промерзания и увлажнения почвы, наличие талых пятен и т.п. Не исключая формирования ЛЭ и его гидрологических последствий, эти факты свидетельствуют об уменьшении доли его участия в формировании стока, в ряде случаев подавляя его роль как фактора инфильтрации.

ГЛАВА 3

ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫЙ ПРОЦЕСС

Эрозионно-аккумулятивный процесс (ЭАП), несомненно, имеет свои особые физические законы. Их природа едина независимо от места, времени и условий его проявления. Такая трактовка единого ЭАП согласуется с известными подходами, наиболее ярко сформулированными А. С. Козменко [162], Н. И. Маккавеевым [210], Г. П. Сурмачем [308]. В работах этих ученых обоснованы важные положения о генетической взаимосвязи (взаимообусловленности, диалектическом единстве) эрозии и аккумуляции; генезиса гидрографической сети, склонов и продуктов аккумуляции (в том числе лёссов); звеньев гидрографической сети; денудации и формы склонов. Эти фундаментальные положения являются необходимой (но недостаточной) основой для выделения ЭАП в особый класс физических процессов и отграничения его от широкого круга явлений, объединяемых понятием денудации и часто неудачно отождествляемых с эрозией [8, 12, 121, 123], а также уверенно классифицировать различные типы и виды эрозии и тесно связанные с нею явления (крип, солифлюкция, деструктивное и взмучивающее действие дождевых капель, просадки, растворение и т.п.). Вместе с тем проявление ЭАП столь повсеместно, что огромное местное разнообразие климатических, геологических, гипсометрических и иных условий накладывает часто совершенно специфический отпечаток на внешние формы проявления ЭАП, за которыми скрывается сущность процесса. Это чрезвычайно затрудняет решение грандиозной задачи создания единой физической модели ЭАП.

Одной из целей настоящей работы является раскрытие специфики ЭАП в антропогенных условиях, в том числе его модификации при осуществлении системы почвозащитных и особенно лесомелиоративных мероприятий (часть их рассмотрена во 2-й главе). Однако выяснение и четкое определение специфики предполагает знание сути основного явления. Поскольку до настоящего времени на сей счет не имеется единого мнения, то целесообразно остановиться на некоторых общих положениях теории ЭАП.

Для понимания сути ЭАП независимо от уровня теоретических представлений о его физической природе и отражающих ее соответствующих математических моделей важно качественно-описательное

рассмотрение внешних морфологических его проявлений в пространстве и времени. Эти проявления четко группируются в два класса: склоновые и русловые образования – водороины, промоины, овраги, лощины, балки, долины.

3.1. Пространственно-временная эволюция поверхности в ходе эрозионно-аккумулятивного процесса

3.1.1. Эволюция подбровочных склонов

Промоинно-овражная стадия. Традиционно выделяются две основные формы проявления эрозии (см. рис. 1.3): 1) плоскостной («пластовый», «сплошной») смыв и 2) ручейковый (бороздковый, водороинный) размыв [8, 343]. (В работе термин размыв употребляется применительно к водороинам и как синоним гидрографической сети – понижений в рельефе, выработанных сосредоточенными водными потоками не только за счет выноса субстрата (собственно размыв), но и аккумуляции продуктов его переработки выветриванием и эродирующими водными потоками.) При этом если генезис второй формы очевиден, то относительно первой такой ясности нет, особенно когда удаление мелкозема происходит хотя и в широких распластанных, но все-таки более или менее сосредоточенных водных потоках – ручьях. Наблюдения и логика приводят к заключению, что истинно сплошное удаление субстрата возможно (и происходит) лишь при наличии так называемого «капельно-ударного» эффекта, проявляющегося на смоченной осадками поверхности и в более или менее сосредоточенных неглубоких водных потоках (с глубиной ударный эффект капель быстро затухает). Это явление имеет особую физическую природу в сравнении с гидродинамическим взаимодействием водного потока с субстратом, а потому логично выделение его в особый класс явлений денудации. В дальнейшем рассматривается преимущественно ручейковый водороинный смыв и размыв, как наиболее широко распространенное проявление эрозии. (Иногда к эрозии относят и солифлюкцию – течение переувлажненного верхнего слоя субстрата. Кроме того, эффект «сплошного» удаления мелкозема, фиксируемый в виде смытых почв, является также следствием заравнивания промоин при обработке почвы. Очевидно, что это физически совершенно иные процессы в сравнении с гидродинамическим проявлением эрозии, хотя с нею и связанные.)

На поверхности субстрата, орошаемого осадками, с интенсивностью, превышающей интенсивность реальной инфильтрации, начинается водообразование. При этом сначала заполняются бессточные понижения микрорельефа поверхности субстрата, а после их переполнения начинается поверхностный склоновый сток (см. главу 2). По мере увеличения слоя воды возрастает скорость ее течения. По достижении критических значений, определяемых свойствами субстрата, начинается его вынос. Он идет по руслам формирующейся речевой сети (по Е. В. Шанцеру [358], струйчатый, или мелкокрытвинный, смыв), и ширина фронта, на котором происходит вынос в русле, определяется целиком полем критических скоростей потока. При постоянных расходах и свойствах субстрата по руслу ручья формируется водоройна – начальная форма размыва.

Существует обширная эрозиоведческая, геоморфологическая, географическая литература, рассматривающая морфогенез размывов и их классификацию. Из отечественных исследователей разработкой этих вопросов занимались В. А. Киприянов, В. В. Докучаев, В. И. Масальский, С. С. Соболев, А. Ф. Гужевая, А. С. Кесь, А. М. Семенова-Тян-Шанская, Г. В. Занин, М. В. Проничева, Д. Л. Арманд, И. С. Щукин, Е. Ф. Зорина, А. Г. Рожков, В. М. Ивонин, Б. Ф. Косов и другие. Из иностранных исследований особое место занимают работы В. Пенка по эволюции скальных стен–обрывов – важного элемента генезиса рельефа, в том числе эрозионного размыва.

На рис. 3.1-3.3 представлены лишь классификации С. С. Соболева [291] и Д. Л. Арманда [9], в которых с достаточной полнотой учи-




Рис. 3.1. Стадии развития склонов оврага. Формирование осыпи (точки) и превращение обрыва в откос с крутизной, равной углу устойчивого естественного откоса. Горизонтальными штрихами показан овражный аллювий [291, с. 53]

тывается разнообразие форм эрозионного размыва – результата обвального, осыпного и делювиального процессов.

Не останавливаясь в деталях на критике существующих классификаций, отметим общий присущий им всем изъян – недостаточную последовательность генетического (т. е. физического по сути явления) подхода. В силу этого в классификациях имеет место как наруше-

ние очередности появления, так и выпадение тех или иных форм в генетическом ряду. Кроме того, это решающим образом влияет на трактовку генезиса прилегающих к размывам надбровочных склонов и в целом эрозионно-аккумулятивного рельефа (ЭАР), о чем речь ниже.

Недоучет физической сущности явления размыва привел С. С. Соболева к выводу, что «поперечный профиль оврага в первой стадии развития имеет сначала треугольную форму, а затем трапециевидную (И. В. Мушкетов, Ф. П. Саваренский, 1926 г.)» [289, с. 61]. На рис. 3.2 это 1-2-е положения размыва в схеме эволюции его форм.

Между тем у И. В. Мушкетова по этому вопросу сказано: «Хотя вертикальный (видимо, глубинный – Е. Г.) размыв образует в сущности рытвину, шириной равную ширине русла (надо полагать, прямоугольного сечения? – Е. Г.), но собственно такая форма долины сохраняется временно и только в некоторых частях ее, потому что атмосферные агенты тотчас преобразовывают склон и придают поперечному разрезу долины форму V. В области отложения, напротив, вода расширяет бока долины и поперечный ее разрез представляет форму » [236, с. 240]. Таким образом ясно, что первой формой И. В. Мушкетов полагает не треугольную, а прямоугольную (первую на схеме Д. Л. Арманд), треугольная же проявляется лишь между 5-6-ым положениями на схеме С. С. Соболева, а трапецеидальная соответствует 6-му положению (см. рис. 3.2). Другие недостатки схемы С. С. Соболева разбирались Д. Л. Армандом [8] и Г. П. Сурмачем [308].

Отмеченные и некоторые другие обстоятельства побуждают к рассмотрению вопроса с позиций единой концепции. Ее суть в качественном изложении сводится к следующему [76].

Начальная форма струйчатого размыва – водороина, что важно подчеркнуть, имеет плоское дно с вертикальными стенками – обрывами. (При слоистом строении субстрата и наклонном положении литологически неоднородных слоев стенки обрыва могут быть и не вертикальными, а наклонными (параллельными слоистости) или ступенчатыми (см. схему Д. Л. Арманд – рис. 3.3).

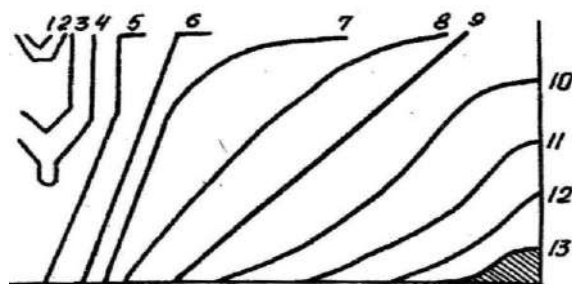


Рис. 3.2. Общая схема развития склонов: оврагов и ущелий (1-6), склонов балок и речных долин (6-13), по С. С. Соболеву [291, с. 75]

Фаза	СКЛОНОВЫЙ ПРОЦЕСС			
	ОБВАЛЬНЫЙ	ОПОЛЗНЕВОЙ	ОСЫПНОЙ	ДЕЛЮВИАЛЬНО-ДЕФОРМАЦИОННЫЙ
Вынос				
Перенос				
Отложение				
Закрепление растительностью	Не закреплен	Местами закреплен	Полузакреплен	Закреплен

Рис. 3.3. Схема эволюции склонов (откосов) оврагов [9]

Таким образом, обрыв – генетически первая (начальная) форма склона «элементарного» первичного эрозионного образования (водороины). С течением времени дно водороины постепенно понижается, а высота стенок-обрывов возрастает (рис. 3.4а; 3.4ж, 1а, 1б).

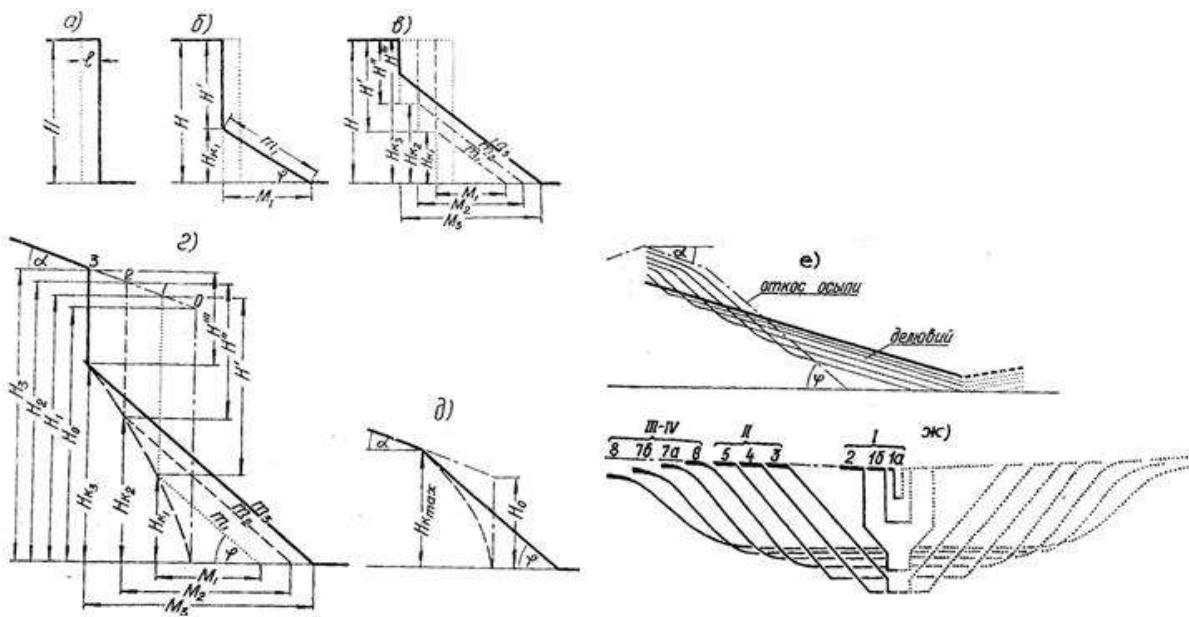


Рис. 3.4. Схема генезиса эрозионной выемки: обрыва (а), осыпи (б), обрывисто-осыпного склона (в, г); превращения обрыва в осыпь (д), осыпного склона в делювиальный (е); стадии эволюции выемки (ж, см. табл. 3.1)

Существование обрыва обусловлено связностью частиц грунта. При ее ослаблении и исчезновении из-за выветривания и по другим причинам обрыв начинает разрушаться. При относительном постоянстве скорости выветривания в единицу времени t разрушается «элементарный» слой постоянной толщины l (рис. 3.4а). Разрушающийся грунт слой за слоем обрушивается и скапливается у основания обрыва в виде

осыпи (рис. 3.4б, в, г). Осыпь – генетически второй тип склона. Она сложена первым типом продуктов аккумуляции – рыхлообломочным материалом, почти полностью выносимым из русла в дальнейшем ходе ЭАП. Важнейшим параметром осыпи является угол естественного откоса φ . Этот угол сохраняет свое постоянство независимо от того, поступает ли на осыпь рыхлообломочный материал или удаляется. Поэтому поверхность осыпи перемещается параллельно самой себе. Силы сцепления между частицами, слагающими осыпь, меньше, чем в консолидированном грунте обрыва, поэтому угол меньше угла наклона обрыва. Особенно резкий контраст в величине этих сил характерен для скальных пород и образующихся из них осыпей. Изменение величины сил связи между частицами грунта происходит скачкообразно, а внешним проявлением этого скачка является перелом поверхности склона по линии контакта осыпи с обрывом (роль перелома как признак качественной «прерывистости» процесса отмечалась В. Пенком [252]). При этом начальная «относительная» высота обрыва (H для исходно горизонтальной на рис. 3.4а, б, в и H_0 – для наклонной «коренной» поверхности грунта на рис. 3.4г) уменьшается до H' , H'' , H''' и т.д. по мере передвижения стенки обрыва от положения 0 к 1, 2, 3 и т. д. Одновременно в грунте с углом наклона исходной поверхности «абсолютная» высота обрыва по мере его разрушения увеличивается от H_0 к H_1 , H_2 , H_3 и т. д. Соответственно увеличивается длина основания осыпи M и ее поверхности m . Отступление обрыва происходит параллельно самому себе с сохранением угла его наклона, т.е. продольный профиль поверхности обрыва имеет вид прямой линии.

Под осыпью погребается неразрушенная коренная часть обрыва, высота которой постепенно увеличивается от нуля в основании исходной поверхности обрыва до величины H_{k1} , H_{k2} , H_{k3} и т. д. Завершается этот процесс, когда поверхность осыпи пересекает поверхность грунта, от которой начинается его размыв. При этом высота неразрушенной части погребаемого осыпью обрыва достигает максимального значения (H_{kmax} на рис. 3.4д), равного относительной высоте исходной поверхности склона в точке его пересечения с поверхностью осыпи. Очевидно: H_{kmax} тем больше, чем больше H_0 , a и меньше φ .

Такова эволюция обрывисто-осыпного склона при отсутствии подрезания основания водным или иным агентом. Предельное значение H_0 и H_{kmax} определяется положением местного базиса эрозии и гидродинамическими свойствами водных потоков. После опускания

дна размыва до базисного уровня развитие осыпи может продолжаться за счет ее подмыва меандрирующим водным потоком. Меандрирование является результатом потери потоком устойчивости в горизонтальной плоскости при достижении им базисной поверхности. Подмыв осыпи приводит снова к образованию обрыва на периферии основания осыпи по тальвегу размыва. Этот обрыв развивается по изображенной на рис. 3.4а-г схеме с той лишь разницей, что наклон «коренной» поверхности совпадает с наклоном осыпи. Образуется педимент, покрытый очень тонким слоем рыхлообломочного материала. Подрезание потоком его основания (и развитие нового обрыва) приводит в конечном счете к «обновлению» поверхности и отступанию ее. При этом угол φ сохраняется, т.е. педимент отступает параллельно самому себе с сохранением наклона и формы (прямолинейной) продольного профиля. Подмываемый потоком грунт вначале удаляется за пределы dna эрозионной выемки, что приводит к его расширению. Поверхность dna при этом является практически горизонтальной в поперечном сечении. В процессе формирования пролювиального «конуса» выноса ниже по течению на базисной поверхности и его попятного продвижения вверх по руслу на дне размыва начинает откладываться пролювиальный нанос. Его поверхность в поперечном к руслу сечении горизонтальна за счет меандрирования отлагающих его потоков. По мере отложения наноса поверхность dna размыва с течением времени поднимается параллельно самой себе (в поперечном сечении), погребая под собой нижнюю часть педимента.

Параллельное отступление поверхности осыпи происходит не только в ходе ее подмыва при опускании dna размыва, но и при оплывах, оползнях, а также за счет сноса (смыва) грунта с нее делювиальными (ручейковыми) потоками. Смыв идет почти равномерно по длине склона, как на откосах отвалов горных выработок, терриконов, насыпей и выемок дорог и т.п. Смытый с осыпного склона материал по достижении установившегося на базисном уровне dna размыва постепенно откладывается у основания осыпи, частично погребая его и образуя более пологий, чем осыпной, аккумулятивный делювиальный (точнее, делювиально-пролювиальный) склон – третий генетический тип склона (рис.3.4е). Схема этого процесса изложена Г. П. Сурмачем [310]. Продольный профиль погребяемого под делювием остатка осыпи является криволинейным выпуклым, а делювиального склона – вогнутым.

По линии пересечения поверхностей делювиального и осыпного склонов образуется излом, как и в месте контакта обрыва и осыпи. Он также является свидетельством изменения качества природных сил и процессов, формирующих эти разные типы склонов.

Изложенное позволяет выделить в развитии размыва классы и типы форм, представленные на рис. 3.4ж и в табл. 3.1.

В предлагаемой классификации разные классы форм размыва определяются соотношением эрозионно-аккумулятивных процессов на разных ступенях (стадиях) их пространственно-временного проявления. Классы включают три основные формы эрозионных размывов (выемок): водоройно-овражную, суходольную (балочную) и долинную. **Подкласс I** включает типы размывов, развивающихся с преимущественным преобладанием процесса эрозионного вреза водного потока в размываемый грунт и выноса продуктов размыва за пределы выемки. На этой стадии размеры размыва увеличиваются как в глубину, так и в ширину. **Подкласс II** объемлет размывы в стадии достижения их дном базисного уровня. Углубление размывов прекращается и даже начинается повышение их дна, но поперечные размеры их продолжают увеличиваться за счет расширения дна и отступления откоса. На этой стадии преобладает транзитный перенос разрушенного грунта со спорадическим (при колебаниях водности потока) отложением его на дне. Иными словами, это переходная стадия от преимущественно эрозионного выноса грунта к его аккумуляции в пределах размыва. **Подкласс III** охватывает стадии развития, определяющие нарастание аккумуляции в размывах. Этот процесс приводит к повышению дна размывов над базисным уровнем и к их расширению до тех пор, пока делювиальный процесс не прекратится при постоянстве базиса и установлении равновесия между эродирующей способностью делювиальных потоков и эрозионной устойчивостью грунтов. При его продолжении формируется **подкласс IV** – долины со специфическими аллювиальными наносами, отлагаемыми постоянными водными потоками в русле и на пойме.

Здесь уместно подчеркнуть, что изменение доли участия эрозионного и аккумулятивного процессов в размывах разных классов не означает простую смену одного процесса другим. Развитие формы размыва сопровождается, как правило, постоянным увеличением площади его поперечного сечения (и объема), т.е. прогрессирующим во времени удалением материала (при постоянстве или понижении базиса эрозии).

Таблица 3.1

Классификация эволюционных форма эрозионных размывов

Эрозионный размыв (выемка)	Эрозионный размыв (выемка)	Тип склонов- откосов * и днищ	Форма размыва и его элементов		Характеристика преобладающих геоморфологических процессов	
			поперечного сечения (про- филя)	в том числе склонов (откосов) дна	на склонах	на дне, в русле и на пойме
Водороин- но-овраж- ный	I: водороина	1 – обрыви- стый	Прямая	Прямая	Прямая	Прогрессирующий эрозионный врез водного потока в коренной грунт, опускание дна, увеличение высоты обрыва, вынос размываемого материала за пределы размыва
	промоина (теснина, ущелье)	2 – обрывисто- осыпной	Прямоуголь- но-треуголь- ная	Вогну- тая	Тре- уголь- ная	Разрешение и отступание обрыва, формирование осыпи
		3 – осыпной подмываемый	Треугольная	Прямая	Прямая	Завершение превращения обрыва в осыпь
Суходоль- ный (балоч- ный)	II: овраг (ущелье, гор- ная долина)	4 – осыпной подмываемый	Трапецеидаль- ная	Прямая	Прямая	Подмыв основания осыпи
		5 – пролюви- ально-осыпной	Трапецеидаль- ная	Прямая	Прямая	Переход от подмыва осыпи к делювиальному смыву ее поверхности
		6 – делювиаль- но-осыпной	Корытообраз- ная	Выпук- ло-вог- нутая	Вогну- тая	Делювиальный смыв, в т.ч. с закруглением бровки
Долинный	IV долина	7 – делювиаль- ный	"-	"-	"-	Отложение делювия-аллювия
		8 – аллюви- альный	"-	"-	"-	Отложение делювия-аллювия

Примечание: Числа в соответствии с рис. 3.4; * при вскрытии грунтовых вод формируется делювий-аллювий.

Формы размыва на разных стадиях его развития являются внешним выражением спонтанного закономерного превращения обрывистого склона в обвально-осыпной и осыпного в пролювиально-делювиальный, делювиальный и аллювиальный. По физической сущности этот процесс означает скачкообразный переход качественно разнородных сил сцепления между частицами консолидированного «монолитного», осыпного грунтов, делювиального и аллювиального наносов. Иначе говоря, сущность скачкообразного изменения качественно разнородных сил сцепления между частицами в монолитном, осыпном, делювиальном и аллювиальном грунтах внешне проявляется и фиксируется в форме склона размыва. (Здесь не рассматриваются морфологические последствия просадочности [134], как и оползания, солифлюкции, ососов [274] и т.п., поскольку они играют подчиненную роль.)

По поводу закономерной спонтанности генетического ряда обрыв – осыпь – делювиальный – аллювиальный склоны заметим, что, хотя он и имеет определенное теоретико-логическое обоснование, но зиждется на реальных (эмпирических) фактах. К нему вполне относится высказывание С. Г. Семеновой: «...это не теория, но и не гипотеза, которая может быть доказана, а может и нет. Тут мы имеем дело с **эмпирическим обобщением**, т.е. с большой суммой точных фактов, не имеющих случаев опровержения. **Спорить против эмпирического обобщения бесполезно**, его можно лишь по-разному истолковать, ставить в те или иные ряды объяснения» [280, с. 5; подчеркнуто мною – Е. Г.]. Это положение вполне согласуется с общими принципами методологии исследований и моделирования.

Как и во всякой другой, в предлагаемой классификации границы между классами и типами форм диалектически относительно, условны. Природа процессов в действительности намного сложнее любой абстрактной схемы, что отнюдь не умаляет ее значения, а наоборот, подчеркивает его, поскольку позволяет выделить общее, существенное в массе частных, случайных отклонений.

Например, хотя формированию осыпи предшествует образование обрыва, в природной обстановке оба процесса идут одновременно, что вызывает кажущуюся инверсию указанных типов форм. Так, на стадии формирования осыпного склона часто происходит новый врез с образованием вторичного обрыва на дне размыва, к которому прислоняется вторичная осыпь. Это приводит к ступенчатости формы поперечного профиля размыва, т.е. к отступлению ее от идеальной

схемы (см. рис. 3.3). Однако эти частные отклонения не изменяют общего правила: форма размыва есть внешнее проявление процесса превращения обрывистого склона в осыпной, а осыпного в пролювиально-делювиальный и аллювиальный.

Возникает вопрос о соотношении предлагаемой классификации с существующими и о «привязке» выделенных типов размыва к реальным объектам. Не останавливаясь детально на этом вопросе, подчеркнем следующее. Ныне известные классификации, например, А. С. Козменко [162] и С. С. Соболева [291], предполагают довольно строгую идентификацию размеров с генетическим типом размывов как естественного (ложбина, лощина, суходол-балка), так и преимущественно антропогенного (водороина, рывина, промоина, овраг) происхождения.

В отличие от существующих предлагаемая классификация хотя в принципе и не исключает такую идентификацию (что и отражено в ней – см. табл. 3.1, рис. 1.2), но полагает типизацию размывов не по их линейным размерам, а по форме, генетически адекватной формообразующему процессу. Иными словами, водороина, линейные размеры которой измеряются сантиметрами и десятками сантиметров, может в своей эволюции последовательно пройти все семь стадий-типов, превратившись в делювиальную микроложбину. Та же водороина с течением времени по мере увеличения ее размеров, превращаясь последовательно в рывину, промоину, овраг, завершит свое развитие ложбиной с линейными размерами, измеряемыми десятками и даже сотнями метров. Иными словами, классификационным признаком размывов являются не их размеры, а форма, определяемая сущностью геоморфологического процесса, но не его масштабом. Если размывы имеют отвесные стенки и плоское дно, то независимо от того, называются ли они водороиной-промоиной, оврагом или горным ущельем и измеряются ли их линейные размеры сантиметрами или сотнями метров, все эти столь разные по размерам образования в сущности генетически одинаковы, т.е. имеют качественно одну и ту же природу формообразующего процесса, а потому объединяются одним (первым) типом. То же самое можно сказать о втором типе. Независимо от того, идет ли процесс разрушения обрыва и формирования осыпи в образованной дождем мельчайшей водороине или у подножия уступа высотой в сотни метров, сущность, природа процессов и форма, в которую они «отливаются», при этом остаются одинаковыми.

Что касается эволюции форм современных размывов – промоин и оврагов, – то в соответствии с изложенной классификацией самые

«зрелые» из существующих сейчас форм соответствуют 4 и 5-му типам. Относительно превращения их в формы 6 и 7-го типов можно сказать определенно, что оно возможно лишь при осуществлении делювиального смыва мелкозема с осыпных откосов оврагов и прилегающих склонов водосбора.

Аллювиальный процесс в настоящей работе почти не рассматривается. Деятельности постоянных водных потоков посвящена огромная отечественная и зарубежная литература с древнейших времен и до наших дней. С учением о гидрологической и эрозионно-аккумулятивной деятельности рек связаны имена известных ученых прошлого и настоящего: К. М. Бэр, В. В. Докучаев, Р. Хортон, М. А. Великанов, П. С. Кузин, Д. Л. Соколовский, Г. И. Шамов, А. И. Чеботарев, В. М. Маккавеев, Н. И. Маккавеев, А. В. Караушев, Р. С. Чалов, Н. А. Ржаницын и другие.

Не вдаваясь в специальные вопросы речной гидрологии, движения и формирования наносов, отметим лишь то важное обстоятельство, что деятельность постоянных водных потоков связана с работой так называемых «временных» потоков. Качественно-генетически это суть единый процесс. Об этом, в частности, свидетельствует внешнеформальное сходство рисунка гидрографической сети и контуров наносов на наземных и аэрофотографиях «временных» ручейковых систем с контурами речных систем и их аллювиальных дельт на снимках из космоса, особенно в аридных условиях и горных странах. Формы сечения русел, донные гряды, пойменные отложения, дельты и конусы выноса, меандры и т.п., несмотря на большие (несколько порядков) количественные различия, отличаются поразительным единообразием для микро-, мезо- и макроводосборов, их склонов и русел.

Суходольно-долинная стадия. Промоинно-овражные образования, рассмотренные выше, включены в единый класс и, таким образом, отделены от суходольно-долинного (лощинно-балочно-долинного) не случайно. Переход собственно овражного процесса, в котором ведущую роль играют обвальное-осыпные явления, в следующий – III подкласс с проявлением делювиального процесса – нуждается в специальном пояснении, имеющем принципиальный характер.

С появлением работ А. С. Козменко (примерно с 1908 г.) в теорию ЭАП было введено понятие «антропогенной», «сельскохозяйственной» (современной) эрозии в отличие от «естественной» (древней). Суть его в том, что формирование рельефа в плейстоцене про-

исходило главным образом в связи с периодами оледенения, сопровождавшимися исчезновением или сильнейшим подавлением растительности. В межледниковья вместе с расселением растительности ЭАП сильно ослаблялся или даже затухал полностью [161, 163, 306].

До А. С. Козменко в геоморфологической и геологической литературе безраздельно господствовало воззрение о перманентно эволюционном развитии форм эрозионно-аккумулятивного рельефа, хотя цикличность ЭАП и роль растительности как противоэрозионного фактора была известна. В соответствии с этим полагалось, что естественный («нормальный», «геологический») ЭАП может усиливаться или ослабляться, в том числе вследствие антропогенного вмешательства («ускоренный», «разрушительный» ЭАП), никогда не прекращаясь полностью. «Нормальная эрозия наблюдается в районах, поверхность которых покрыта естественной растительностью, не измененной хозяйственной деятельностью человека (распашкой, чрезмерным выпасом)» [291, с. 7]. На этом основании концепция А. С. Козменко объявлялась по существу метафизической как противоречащая идее никогда не прекращающегося развития рельефа [348].

Как тот, так и другой подходы имеют своих сторонников. Не вдаваясь в детальный анализ существа вопроса, остановимся на фактах и положениях, позволяющих, если и не снять полностью, то значительно смягчить противоречия обоих подходов.

1. Представляется очевидным, что превращение форм овражного размыва в лощинно-балочный с закруглением бровок и формированием вогнутого профиля аккумулятивных преимущественно делювиальных наносов возможно лишь при беспрепятственном течении делювиального процесса не только на откосах оврагов, но и на надбровочных склонах.

При этом закругление бровок и формирование выпуклой верхней части лощинно-балочных склонов (берегов, по А. С. Козменко) происходит за счет эрозии – выноса субстрата, а вогнутых подножий – за счет аккумуляции. Таким образом берега лощин и балок постепенно от крутых с «естественным» углом наклона осыпей переходят в пологие почти нацело пролювиально-делювиальные «шлейфы» подножий балочных склонов и дна гидрографической сети.

2. Делювиальный процесс – мелкоструйчатый размыв и «пластовый» («плоскостной», сплошной) смыл – в природе осуществляется лишь при отсутствии сомкнутого растительного травянистого или

лесного покровов, формирующих степной войлок и лесную подстилку, исключая эрозию. Необходимость пустынной обстановки для беспрепятственного течения делювиального процесса осознавалась уже А. П. Павловым [244]. Имеющиеся экспериментальные данные по оценке стока и смыва на девственной травянистой целине и в естественном лесу как на стоковых площадках, так и на водосборах целых лощин однозначно свидетельствуют о полном (или «практически» полном) отсутствии выноса мелкозема со склонов.

Вместе с тем на территориях, где в современных физико-географических и биоклиматических условиях растительность отсутствует или крайне разрежена (высокогорные, приполярные пустыни и экстрааридные районы), естественный ЭАП идет с максимальной возможной интенсивностью, целиком определяемой естественными условиями. На карте глобального выноса с суши [102] такие районы приурочены главным образом к горным странам (рис. 3.5).

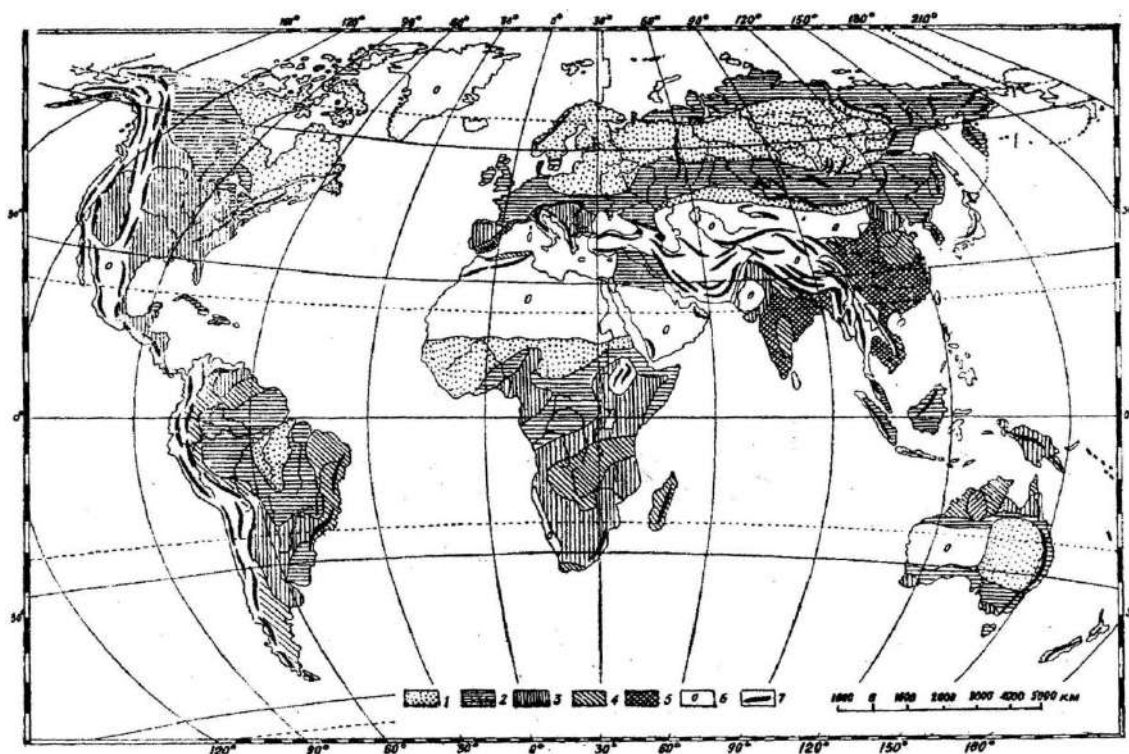


Рис. 3.5. Карта глобального выноса продуктов денудации суши [102]

3. Слабо закругленные бровки древних размывов валдайского времени, так называемых «рвов» III-го (верхнечетвертичного) цикла эрозии на Приволжской возвышенности, зафиксированных расселе-

нием растительности в голоцене, подтверждают оценку роли биоклиматического фактора, сделанную А.С. Козменко [162, 163].

4. По нашим наблюдениям, в местностях, где полностью прекращен видимый рост оврагов вследствие проведения противоэрозионных мероприятий (ОПХ Новосильской ЗАГЛОС, совхоз «Сабуровский» в Орловской обл.; Клетский опорный пункт ВНИАЛМИ в Волгоградской обл.; совхоз «Новоникулинский» Ульяновской обл. и в других местах), за 30-50 лет ни разу не отмечалось сколько-нибудь заметного делювиального закругления бровок. Упомянутые в литературе случаи закругления бровок современных размывов при налегании пласта дернины на откос размыва скорее подтверждают взгляды А. С. Козменко, нежели их отрицают. «Стаптывание» бровок копытами животных хотя и происходит, но геоморфологический его эффект совершенно ничтожен. В аридных условиях отмечается «настоящее» закругление бровок как вследствие ударного действия капель, так и воздействия склоновых делювирующих потоков. В умеренной зоне это явление обычно наблюдается на микроводоразделах делювиальных русел и лишь в течение того короткого времени, пока они не покрылись растительностью. Это закругление есть результат главным образом ударного действия капель дождя и лишь отчасти микросолифлюкции.

Таким образом, мы разделяем точку зрения А. С. Козменко и Г. П. Сурмача о необходимости и целесообразности выделения современных антропогенных форм размыва и биоклиматически ограниченных возможностях их эволюции в лощинно-балочные формы. Однако в естественном ряду форм стадию овражного размыва необходимо считать предшествующей лощинно-балочной, а по качественной сути и внешним формам не отличающейся от естественной. Такое понимание вопроса позволяет, с одной стороны, уяснить естественный генезис форм гидрографической сети, а с другой – правильно решать вопросы борьбы с современной эрозией и давать ее прогноз, в том числе геоморфологический, а также строить обоснованную систему лесомелиоративных мероприятий с учетом стадии развития оврагов, особенностей строения гидрографической сети и процессов в долинах рек. Так, дифференциация элементов оврагов по лесорастительным условиям известна, но знание их генезиса вскрывает ряд дополнительных нюансов. В частности, слоистость донных отложений оврагов благоприятствует улучшению лесорастительных условий, что отмечено на гидрографической сети и водоразделах [313]. Поступление рыхлообломочного мате-

риала на осыпь дает тот же эффект [127]. Что касается обрывов, то их бесплодие обусловлено не только худшим тепловым и водным режимом, а главным образом – обрушиванием грунта. Однако обрывы, сложенные твердыми породами, вполне лесопригодны.

3.1.2. Эволюция надбровочных склонов

Надбровочные склоны формируются сносом субстрата преимущественно делювиальными мелкоструйчатыми водными потоками, сосредоточенными в мельчайших, мелких и средней величины руслах [377, 378] в поперечнике от долей до обычно первых десятков сантиметров, а также сплошным пластовым («плоскостным») смывом при взмучивании частиц мелкозема в воде ударным действием дождевых капель [100, 115, 363]. Некоторую роль играет и солифлюкция – течение оттаявшего переувлажненного субстрата, особенно на крутых склонах и откосах размывов (промоин). Крип – сплошное «массовое» медленное «течение» верхней толщи грунтов [91, 157, 252], на наш взгляд, проявляется лишь в геологических масштабах времени. Его морфогенетический эффект на приводораздельных и даже присетевых склонах весьма проблематичен, в чем мы согласны с Е. В. Шанцером [358].

По нашему мнению, физическая суть эрозионного процесса при мелкоструйчатом (делювиальном) размыве и в крупных руслах (промоины, овраги) качественно одна и та же. Наиболее существенным различием является частота заложения русл. Для линейных понижений рельефа – ложбин, лощин, балок – частота заложения обычно измеряется единицами на десятки, сотни и даже тысячи метров простирания склонов. На надбровочных склонах и откосах частота размывов обычно измеряется десятками на погонный метр простирания (рис. 3.6). Первоначально отвесные стенки водороин за счет обвального-осыпного процесса становятся наклонными, водороины в поперечном сечении принимают треугольные очертания. Их углубление за счет размыва неминуемо приводит к образованию гребней между водороинами и общему понижению отметок поверхности склонов наподобие «пластового» смыва при «капельной» деструкции.

Наиболее важным и сложным в генезисе надбровочных склонов является их форма (особенно выпуклая) как результат делювиального смыва. Ни одно из имеющихся объяснений [252, 291, 327], на наш взгляд, не является вполне удовлетворительным. Трудность решения

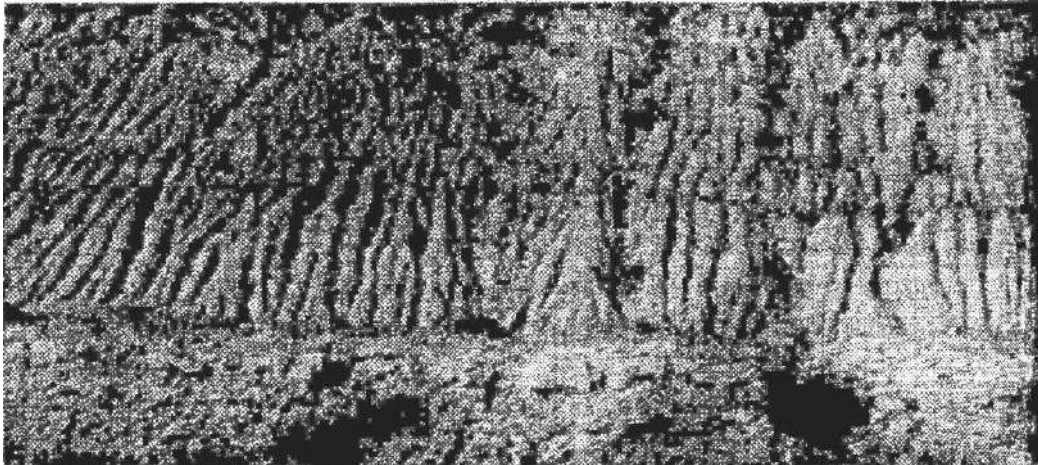


Рис. 3.6. Делювиальный смыв на откосе дорожного кювета. Фото А. В. Прахова

задачи состоит в том, что процесс эволюции склонов вследствие смыва, в отличие от эрозионных выемок, трудно поддается прямому наблюдению, а потому оценка его геоморфологических последствий осложнена. Экспериментальные оценки смыва и определения смытости почв («исторический» смыв) дают противоречивый материал [359], обобщение которого сильно затруднено не только разнообразием методов и условий его получения, многофакторностью процесса, но и спецификой антропогенного проявления. Перед исследователем возникает сложная задача взаимосвязанного объяснения, во-первых, антропогенного смыва естественными причинами (в том числе формой склонов), а во-вторых, естественного смыва (и обусловленного им генезиса надбровочных склонов) на основе анализа природы смыва антропогенного.

Выход из положения видится в эргодическом подходе, при котором суждение о временной эволюции форм надбровочных склонов выносится на основе анализа их пространственных «древних» форм. Кроме того, используется принцип конформизма (актуализма), согласно которому физическая природа процесса едина как в древнее время, так и в современную эпоху.

Суть дела в следующем. Известно [308], что на значительной части Русской равнины и других регионов довалдайский рельеф характеризовался господством преимущественно вогнутых поверхностей делювиальных шлейфов, сложенных лёссами и лёссовидными породами. Суходольно-балочная и долинная сеть в бассейнах, по крайней мере, малых рек (т.е. на преобладающей части водосборов)

была слабо выражена и не имела четких бровок (за исключением коренных берегов речных долин).

Считается также [308], что в валдайскую эпоху произошел значительный врез гидрографической сети, сильное расчленение ею территории, разрушение и вынос значительных масс довалдайских лёссов и образование в предголоцене рельефа в его основных чертах, сохранившихся доныне. И если относительно возраста некоторых форм донного вреза имеются разногласия, то возраст прилегающих к ложинно-суходольной сети склонов оценивается специалистами единодушно как валдайский. Характерной особенностью этого рельефа является закругленность бровок гидрографического звена и наличие выпуклых присетевых (а в ложбинной части – и приводораздельных) склонов. Таким образом, наиболее молодые в геологическом масштабе времени поверхности склонов (прибровочные, присетевые), образованные эрозионным процессом, являются выпуклыми. Их выпуклость обусловлена действием, по меньшей мере, двух физических процессов – капельно-ударного сглаживания (закругления) бровок и делювиального сноса (смыва) субстрата нарастающей от водораздела по падению склона массой водных потоков. С учетом изложенного это позволяет представить единую картину эволюции над- и подбровочных склонов. На рис. 3.7 приведена совокупность выпуклых склонов на разных отрезках гидрографического ствола – от ложбины до устья балки. Такой профиль склонов, по личным наблюдениям автора в природе и анализу топокарт, типичен для большей части Среднерусской возвышенности, Окско-Донской низменности, Донской гряды, Приволжской возвышенности и многих других относительно возвышенных территорий. И даже в районах Юго-Востока, бывших вне пределов перигляциальной зоны валдайского оледенения и сохранивших в значительной степени свой прежний облик, непосредственно примыкающие к древнему донному размыву вогнутые склоны делювиальных шлейфов имеют заметную на глаз выпуклость, особенно в нижних звеньях суходольной гидрографической сети (балка Ельшанка, река С. Мечетка в Волгограде и его окрестностях, Ергени в Калмыкии, низовья Дона, юг Украины, Приазовье и др.).

Эти факты, а также некоторые теоретические соображения приводят к заключению о том, что делювиальный смыв при постоянном уклоне идет с нарастанием интенсивности и обуславливает формирование выпуклых склонов. Этот постулат снимает необходимость слож-

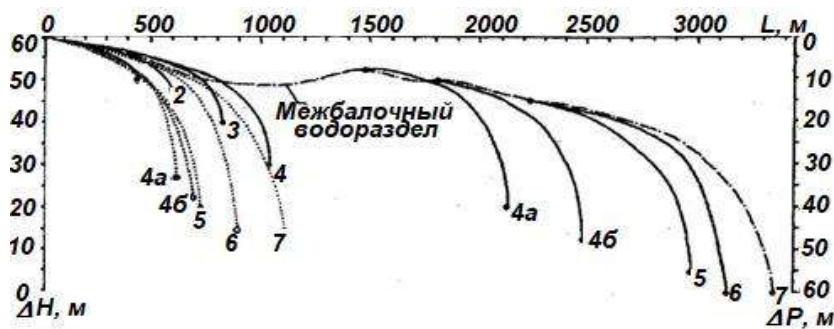


Рис. 3.7. Продольные профили выпуклых склонов. Колхоз им. Горького Медвенского р-на Курской обл.

ного и малоубедительного объяснения генезиса выпуклых склонов сочетанием размыва и подмыва [308], ибо не объясняет выпуклость приводораздельного профиля, а также подвергает сомнению некоторые экзотические объяснения явления (разуплотнение горных пород [327]), которые если и имеют, то лишь локальное значение.

Изложенное позволяет перейти к генезису форм ЭАР с единых физических и морфогенетических позиций.

3.1.3. Эволюция форм эрозионно-аккумулятивного рельефа

Логико-графическая модель. Эволюция над- и подбровочных склонов в ходе ЭАП, выражающегося в виде размыва, делювиального сноса (мелкоструйчатого сосредоточенного размыв и пластового сосредоточенного смыва) и аккумуляции наносов в совокупности и образуют феномен эволюции ЭАР. Внешние его контуры определяются формой склонов, которые отражают соответствующее внутреннее (геологическое) строение территории.

Генезису форм склонов и рельефа, в том числе ЭАР, посвящена большая литература. На рис. 3.8-3.10 представлена пользующаяся широкой известностью лишь часть схем генезиса форм склонов и заключительный этап их эволюции. В ранних публикациях заслуживает внимания схема В. И. Мушкетова [236]. Известны также схемы Лусона, Болига [38]. Из работ последних лет, в том числе широко использующих методы математического моделирования при рассмотрении генезиса форм склонов, следует упомянуть работы А. С. Девдариани [101], А. М. Трофимова и В. М. Московкина [328], А. В. Позднякова [260], С. С. Воскресенского [66] и других. Зарубежные исследователи (W. E. H. Culling [369] и другие [371, 376, 386]) также уделяют этому вопросу серьезное внимание. Наиболее известными и признанными до сих пор считаются схемы генезиса ЭАР и склонов В. Дэ-

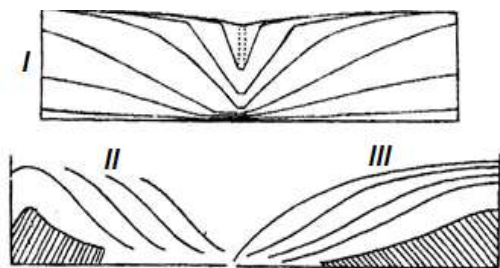


Рис. 3.8. Схемы развития склонов: Дэвиса(I), Пенка(II), Литтла(III), по [195, 290]

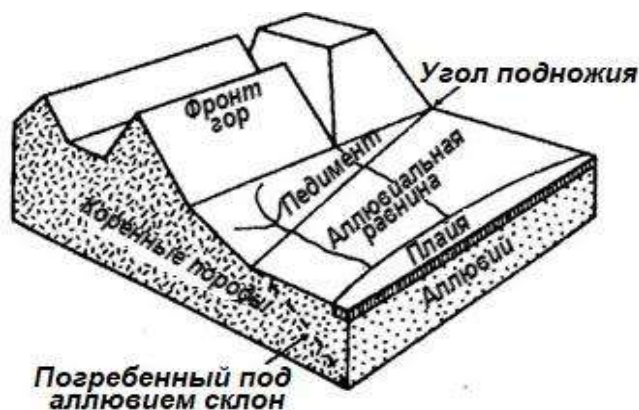


Рис. 3.9. Типичные формы рельефа пустынь [183, с. 147]



Рис. 3.10. Основные генетические элементы формы склона (А. Wood [155, с. 109])

виса, В. Пенка и В. В. Докучаева [271]. Известны также схемы А. С. Козменко [162] и Г. П. Сурмача [308], особую привлекательность которых составляет идея единства генезиса внешних форм склонов и связанных с ними продуктов аккумуляции – делювиальных (лессовых в том числе) покровных пород. Наиболее общим и существенным моментом многих известных схем является наличие выпукло-вогнутого профиля поверхности склонов. Обстоятельный анализ разных схем выполнен в капитальном труде Л. Кинга [155] и работах Г. П. Сурмача [308, 313]. Они разделяют концепцию В. Пенка о субпараллельном отступании склонов делювиального сноса. Л. Кинг, кроме того, разделяет точку зрения А. Вуда (А. Wood [155], см. рис. 3.10). Он отвергает, по сути, концепцию развития рельефа «сверху» В. Дэвиса [111], хотя значительное снижение в ходе денудации отметок поверхности территории особенно горных стран, бесспорно.

Развитие рельефа «сбоку» и «сверху». Е. В. Шанцер [358], правильно отметив своеобразие, специфику генезиса склонов при наличии приводораздельного плато и его отсутствии (замещении гребнем), не подчеркнул их общности, а это существенно важно для понимания различий и сходства концепций Дэвиса, и Пенка. Общим является то, что даже при наличии гребня формирующийся профиль склона нередко является выпукло-вогнутым с сильно редуцированной выпуклой окологребневой частью. Недооценка этого обстоятельства приводит к выпадению вогнутых склонов горных хребтов (при наличии гребней), а в ряде случаев и пенепленов возвышенностей, из общего ряда эрозионно-аккумулятивных форм.

С другой стороны, недооценка значения феномена образования гребней чревата опасностью принципиальной несоединимости концепций Дэвиса и Пенка. Между тем они совершенно естественно и существенно дополняют одна другую. Дело в том, что гребни образуются лишь при вполне определенном сочетании частоты заложения и глубины эрозионных выемок. Нами показано [84], что это соотношение определяется геоморфологическим критерием

$$K_G = (2\Delta H/B_t) \leq tg\varphi, \quad (3.1)$$

где ΔH – глубина залегания местного базиса эрозии (разность высот водораздела и тальвега); B_m – расстояние между тальвегами.

Аналогичное по сути соотношение было отмечено еще И. В. Мушкетовым [236], но не получило правильного объяснения. Необходимым условием образования гребней является формирование обвально-осыпного склона по всей его длине, что верно отмечено также А. В. Поздняковым [260]. Геоморфологически оно имеет то последствие, что при продолжающемся эрозионном врезе происходит вынос материала осыпи и значительное понижение отметок исходной денудируемой поверхности, несопоставимо большее в сравнении с опусканием приводораздельных плато за счет делювиального сноса, отсутствующего у водораздела практически нацело. Понижение территории в ходе ЭАП и есть тот феномен развития («опускания») рельефа «сверху», сторонником которого был Дэвис.

Именно это объясняет грандиозный вынос субстрата в горных странах и огромное (сотни и тысячи метров) опускание их поверхности в результате денудации. И, таким образом, развитие рельефа «сверху» (по Дэвису) невозможно объяснить, не принимая во внимание параллельное отступление склонов «сбоку» (по Пенку) при осыпа-

нии субстрата. Соотношение же (3.1) и является критерием, который определяет развитие ЭАР преимущественно «по Дэвису» ($K_G = tg\varphi$) или «по Пенку» ($K_G < tg\varphi$).

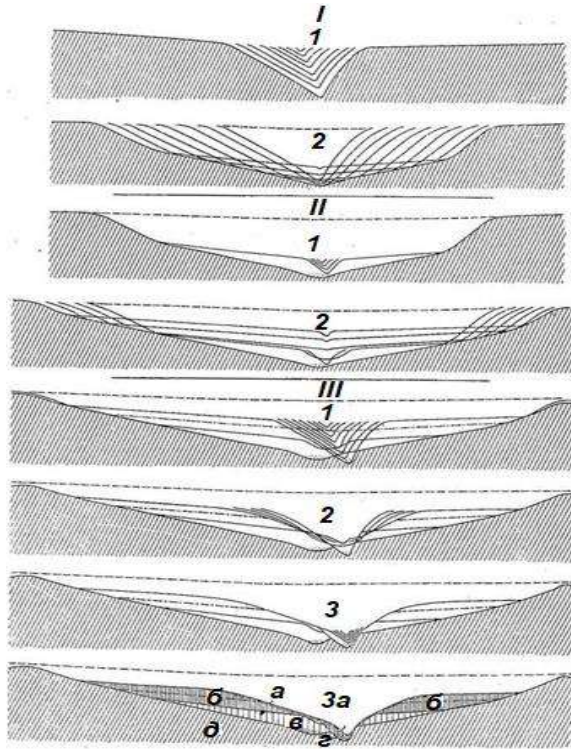


Рис. 3.11. Схема формирования склонов и покровных отложений в плейстоцене [308]

Одной из наиболее совершенных схем генезиса ЭАР равнин, на наш взгляд, является схема Г. П. Сурмача (рис. 3.11). Ее достоинство заключается в синтезе геоморфологического и биоклиматического подходов.

Вместе с тем, несмотря на большое разнообразие подходов к проблеме генезиса ЭАР, ее решение далеко от завершения. Требуется дальнейший анализ и синтез научных фактов с позиций единого генетического подхода. Основанная на изложенных в разделах 3.1.1-3.1.2 фактах и соображениях общая схема генезиса форм ЭАР представлена на рис. 3.12. Формирование гидрографической сети и прилегающих склонов иллюстрируется блок-диаграммой (рис. 3.13). Наиболее существенно, что

в ходе ЭАП исходная почти горизонтальная и плоская поверхность (водосбор типа «раскрытая книга»), поднятая над базисом денудации, приобретает сложную трехмерную конфигурацию по падению склонов и тальвегов и проекциям горизонталей.

Исходная относительно простая форма территории в рамках одного эрозионно-аккумулятивного цикла (ЭАЦ) сначала усложняется (появление линейного размыва, обвального-осыпных склонов, моделирование надбровочных склонов смывом, формирование делювиально-пролювиальных и аллювиальных отложений и т.д.), а затем упрощается с переходом в «предельную» денудационно-аккумулятивную «почтиравнину» – пенепедилен, возвращаясь как бы в исходное состояние. При изменении физико-географических условий и положения базиса эрозии рельеф получает новый стимул к развитию и ЭАП

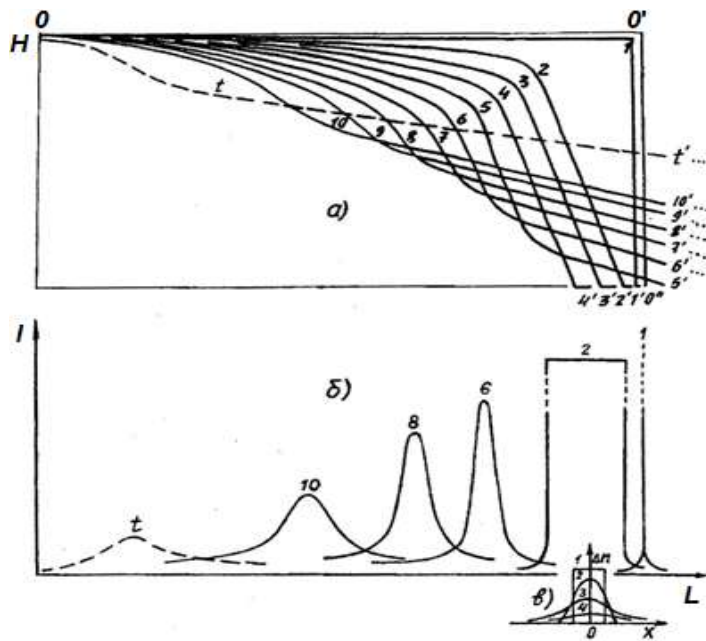
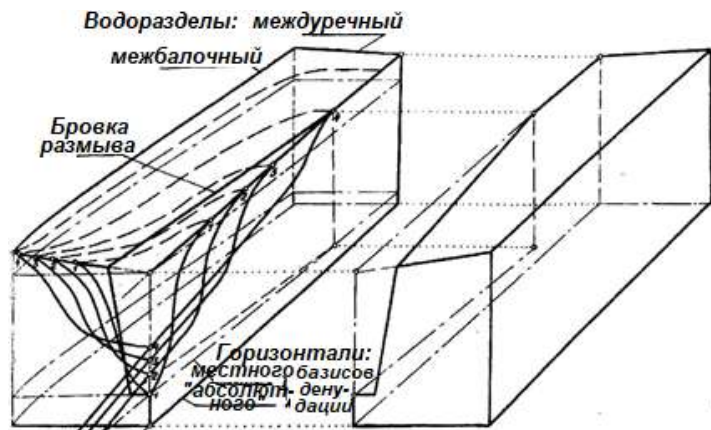


Рис. 3.12. Логико-графическая схема эволюции отметок $H(a)$ и уклонов $I(b)$ поверхности склона в ходе ЭАП. Диффузия избыточных носителей с поверхности субстрата (в, [197]): 0-1-1...0- $t-t'$ – временные этапы эволюции

Рис. 3.13. Принципиальная схема пространственно-временной монотонической эволюции форм рельефа: 1-4 – последовательные положения линий тальвега, продольных профилей склонов и горизонталей на разных этапах ЭАП [79]



возобновляется, т.е. в общих чертах повторяется предшествующий ЭАЦ. При этом созданные прежде формы в той или иной степени исчезают или образуются на новых, обычно гипсометрически более низких уровнях. На Русской равнине рельеф несет на себе печать нескольких (3-4 и более) ЭАЦ.

Эволюция формы горизонталей в ходе ЭАЦ представлена предельно упрощенной и абстрагированной («идеальной») схемой (рис. 3.14а). В действительности дело обстоит намного сложнее за счет приходящих факторов (неоднородность субстрата, отклонение оси размыва от прямой, смещение и разветвление водотоков из-за подмыва и разницы в степени выветривания субстрата, перерывы и инверсии ЭАП и т.п.). Однако эта схема отражает наиболее общую тенденцию, а потому хорошо согласуется с реальными объектами (рис. 3.14б).

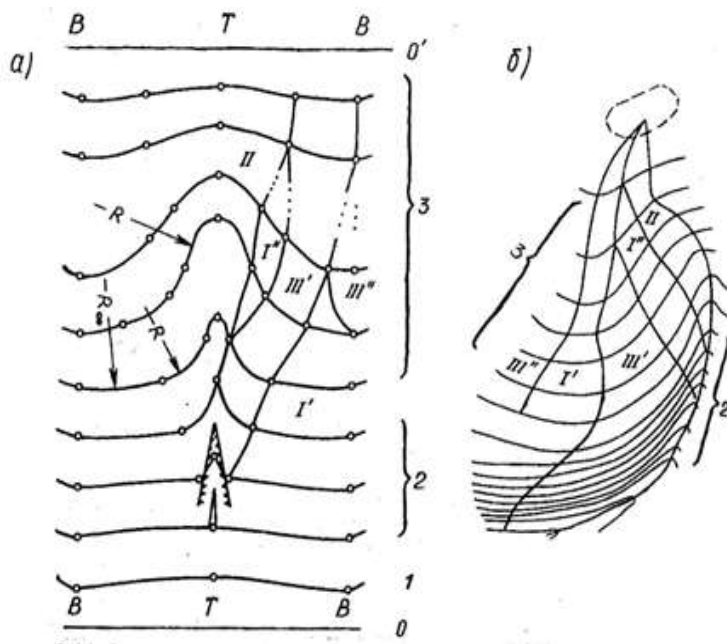


Рис. 3.14. Схема эволюции формы горизонталей в ходе ЭАП: а – идеализированная форма (0, 1, 2, 3, 0' – временные этапы); б – фрагмент лоцинного водосбора (ур. Слобода; Среднерусская возвышенность, территория ОПХ Новосильской ЗАГЛОС Орловской обл.); I – нейтральные, II – собирающие, III – рассеивающие сток контуры склонов [79]

Не вдаваясь в детали, отметим, что любая горизонталь имеет характерные точки – точки экстремумов (минимум соответствует положению межлоцинного водораздела B , максимум – тальвегу лоцины T), перегиба и перехода от положительной кривизны к отрицательной и к нейтральным склонам нулевой кривизны R с бесконечно большим радиусом. Установлено, что наличие этих точек тесно связано с физической (гидродинамической) природой ЭАП и их возникновение и исчезновение обусловлено его этапом. В свою очередь, это приводит к строго определенной форме горизонталей, в т. ч. в математическом смысле этого понятия, что облегчает их формализацию и выражение в виде логистической функции [77]. Этот отдельный сложный вопрос здесь далее не обсуждается.

В соответствии с рис. 3.13 и 3.14а продольный профиль склонов эволюционирует от исходно прямого к выпуклому, выпукловогнутому, вогнутому как предельному случаю выпукловогнутого. Это вполне согласуется со схемой Р. С. Ильина [140] и с утверждением Д. Л. Арманда, что «весь склон от водораздела до тальвега (т.е. включая как надбровочный склон водосбора, так и склон долины) ...всегда будет выпукловогнутым» [12, с. 62]. При этом горизонтали меняют свою форму от почти прямых (с обычно незначительными изломами) линий с равномерным расстоянием между ними к s-образно изогнутым и снова почти прямым. По поверхности склона от бровки размыва (балки) субпараллельно оси балки к межбалочному водораз-

делу (и от бровки долины к междуречью) перемещается волна сгущений горизонталей, соответствующая выпуклой (наиболее крутой) части склона (рис. 3.15). Выпуклая часть склона формируется эрозией, вогнутая – аккумуляцией.

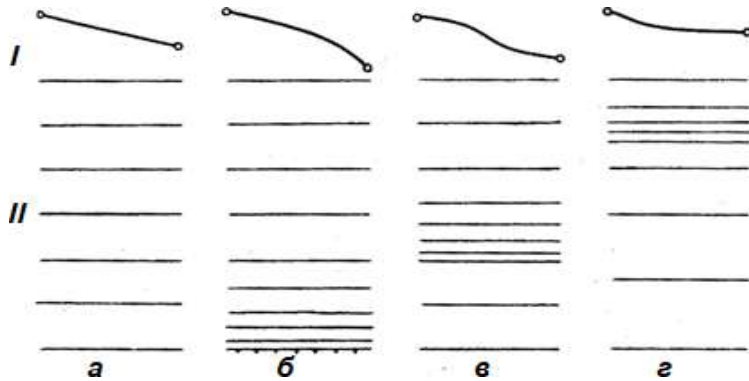


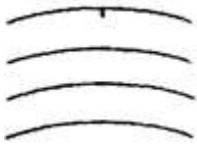
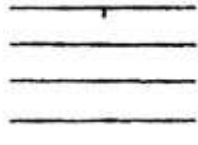
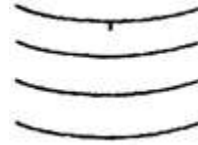
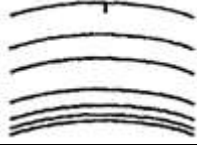
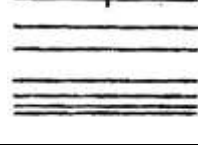
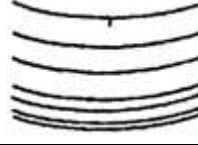
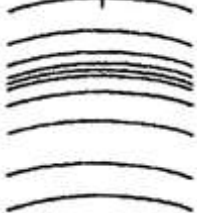
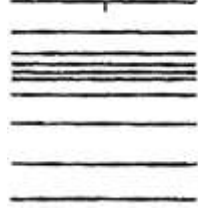
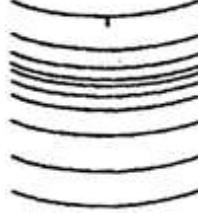


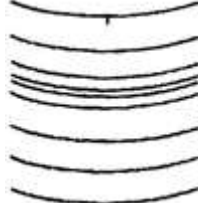
Рис. 3.15. Пространственно-временная эволюция формы продольного профиля склона (I) и ее изображение на плане горизонталей (II): а – прямая, б – выпуклая, в – выпукловогнутая, г – вогнутая [79]

Схема эволюции формы продольных профилей склонов (рис. 3.15) выполнена при отсутствии лоцинных ответвлений от основного балочного ствола (изображенного бровкой), т.е. для единичной неразветвленной балки, впадающей в речную долину. При этом, естественно, отсутствует изгиб горизонталей, и они параллельны между собой. В действительности приречные и межбалочные склоны расчленены вторичной и более высокого порядка суходольной гидрографической сетью, что и обуславливает изгиб и непараллельность горизонталей в плане. Иными словами, одномерный вариант рис. 3.15 превращается в многомерный, если мерой полагать порядок ветвления сети. При этом формируется порою чрезвычайно сложная картина рельефа склонов.

Однако, как бы сложна она ни была, в рамках развиваемого подхода всегда представляется возможным выделить на территории (топокарте) генетически однородные по эрозионно-гидрологическим условиям поверхности склонов. Основными типами таких поверхностей в поперечном профиле (субпараллельно основному гидрографическому стволу или субперпендикулярно его ответвлению) являются поверхности (рис. 3.14, табл. 3.2): одностороннего падения – нейтральные (рис. 3.14, Г', Г'') и разностороннего падения – собирающие (II) и рассеивающие (III', III''). В совокупности они и образуют объекты, охватываемые понятием водосбора. (Оно неразрывно связано с наличием понижения – гидрографического ствола, к которому тяготеют прилегающие склоны. Если «оторвать» склон от ближайшего гидрографического ствола, то пространство, примыкающее с двух

Таблица 3.2

Классификация склонов по форме продольного профиля и кривизне горизонталей (наименования на пересечении строк и столбцов)

Форма продольного профиля склона	Кривизна горизонталей с выпуклостью		
	кверху (собирающие склоны)	без выпуклости (нейтральные склоны)	книзу (рассеивающие склоны)
Прямой			
Выпуклый			
Выпукло-вогнутый			
Вогнутый			

Примечание. Классификация может быть расширена введением вариантов с непараллельными горизонталями и сложными (полициклическими) поверхностями: моноциклический прямой выпукло-параллельный; би-, три-, тетрациклический вогнутый нейтрально-непараллельный и т. д.

сторон к водоразделу, будет не (водо)сбором, а (водо)рассеивателем, «водоразделителем». В этом проявляется диалектическое единство и противоположность водоразделов и тальвегов, их генетическая разнокачественность (полярность). В этом смысле вектор линии тока в любой точке на склоне разлагается на две составляющие: «водосборную» – к оси ближайшего гидрографического ствола – и «водораздельную» – к оси гидрографического ствола более низкого порядка.) Соотношение (доля) этих поверхностей определяется в первую очередь частотой расчленения территории гидрографической сетью. Чем чаще она расчленена, тем меньшая доля приходится на нейтральные и

большая – на собирающие и рассеивающие (замещающие исходно нейтральные). Вместе с увеличением частоты расчленения происходит все больший отход горизонталей от исходно параллельных.

Поскольку частота явно выраженного расчленения обычно связана с его глубиной, то на относительно низменных территориях, как правило, имеет место параллельность горизонталей и их малая кривизна, а на возвышенных – непараллельность и большее искривление. В пределах же геоморфологически и тектонически однородных территорий параллельность и малая кривизна горизонталей чаще всего приурочены к водоразделам и подножиям выпукло-вогнутых склонов (в т.ч. к террасам долин).

Таким образом, изложенные даже в самых общих чертах положения генезиса рельефа в результате ЭАП дают возможность получить не только качественные, но и некоторые количественные характеристики склонов разной формы, важные для прикладных целей. Применительно к задачам противоэрозионной мелиорации вообще и лесомелиорации в частности знание генезиса рельефа позволяет обоснованно решать вопрос о назначении и трассировании лесных полос и куртинных насаждений.

Генезис элементарного водосбора. Ландшафтный подход в лесомелиорации предполагает оперирование водосбором как элементарной территориальной единицей.

Общепринятые схемы расчета ЭАП реализуются для продольных профилей склонов. Они не позволяют оценить величину ЭАП для поверхности склона и особенно для водосбора. Попытки в той или иной степени учесть поперечный профиль поверхности склона [191, 192, 203] не отвечают требованию универсальности. Необходима модель расчета ЭАП для целостного водосбора. Это ставит задачу определения так называемого элементарного водосбора (ЭВ). С учетом иерархичности водосборов (большие, средние, малые реки, суходольно-лощинная, ложбинная сеть) представляется логичным выделять ЭВ (репрезентативные) для каждого уровня. Однако для больших рек (Днепр, Дон, Волга и т.п.), охватывающих огромный диапазон климатических, геологических, геоморфологических и др. условий, понятие репрезентативности ввести невозможно в силу уникальности таких систем. То же относится и к средним, а также к значительной части так называемых малых рек. По нашему мнению, постановка задачи по определению репрезентативного ЭВ приобретает смысл начиная с

уровня суходольной (балочной) сети. Вместе с тем большое разнообразие форм водосборов затрудняет классификацию, которая, как правило, ограничивается лишь чисто качественным описанием их очертаний [129]. Количественные характеристики морфометрических показателей – площади, протяженности тальвегов и т.д. [144], – конечно, дают представление о законах их распределения, но выбор репрезентативного водосбора по ним приводит к такому сочетанию распределения характеристик, которое может вообще не встретиться в реальных условиях или встретиться в единичных случаях. Кроме того, даже если такой водосбор выбрать или «сконструировать», то результаты расчетов на нем не могут быть перенесены не только на речной водосбор, но и на любую другую балочную систему, каждая из которых по-своему уникальна, неповторима.

Более перспективной представляется формализация водосборов с использованием идеологии теории графов [261]. Суть этого подхода заключается в комбинировании из тальвегов разных порядков ансамбля «древа тальвегов» любых мыслимых сочетаний, возможных и имеющих место в природе. И поскольку эрозионно-гидрологические характеристики таких водосборов формируются путем последовательного сочетания ЭВ и их тальвегов (ансамблей разной сложности), то решению задачи интегрального описания сложного водосбора предшествует его дифференциация на «элементарные» водосборы.

Эта очевидная идея привела к попыткам более или менее формального представления ЭВ в виде простых геометрических фигур – окружностей, эллипсов, квадратов, ромбов [185], шестиугольных («сотовых») ячеек [59]. При этом возникает вопрос о линейных размерах водосборов, что приводит к необходимости рассмотрения возможных пределов ветвления тальвегов. В итоге получают так называемые фрактальные структуры [212, 331, 380], не имеющие в принципе предела ветвления. И несмотря на то, что это противоречит сути процесса, ибо размыв (в том числе по тальвегу) возможен лишь при достижении потоком предельной (критической) скорости, поразительное совпадение расчетов по таким моделям с реальными объектами свидетельствует об их правильности, хотя чисто формальные построения, естественно, нельзя признать достаточными. Очевидно: требуется генетический принцип, т.е. теоретическая разработка вопросов формирования ЭВ.

Эрозионно-аккумулятивный процесс и генезис водосборов. Выполненный ранее анализ ЭАП [76, 79, 81, 82, 84] позволяет сделать

ряд важных заключений о стадиях развития эрозионных форм размыва (водороин, промоин, оврагов и т.п.), генезисе склонов разной формы, закономерностях делювиального (струйчатого) размыва. Следует признать существенным заключение об однозначной обусловленности внешних (формальных) характеристик рельефа гидрофизической природой эрозии-аккумуляции. Однако в этих построениях возникновение эрозионного размыва принималось как данность, а его эволюция рассматривалась вне связи с эволюцией множества других аналогичных размывов. Требуется дальнейшее развитие теории ЭАП, особенно в той ее части, которая в конечном итоге объясняет формирование «элементарного» русла и водосбора.

Вначале полезно ввести понятие элементарного эрозионного русла (водороины) по аналогии с «элементарной струйкой» в гидравлике [353]. Если на плоской наклонной поверхности однородного по трем измерениям субстрата склона, заканчивающегося у подножия обрывом, сформировать элементарную (единичную) струю воды (аналог – струя воды, вытекающая из шланга) с расходом, обеспечивающим формирование критической размывающей скорости течения, то по всей длине потока образуется прямолинейная водороина прямоугольного сечения, развивающаяся по схеме, изображенной на рис. 3.4ж, 1-4. Образовавшийся таким образом размыв по своим плановым очертаниям (контуру бровки) будет правильным прямоугольником (рис. 3.16а). При наличии в основании наклонного (осыпного) склона форма размыва в плане станет пятиугольной (рис. 3.16б). Если размыв «перепилит» водораздел, то при гребневидной его форме образуется шестиугольный в плане водосбор (рис. 3.16в). Прямоугольный водосбор является обычно переходной формой к пяти- и шестиугольному, ибо отвесный обрыв у основания склона рано или поздно превращается в осыпной склон. Единственным элементом этих трех модификаций водосбора являются его склоны-откосы, пересечение которых между собою и с поверхностью исходного склона, а также с осыпной частью откоса приемной долины образует ребра-бровки и тальвеги. На стадии подмыва и начала аккумуляции наносов на дне (рис. 3.4ж, 4-5) появляется новый элемент – плоское дно.

Рассмотренная идеальная схема генезиса единичного ЭВ при всей ее простоте с исключительной (буквальной) точностью совпадает с формой реальных водосборов ущелий-оврагов, формирующихся в горных странах. Это подтверждается многочисленными наземными и космическими снимками, приведенными в работах [67, с. 74; 116, с. 13-14;

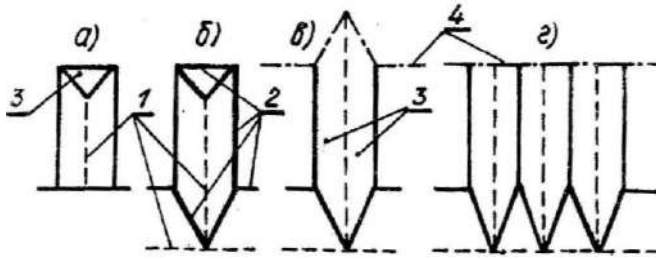


Рис. 3.16. Плановые очертания элементарного размыва-водосбора при отвесном обрыве у основания склона (а); наличии осыпного откоса долины (б); «перепиливании» водораздела (в); для ансамбля размывов (г): 1 – тальвеги, 2 – бровки, 3 – откосы (склоны) водосбора, 4 – линия водораздела

258, с. 138; 323, с. 161; 338, с. 30]. Отсюда следует, что предлагаемая модель верна. Конечно, из-за неоднородностей субстрата в реальности наблюдаются отклонения тальвегов от прямой, асимметрия бортов водосборов. При сложной форме размываемой поверхности продольные бровки могут искривляться, что приводит к ланцетовидной и иной форме водосбора в плане. Но эти отклонения не опровергают правила и могут быть легко

учтены при добавлении в модель новых факторов.

Формирование ЭВ единичным водным потоком, хотя и имеет место в природе, но обычно обусловлено эволюцией эрозионно-гидрологического процесса (ЭГП) в ансамбле параллельно-струйчатых («шнурковых», по Р. Хортону [344, 375], рис. 3.17А, а), размывов и бифуркацией в узлах $В1...n$: ответвлением (рис. 3.17А, б), разветвлением (рис. 3.17А, в) и их сочетанием (рис. 3.17. А, г-ж, см. также рис. 3.6). Природа бифуркаций не вполне ясна. Очевидно: она не может быть объяснена только слиянием русел при их переполнении, как полагал Р. Хортон [344], о чем свидетельствует замечательная стабильность углов бифуркации γ первичных размывов ($\gamma \approx 45^\circ$, рис. 3.6, 3.17Б). Из соотношения $tg\gamma = tg\alpha_{нд}/tg\alpha_{пр}$ при $\alpha_{нд} = \alpha_{пр}$ следует, что $\gamma = 45^\circ$ ($\alpha_{нд}$ и $\alpha_{пр}$ – углы наклона склона по падению и простиранию). Кроме того, это может быть следствием заложения бифуркирующих русел на откосах первичных размывов, имеющих наклон, близкий к углу естественного откоса. Этим же обусловлена высокая стабильность угла между водоразделами, сходящимися к устью ЭВ, и линиями тока, сходящимися к тальвегу ЭВ, особенно в его устье. Можно утверждать, что потоки воды гидрологически соединяются, а размывы эрозионно-разъединяются, причем эти процессы могут быть как взаимосвязаны, так и самостоятельны.

Р. Хортону принадлежит первая попытка дать эмпирическое обобщение закона бифуркации – зависимости числа N и длин водото-

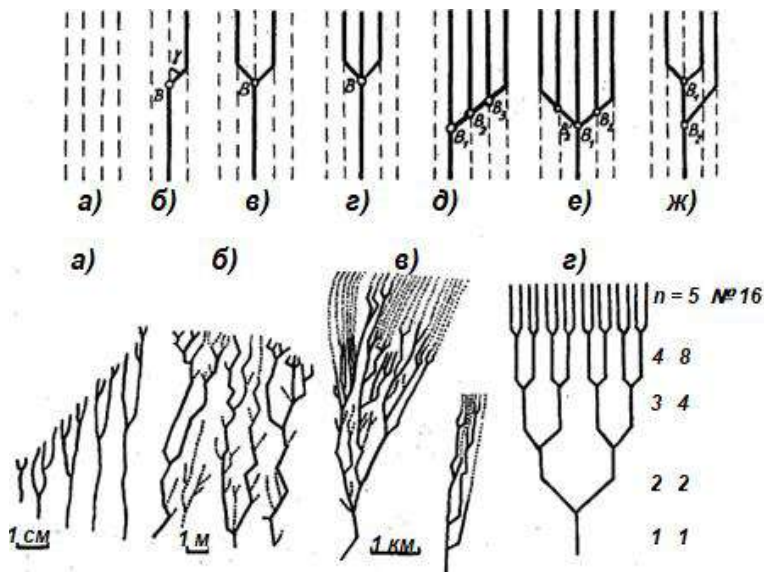


Рис. 3.17. Схема бифуркации параллельных водороев (А), струй и русел (Б): а – струи жидкости [149, с.45], б – водороевы [336, с. 71], в – ложбины-лощины-балки (бассейн р. Чограй), г – идеальная схема системы бифуркирующих русел

ков от порядка их ветвления n . Закон имеет вид показательной функции (геометрической прогрессии) с дробным основанием (более 2) и показателем степени $n - 1$. Позднейшие проверки закона Р. Хортон или его модификаций, в том числе с моделированием на ЭВМ, подтвердили достаточную его адекватность [324]. Вместе с тем наиболее уязвимым в подходах Р. Хортон, В. П. Философова [335], А. Страле-ра [387], А. Шайдеггера [383] и др. является субъективизм в определении порядка ветвления потоков. Это приводит к тому, что для одной и той же бифуркирующей системы одни и те же потоки получают разный порядок [261]. Это обстоятельство, на наш взгляд, обусловлено неясностью физической природы бифуркации. Определенный толчок к ее пониманию дают наблюдения за характером бифуркации первичных делювиальных ручейковых размывов (рис. 3.6, 3.17Б, б) и ветвления молодой гидрографической сети на относительно однородных по углам падения и простирания территориях (рис. 3.17Б, в), а также эксперименты в лотках. Во всех этих ситуациях (как, впрочем, и в рассматриваемых Р. Хортоном, В. П. Философовым, Н. А. Ржаницыным и др.) преобладает именно бифуркация, т.е. раздвоение, русл по закону $N = 2^{n-1}$. Три-, тетрафуркации и т.д. или являются ложными (из-за масштаба карт неразличимыми), или встречаются редко, т.е. обусловлены исключениями (отклонениями) от общего правила. Универсальность именно бифуркации означает, что в природе преобладает раздвоение потока, приводящее к соединению двух соседних исходно параллельных струйчатых размывов (рис. 3.6, 3.17Аб), которое обусловлено местными случайными нарушениями однородности суб-

страта. Это и определяет число 2 в основании функции (закона) бифуркации, что означает фрактальность (самоподобие) явления (рис. 3.17Б, Г) вопреки заключению Е. Федера [331]. При ситуациях три-, тетрафуркаций и т.д. основание функции, очевидно, будет составлять 3, 4 и т.д. и определяться первичным рельефом поверхности склона, а для макроусловий – геолого-тектоническим фактором, особенно в горах (ситуации Р. Хортона). Дробные значения оснований, полученные Р. Хортоном, Е. Федером и другими, обусловлены соединением би-, три-, тетрафуркаций в единую совокупность и субъективизмом определения порядка ветвления водотоков. Таким образом, можно полагать, что раздвоение русел обусловлено ЭПП, а разветвления более высокого порядка геолого-тектоническими причинами.

Бифуркация совместно с вариацией эрозионной податливости субстрата обуславливает постепенное нарастание концентрации водных потоков и эрозионных русел (рис. 3.6; 3.17А, Б; 3.18) от приводораздельного пояса I (с докритическими скоростями течения $u < u_{кр}$) к поясам II-IV склона (рис. 3.18.1) и формирование промоины-лидера. Промоина-лидер более интенсивно врезается в субстрат и постепенно в промежутки $t_1...n$ поглощает соседние более мелкие водоразлины и промоины (рис. 3.18.2, 3.18.3.1). В итоге на склоне формируется крупный размыв – овраг, занимающий часть водосбора по его ширине B_T (рис. 3.18.2-3.18.4.2) или полностью (рис. 3.16) и замыкающий всю систему мелкоструйчатых размывов на единый створ (рис. 3.18.4.1). Форма образующегося при этом водосбора не отличается от рассмотренного выше водосбора элементарной струйки (рис. 3.16); различия между ними чисто количественные.

В дальнейшем такой водосбор подвергается моделировке продолжающимися на его откосах и исходном склоне процессами делювиально-эрозионного сноса и аккумуляции [76, 79], что приводит к закруглению бровок, формированию выпукло-вогнутого профиля откосов и днища. Водосбор принимает привычные топографические очертания (рис. 3.18.4.1-3.18.4.4). Глубина таких размывов их устье определяется разностью высот H водораздела и тальвега принимающей долины (глубиной залегания базиса эрозии), а ширина водосбора B_T – углом естественного откоса φ (рис. 3.18.3.1).

В зависимости от интенсивности расчленения и времени на первоначально нерасчлененном склоне формируются единичные изолированные один от другого водосборы или их ансамбли (рис. 3.18.4.2).

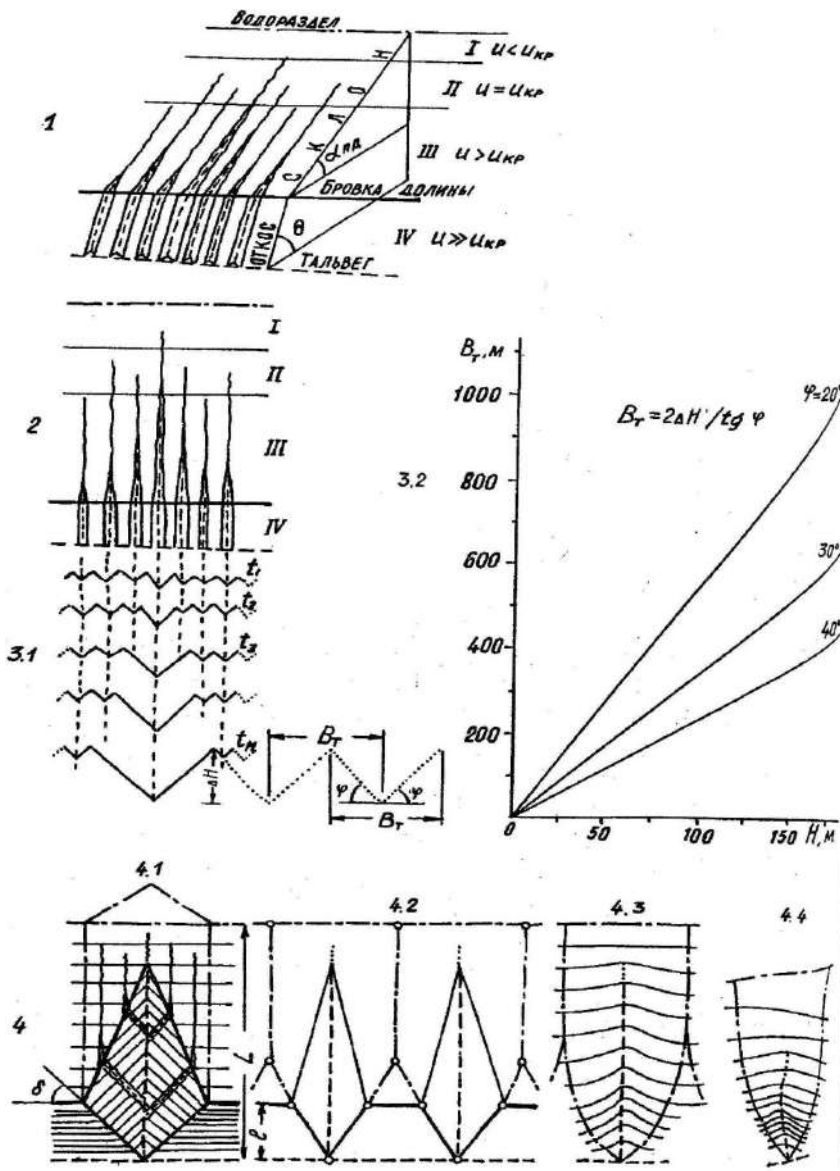


Рис. 3.18. Схема генезиса элементарного водосбора

В предельном случае, когда соседние водосборы вплотную смыкают друг к другу своими водоразделами, соотношение расстояний между тальвегами B_t и глубиной залегания базиса эрозии ΔH в среднем определяется простым геометрическим соотношением (3.1), график которого при разных представлен на рис. 3.18.3.2. Для крупных (балочных) водосборов при глубине вреза долин от водораздела порядка 100 м и более B_t сопоставимо по порядку величины с реальными расстояниями между тальвегами этих водосборов при их впадении в реку. Это служит еще одним аргументом в пользу предлагаемой модели генезиса элементарных водосборов.

Форму элементарного водосбора можно аппроксимировать пятиугольником (рис. 3.18.4.1), состоящим из прямоугольника в приво-

дораздельной и присетевой частях, а также треугольника в долинной. С учетом того, что угол $\delta = 45^\circ$ (из-за равенства угла φ для бортов приемной долины и откосов первичного овражного размыва), легко вывести выражение для площади элементарного водосбора:

$$F = B_T L_B - \frac{1}{2} B_T l = B_T L_B - \frac{1}{4} B_T^2 \operatorname{tg} \delta \approx B_T L_B - 0,25 B_T^2. \quad (3.2)$$

Рассмотренная картина генезиса предельно упрощена. В действительности она намного сложнее, и в модели должно учитываться гораздо большее число факторов. Введение в модель, например, иной (выпуклой) формы исходного склона (с учетом сильного снижения его поверхности в наиболее выпуклой части) обуславливает отклонение смежных водоразделов в нижней части к оси тальвегов и 7-угольные очертания водосбора (рис. 3.18.4.2). Если же учесть в модели закругление границ, то формируются прямоугольно-лопатообразные контуры как идеальных (рис. 3.18.4.3), так и реальных (рис. 3.18.4.4) водосборов. В этом случае между соседними водосборами в нижней части склона образуются «межводосборные» участки криволинейно-треугольной формы – реликты-останцы нерасчлененной исходной поверхности склона («вставочные» водосборы, по А. Г. Рожкову).

Вводя разнообразие форм исходного склона, межбалочного водораздела и варьируя величинами L_B и l , можно получить целую гамму геометрических форм ЭВ (рис. 3.19). При этом для расчетов площади водосборов с небольшими погрешностями пригодно одно и то же выражение (3.2) или его несколько модернизированный вариант (для позиций 1 и 4 на рис. 3.19) за счет введения поправки на треугольные площади у межбалочных водоразделов.

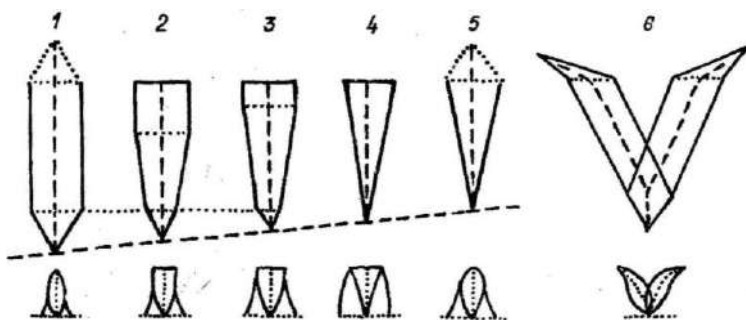


Рис. 3.19. Изменение формы элементарного водосбора в зависимости от морфометрических характеристик исходной поверхности [84]

Дальнейшее усложнение модели еще больше разнообразит форму водосборов. Так, наклон межбалочного водораздела приводит к появлению косоугольных треугольников в вершинах водосборов (рис. 3.19.6) и т.д.

Эволюция ЭАР и судьба малых рек. Еще в XIX в. судьба рек (в том числе малых) в связи с их обмелением была предметом оживленной дискуссии, в которой принимали участие выдающиеся ученые – В. В. Докучаев, А. И. Воейков, А. А. Измаильский и др. Дискуссия продолжалась и позже, о чем свидетельствуют работы М. И. Львовича, В. В. Рахманова, Д. Л. Арманда, А. А. Соколова, А. И. Миховича и др. Определились две основные (на наш взгляд, взаимосвязанные) точки зрения. Сторонники одной из них соотносят обмеление рек с вековыми колебаниями их водности вследствие региональных и глобальных колебаний климата (в первую очередь, осадков). Другие считают, что обмеление рек обусловлено антропогенным фактором – нарушениями равновесия природной среды в связи с распашкой огромных пространств девственных степей, сведением лесов, увеличением вследствие этого засушливости климата, усилением эрозии и как результат поступлением в русла рек избытка мелкозема.

Человеческая мысль столкнулась с типичной проблемой анализа сложной природной системы, какой являются реки – продукт предшествующей длительной (иногда многомиллионлетней) их палеогеографической (в том числе палеоклиматической), геологической и геоморфологической истории и современной физико-географической и социально-экономической ситуации.

Вместе с тем, по нашему мнению, уже сейчас имеются основания дать объяснение причин явления. Оно может быть выполнено путем анализа общих закономерностей ЭАП, формирующего рельеф территории – склоны и гидрографическую сеть, частью которой являются долины и русла рек.

Отмеченные при описании логико-графической модели ЭАП общие моменты позволяют прийти к некоторым важным выводам.

Наличие резких ребер и перегибов, отделяющих один тип склона и отложения от других (исходная поверхность – обрыв, обрыв – осыпь, осыпь – делювиальный шлейф), или относительно постепенных (но в достаточно узком диапазоне характеристик) переходов одного типа в другой (надбровочные – подбровочные склоны, пролювий – делювий, делювий – аллювий) является внешним (формальным, морфологическим) выражением качественно специфических геоморфологических процессов и их носителей (агентов). Иными словами, физически специфический процесс «отливается» во вполне определенную внешнюю геоморфологическую конструкцию. Это следствие не только иллю-

стрирует частное выражение общего закона диалектики о единстве формы и содержания, но и имеет прямое практическое значение. С одной стороны, коль скоро мы находим или ожидаем найти в природе проявление того или иного конкретного процесса, то он, этот процесс, неминуемо приведет к образованию вполне однозначной геоморфологической конструкции. С другой – присутствие той или иной геоморфологической конструкции свидетельствует о наличии (действии) определенного процесса и его материального носителя (агента). Взаимосвязанность и однозначная последовательность перехода одной формы в другую позволяет давать прогноз проявления того или иного геоморфологического процесса (в частности, судить о соотношении эрозии и аккумуляции на территории, что имеет прямое отношение к вопросу о причинах обмеления рек).

На значительной части равнинных районов страны в предшествующую современности эпоху, соответствующую времени прохождения верхнечетвертичного (валдайского) цикла оледенения, произошло расчленение относительно спокойного довалдайского рельефа с выработкой выпуклых надбровочных склонов и углублением русел сухоходольной (лицинно-балочной) и долинной (речной) сети до уровня, соответствовавшего положению местных базисов эрозии.

К моменту окончания этого цикла уже началось заполнение отрицательных форм рельефа делювиальными продуктами. Однако этот процесс не получил своего завершения. Он был прерван расселением растительности при наступившем потеплении климата в голоцене [306]. Это весьма важное обстоятельство до сих пор не получило должной оценки. Хотя роль растительности как противоэрозионного фактора и признается всеми, но приоритет отдается тектонике и обусловленной ею разнице высот водоразделов и базисов эрозии как решающего фактора, определяющего интенсивность ЭАП.

В современную эпоху при относительно стабильном базисе эрозии, его подъеме или медленном опускании эрозия (вынос субстрата) преобладает преимущественно на выпуклых элементах склонов главным образом за счет смыва (делювиального сноса) и в меньшей степени размыва (образования промоин и оврагов). Аккумуляция здесь отсутствует практически полностью. На вогнутых элементах одновременно проявляется эрозия и аккумуляция. При этом смыв здесь затухает, а размыв, приуроченный к руслам главным образом сухоходольной гидрографической сети (лощины, балки), сравнительно быстро достигает ба-

зисной поверхности и сменяется аккумуляцией. По сути дела, **идет процесс формирования новейшего делювия**, прерванный в голоцене. Это приводит к энергичному заносу мелкоземом днищ сухоходольной гидрографической сети [120], верховий малых рек, пойм, русл средних и больших рек. В совокупности эти явления и определяют понятие «заиления» рек, свидетелем которого мы являемся.

При этом существенно важно то обстоятельство, что современное заиление рек, хотя и обусловлено в первую очередь антропогенным фактором, но протекает на фоне определенной стадии прохождения естественного ЭАП. Это означает, что заиление рек происходит не только в связи с вековыми колебаниями их водности. Дело усугубляется и тем обстоятельством, что в современную эпоху по причинам антропогенного характера произошло резкое перераспределение сезонного стока. В результате максимумы весенних половодий резко возросли, за весенний период стекает до 70-80% годового объема стока, а в межень уровень рек резко падает.

В силу указанных причин частные и дорогостоящие мероприятия по расчистке русл рек от наносов могут дать лишь временный эффект, поскольку они противоречат естественному ходу событий в формировании рельефа местности. Однако это не означает, что человек абсолютно бессилён что-либо предпринять. Речь идет просто об изменении стратегии в подходе к решению проблемы. С учетом изложенной выше схемы ЭАП и условий, существовавших до начала интенсивного вмешательства человека в естественный ход событий, следует сделать вывод о необходимости выполнения комплекса почвозащитных и водоохранных, особенно лесомелиоративных, мероприятий на всей площади речного бассейна, а не только в русловой его части. Это позволит резко замедлить заиление рек и повысить их водность в межень. Одновременно решается и задача оптимального использования земли и других природных ресурсов при сохранении и повышении почвенного плодородия и устойчивости земледелия.

3.2. Функция формы склона

Форме склона как характеристике рельефа при анализе и расчетах ЭАП принадлежит особая роль, не меньшая, чем в динамической геоморфологии. Эта роль, как явствует из вышеизложенной концепции эволюции склонов, определяется тем, что, с одной стороны, фор-

ма склона есть результат ЭАП, а с другой – его фактор. Столь важная роль формы склона побуждает к обстоятельному ее анализу. Между тем само это понятие в литературе весьма неопределенное. Обычно форма склонов определяется как «сочетание участков с различными уклонами и длинами» [126, с. 228]. Г. И. Швевс под формой склона подразумевает «изменение уклона по длине склона» [359, с. 117]. Г. П. Сурмач, понимая, с одной стороны, под формой склонов «геометрические контуры склонов разной длины, крутизны и формы» [311, с. 54], с другой – употребляет выражение «длина, крутизна и форма склона» [311, с. 53]. Г. А. Ларионовым и др. основными морфологическими параметрами склонов называются «крутизна, длина, форма и экспозиция» [194, с. 52]. При этом они считают, что «если крутизну, длину и экспозицию склонов легко оценить числом, то для характеристики форм склонов необходима их классификация на основе качественной оценки признаков» [194, с. 53]. Однако, похоже, речь идет о поперечной форме склонов. Встречаются также словосочетания «профиль склона», характеризуемый изменением по длине отметок поверхности [317], «профиль эрозионного рельефа по линиям тока» [25]. В универсальном уравнении Службы охраны почв США форма склона, по сути, выступает в виде так называемого «топографического фактора» [225, с. 56] или «фактора рельефа». Словом, как высказался В. Д. Иванов по поводу несколько иного, но связанного с этим аспекта, «в решении данного вопроса нет конца» [131, с. 115].

То же относится и к попыткам получить аналитическое выражение для функции формы склона (ФФС). Иные ученые полагали, что это вообще невозможно, в частности, применительно к профилю речного русла (профилю «равновесия») [113].

Аналитическое описание формы склона имеет важное познавательное и прикладное значение не только в геоморфологии, но и в эрозиоведении, особенно в расчетах ЭАП, так или иначе учитывающих рельеф местности. Первые попытки при расчетах смыва обосновать аналитическое выражение «топографического фактора» («фактора рельефа») в виде $I^m L^n$, где I – уклон, L – длина склона, m и n – параметры, были, насколько нам известно, предприняты А. Цингом [390] и Я. В. Корневым [173]. Это выражение неизменным сохраняется и до настоящего времени в уравнении Вишмайера-Смита [225]. Понятно, что оно не является «функцией рельефа», ибо сам уклон есть функция длины склона. Применение параболических, логариф-

мических, экспоненциальных, кубических сплайнов и иных функций для описания формы склона [47, 132, 137, 230, 282, 311, 326, 332, 350, 352, 359] имеет частное значение, поскольку ими могут быть выражены лишь отдельные фрагменты склонов главным образом в приводо-раздельной или русловой части ЭАР [78, 83]. Параболический вид ФФС, по крайней мере, на отдельных отрезках склонов, породил попытки их описания кусочно-аналитическими функциями параболического вида с регулярными точками разрыва [25].

Резюмируем: состояние вопроса таково, что универсального (и, следовательно, физически обоснованного) аналитического описания ФФС не существует, хотя попытки в этом направлении не являются, на наш взгляд, полностью бесплодными. Обратимся к нашему пониманию вопроса, уточнив в первую очередь его постановку путем анализа фактического материала.

На рис. 3.20 приведены типичные профили выпуклых и выпукло-вогнутых склонов по линиям их наибольшего падения (линиям тока). Они позволяют судить о границах применимости параболических (степенных вида $y = ax^b$) функций (на рис. представляются прямыми отрезками в логарифмическом масштабе) и показывают, что единой такой функцией описать все многообразие склонов невозможно. В первую очередь профили позволяют внести ясность в вопрос о том, что же является ФФС. Поскольку наиболее наглядным, простым и естественным способом как при непосредственно-зрительном восприятии склона в природе, так и при его изображении в системе декартовых прямоугольных координат является представление о форме склона как зависимости изменения отметок H от длины L , то ФФС в общем виде есть $H = f(L)$. И ее аналитический вид определяет полностью форму склона. Так, например, в случае параболической зависимости $H = H_0 - aL^b$ величина параметра b свидетельствует о форме склона: при $b > 1$ склон выпуклый, при $0 < b < 1$ – вогнутый, величина параметра b характеризует «степень» выпуклости или вогнутости. При $b = 0$ склон прямой, а степень его «крутизны» определяется величиной параметра a . Если же вид ФФС непараболический, то в любом случае знак и степень «кривизны» поверхности склона зависят от параметров функции $H(L)$. Аналогично обстоит дело и для случаев, когда ФФС описывает не профиль склона (некоторую плоскую кривую), а поверхность в трех измерениях, т.е. изменение отметок не только по падению склона – его длине L , но и по простирацию – ширине B , т.е.

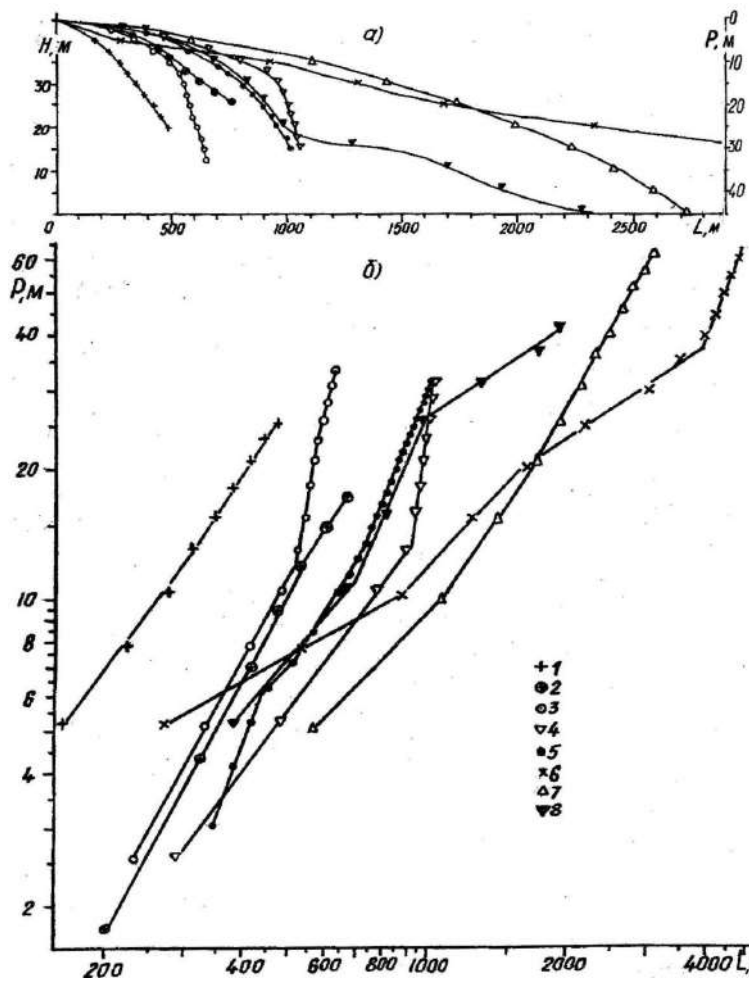


Рис. 3.20. Продольные профили отметок H и падений P склонов в натуральном (а) и логарифмическом (б) масштабах: 1 – к-з «Маяк», 2 – ОПХ Новосильской ЗАГЛОС Новосильского р-на Орловской обл.; 3,4 – к-з им. Горького Медвенского р-на Курской обл.; 5 – ОПХ НИИСХ ЦЧП Таловского р-на Воронежской обл.; 6 – с-з «Кременской», 7 – с-з «Перелазовский» Клетского р-на Волгоградской обл.; 8 – к-з им. Ленина Заринского р-на Алтайского края

как $H = f(L, B)$. Никаких особых «качественно-классификационных признаков» для этого не требуется. Полагая вопрос о понятии ФФС исчерпанным, обратимся к обоснованию рационального ее аналитического выражения.

Изложенные в предыдущем разделе соображения и логико-графическая схема генезиса склонов (см. рис. 3.12) позволяют наметить общий подход к аналитическому выражению ФФС, отвечающий требованию универсальности, т.е. пригодный для склонов любой формы. Было установлено, что в общем случае все склоны в ходе ЭАП имеют выпукло-вогнутый профиль с наличием точки перегиба при переходе выпуклой части в вогнутую и асимптотическим приближением отметок к водоразделу и подножию склонов. С чисто формальных позиций в математике известна функция с такими свойствами. Это логистическая функция, или логиста, логфункция (ЛФ), или уравнение Ферхюльста, или кривая Ферхюльста-Перла, Риды-Перла. Ее исходный вид определяется математическим выражением

$$\psi(x) = 1/[1 + \exp(-x)], \quad (3.3)$$

удовлетворяющим дифференциальному уравнению

$$d\psi/dx = \psi(1 - \psi). \quad (3.4)$$

В параметрической записи

$$\psi(x) = 1/[1 + \exp(a - bx)], \quad (3.5)$$

где a и b – параметры сдвига и масштаба. На рис. 3.21 представлены графики выражений (3.3)-(3.5), иллюстрирующие общий вид ЛФ и роль ее параметров, а также обнаруживающие общее качественное сходство со схемой рис. 3.12. В таком представлении верхняя и нижняя асимптоты являются аналогами соответственно отметок водораздела и базиса эрозии, параметр b отражает изменение уклона в процессе эволюции склона (уменьшается во времени), параметр a – параллельное отступление склона.

Для отображения отметок поверхности реальных склонов ЛФ приводится к виду (рис. 3.22а), позволяющему принимать ей любые положительные значения:

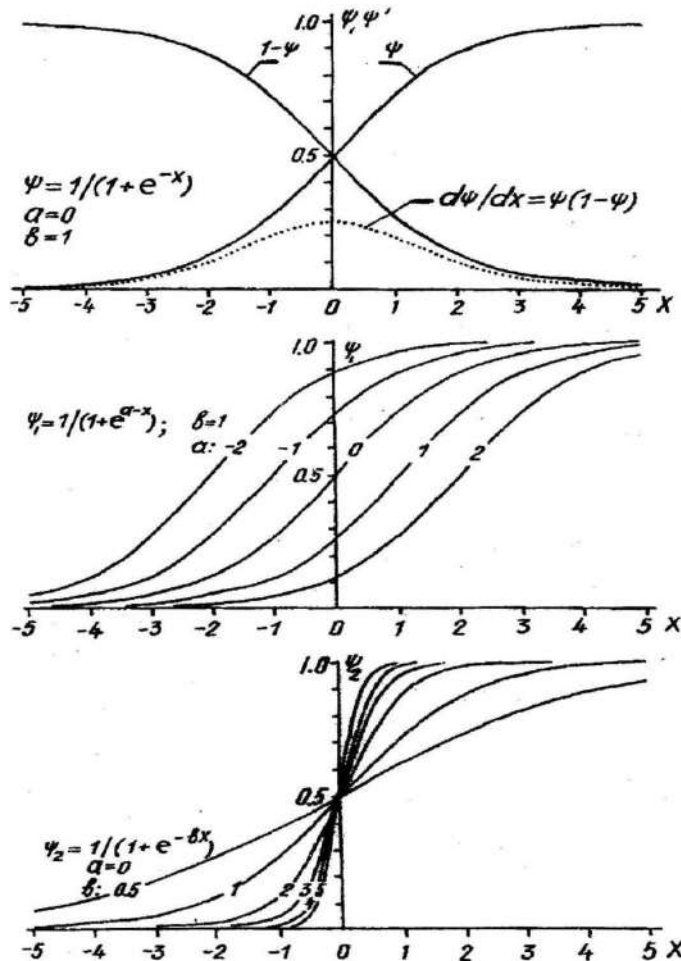
$$H = (H_{max} - H_{min})/[1 + \exp(-a + bL)] + H_{min}, \quad (3.6)$$

Рис. 3.21. Графики логистической функции при разных значениях параметров a и b

где H , H_{max} , H_{min} – соответственно текущая, максимальная (водораздела) и минимальная (подножия, базиса эрозии) отметки склона, m ; L – длина (горизонтальное проложение) склона от водораздела, m .

Иной способ представления ЛФ – это функция падения

$$P = (H_{max} - H) + H_{min} = (H_{max} - H_{min})/[1 + \exp(a + bL)] + H_{min} = (P_{max} - P_{min})/[1 + \exp(a - bL)] + P_{min}, \quad (3.7)$$



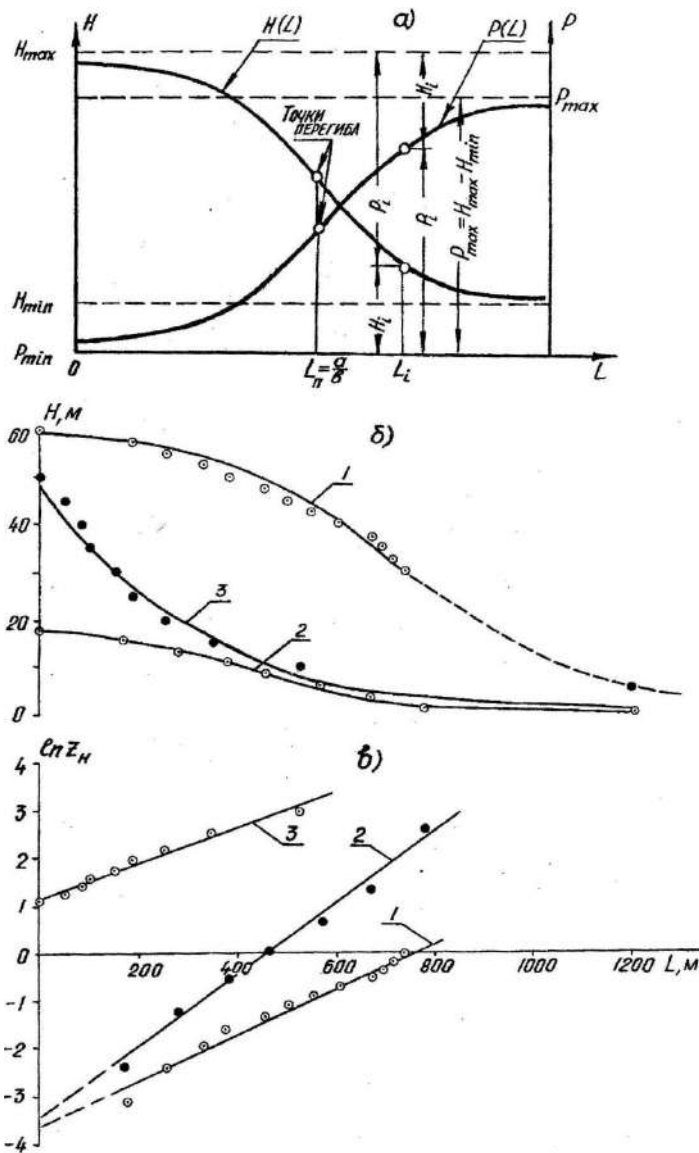


Рис. 3.22. График логфункции (а), аппроксимация продольного профиля склона логфункцией (б) и его линейное преобразование (в) [78]

где P , P_{max} , P_{min} – соответственно текущее, асимптотическое максимальное и минимальное падение склона ($H_{max} = P_{max}$, $H_{min} = P_{min}$), м. Функции отметок $H(L)$ и падения $P(L)$ совершенно симметричны и различаются лишь положением водораздела относительно начала координат и знаками при параметрах a и b .

Функция $P(L)$ показывает возрастание по длине склона разности между положением водораздела и поверхностью склона, тем самым определяя слой субстрата, удаленного между водоразделом и поверхностью склона.

При $H_{min} = P_{min} = 0$ функции (3.6) и (3.7) упрощаются:

$$H = H_{max} / [1 + \exp(-a + bL)], \quad (3.6a)$$

$$P = P_{max} / [1 + \exp(a - bL)]. \quad (3.7a)$$

Для определения параметров ЛФ и нахождения

уравнения регрессии методом наименьших квадратов выражения (3.6) и (3.7) линеаризуются и преобразуются к виду

$$\ln Z_H = \ln[(H_{max} - H_{min})/H - H_{min}] - 1 = -a + bL$$

и (или) $\ln Z_P = \ln[(P_{max} - P_{min})/P - P_{min}] - 1 = a - bL$,

а асимптоты находятся методом последовательного приближения с минимизацией ошибки уравнения регрессии m_{yx} . Определение параметров и асимптот выполняется на ЭВМ по специальной программе.

Регрессионным анализом [78, 80] нескольких сот продольных профилей склонов в различных районах европейской и азиатской территории бывшего СССР установлено следующее:

1. ЛФ пригодна для аппроксимации склонов всех форм – сложных (полициклических) и простых выпукло-вогнутых, выпуклых, вогнутых и близких к прямым (предельные случаи вогнутых или фрагменты выпукло-вогнутых вблизи точки перегиба). При этом полициклические склоны разбиваются на простые, анализируемые отдельно.

2. В пределах генетически однородного (моноциклического) склона возможно, как правило, его описание единой функцией. В отдельных случаях при явной асимметрии, выпуклой и вогнутой частей склон, разбивается на два фрагмента, для каждого из которых характеристики ЛФ определяются отдельно.

3. Точность аппроксимации ЛФ формы склона довольно высока – относительные ошибки обычно не превышают первых процентов. Лишь на границах («хвостах») профилей склонов (обычно у подножий) ошибки иногда возрастают, хотя абсолютные их величины, как правило невелики – в пределах первых метров.

4. Наиболее точно аппроксимируются выпуклые и выпукло-вогнутые склоны, хуже – вогнутые, особенно в приводораздельной части.

Таким образом, можно сделать общее заключение о том, что ЛФ отличается высокой степенью универсальности и приемлемой точностью при ее использовании в практических целях при анализе формы реальных склонов. Выполним более обстоятельный анализ формы склонов, основываясь на данных чисто внешних геометрических, геоморфологических и топографических их очертаний, а также на свойствах описывающей форму склона функции. При этом полезно записать к выражениям (3.6), (3.7) некоторые дополнительные, введя нормирующие функции падений и отметок

$$P_{\Delta} = (P - P_{min}) / (P_{max} - P_{min}) = 1 / [1 + \exp(a - bL)] = 1 / (1 + c\varphi) \quad (3.8a)$$

$$H_{\Delta} = (H - H_{min}) / (H_{max} - H_{min}) = 1 / [1 + \exp(-a + bL)] = c\varphi / (1 + c\varphi) = c\varphi P_{\Delta}, \quad (3.8b)$$

где $c = \exp(a)$, $\varphi = \exp(-bL)$.

Таким образом, $H_{\Delta} = 1 - P_{\Delta}$ и $P_{\Delta} = 1 - H_{\Delta}$ и с учетом этого

$$P_{\Delta s} = \int P_{\Delta} dL = \frac{1}{b} \ln(c + 1/\varphi), \quad (3.9)$$

$$P_s = \int (\Delta P \cdot P_{\Delta} + P_{min}) dL = \Delta P \int P_{\Delta} dL + P_{min} L = \frac{\Delta P}{b} \ln(c + 1/\varphi) + P_{min} L, \quad (3.9a)$$

где $\Delta P = P_{max} - P_{min}$. Функции P_s и $P_{\Delta s}$ являются интегралами натуральных и нормированных функций падения.

Далее первые производные от функции падения принимают вид

$$I_{\Delta} = P'_{\Delta} = dP_{\Delta}/dL = bc\varphi P_{\Delta}^2, \quad (3.10)$$

$$I = P' = dP/dL = \Delta P \cdot P_{\Delta} = bc\varphi P^2/\Delta P, \quad (3.10a)$$

т.е. являются функциями нормированных и натуральных уклонов I ($I = \operatorname{tg}\alpha$, α – угол наклона склона в градусах или радианах).

Последующие производные имеют вид

$$P''_{\Delta} = I'_{\Delta} = d^2P_{\Delta}/dL^2 = b^2c\varphi(c\varphi - 1)P_{\Delta}^3, \quad (3.11)$$

$$P'' = I' = d^2P/dL^2 = \Delta P \cdot P''_{\Delta} = b^2c\varphi(c\varphi - 1)P^3/\Delta P, \quad (3.11a)$$

$$P'''_{\Delta} = I'''_{\Delta} = d^3P_{\Delta}/dL^3 = b^3c\varphi[(c\varphi - 1)^2 - 2c\varphi]P_{\Delta}^4, \quad (3.12)$$

$$P''' = I''' = d^3P/dL^3 = \Delta P \cdot P'''_{\Delta} = b^3c\varphi[(c\varphi - 1)^2 - 2c\varphi]P^4/P. \quad (3.12a)$$

Кривые функций представлены на рис. 3.23. Все они имеют определенную физическую, топографическую и геоморфологическую интерпретацию и позволяют рассчитывать важнейшие характеристики склонов (рельефа).

Исходная логистическая функция $N(L)$ позволяет определять текущие отметки склона на любом расстоянии от водораздела и, кроме того, рассчитывать расстояние от водораздела до точки перегиба $L_n = a/b$. Тем самым аналитически находится важнейшая характеристика так называемой пластики рельефа в ее современном толковании [292, 351] – положение в пространстве (на топокарте) точки, разделяющей выпуклые участки склонов от вогнутых.

Первая производная ЛФ – функция уклонов $I(L)$ – позволяет рассчитывать текущие («точечные») значения уклонов в любой точке склона. До сих пор принципиально неустранимый дискретный характер представления на топокартах отметок с помощью горизонталей позволял иметь лишь интервальные значения уклонов (между соседними или более удаленными одна от другой горизонталями). Колоколообразный характер кривой $I(L)$ отражает закон непрерывного изменения уклона на выпукло-вогнутых склонах в зависимости от их длины: нарастание от водораздела на выпуклой части склона, максимум в точке перегиба и убывание на вогнутой части.

Вторая производная ЛФ – скорость изменения уклонов $I'(L)$ – отличается наличием двух экстремумов (\max , \min) и точки перегиба, в которой производная обращается в нуль. Расстояние от начала координат до этой точки в точности равна L_n , что позволяет осуществить второй способ ее расчета по равенству $P'' = I' = 0$. Экстремумы

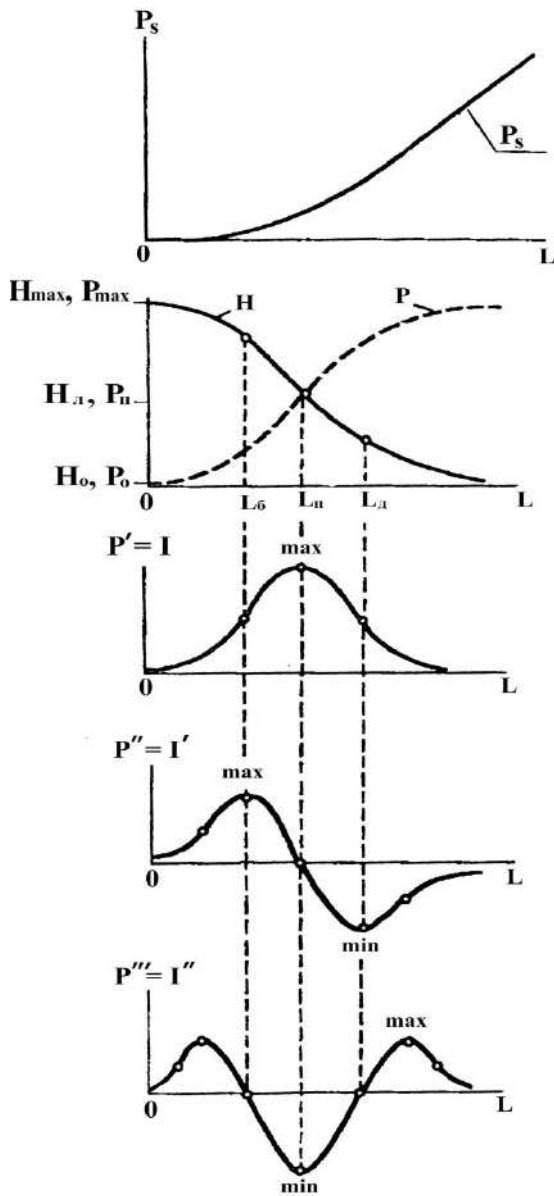


Рис. 3.23. Основные функции продольного профиля склонов: интегрального падения P_s , отметок H и падения P , производных функции падения $P' = I$ (уклон), P'' (приращения уклонов) и P''' . Кружками обозначены характерные точки функций – экстремумы (максимумов и минимумов) и перегибов

ределенность именно этих двух точек имеет для пластики рельефа решающее значение. Дело в том, что традиционно идеология пластики ре-

функции математически означают максимумы скоростей положительного и отрицательного изменения уклонов. Физически (геоморфологически) экстремумы соответствуют положению бровки между присетевой и гидрографической частью склона (положительный экстремум) и точки перехода берегового склона в днище (отрицательный экстремум). (Как показывает анализ генезиса склонов, выполненный в разделе 3.1.1, и рис. 3.12, именно для этих точек характерно наиболее резкое изменение, т.е. излом поверхности склона). Бровка таким образом получает совершенно определенную геоморфологическую и математическую интерпретацию, что раньше делалось весьма условно, а ее положение определялось крутизной примерно 10° [162].

Третья производная ЛФ, хотя математически и имеет ясный смысл, физически почти бессодержательна (она означает скорость изменения приращения уклонов). В геоморфологическом же отношении она важна, поскольку в точках перегибов функция $P'''(L)$ обращается в нуль, что позволяет рассчитывать расстояния от водораздела до бровки L_b и днища гидрографических стволов L_d . На наш взгляд, пространственная оп-

льефа, разделяя выпуклые и вогнутые части склона, использует их не для геоморфологической классификации по признаку эрозия – аккумуляция, а для ее разделения в почвенно-генетическом аспекте. В этом смысле наиболее существенное влияние на почвообразование оказывает не знак кривизны поверхности склона, меняющийся при переходе от выпуклого склона к вогнутому, а крутизна склона вблизи точки перегиба, где склоны максимальны по крутизне. Именно наиболее крутые склоны вследствие изменения инсоляции при разных экспозициях особенно чувствительны к водному режиму и интенсивности почвообразования. В связи с этим в рамках понятий пластики рельефа более последовательным является выделение трех фрагментов склонов: надбровочных, береговых и днища, что и позволяет осуществить решение уравнения третьей производной ЛФ.

Выполненные таким образом формально-математический и физический (геоморфологический, топографический) анализы ФФС дают возможность обоснованно и точно определять широкий спектр характеристик склонов (рельефа) в геоморфологическом и ландшафтном аспектах. Эти характеристики могут быть использованы для построения почвенных, геоморфологических и ландшафтных карт, карт поверхностей выравнивания, изолиний уклонов местности, морфоизограф – пластики рельефа – и т.п. в компьютерном режиме, а также для районирования территории по этим характеристикам.

В заключение остановимся на анализе ФФС как геоморфологической модели ЭАП. Ранее вопрос так или иначе обсуждался, но главным образом в том аспекте, какие внешние формы принимает поверхность субстрата под влиянием смыва и размыва. Сейчас наша задача – рассмотреть внешние формы склонов (рельефа) как функционально-физический результат ЭАП.

В этом смысле расстояние от водораздела до любой точки поверхности склона, изображаемой функцией $P(L)$, есть суммарный слой субстрата, удаленный с территории от начала ЭАЦ до настоящего времени. Таким образом, кривая внешней поверхности склона есть не что иное, как геометрический образ (модель) закона геологической денудации (выноса) по длине склона. Аналитически этот закон выражается уравнением $P(L)$. При этом до точки бровки кривая денудации абсолютно точно совпадает с кривой эрозии – делювиального смыва. Ниже бровки и до точки перегиба кривая денудации описывает сочетание делювиального (и капельно-дождевого) рассредоточенного сноса с выносом субстрата вследствие концентрированного размыва и

(или) первичного перепада высот за счет тектонических дислокаций или иных причин. От точки перегиба и далее кривая денудации представляет собою разность между эрозией и аккумуляцией, т.е. кривую выноса. Ординаты кривой $H(L)$ после точки перегиба есть примерно ординаты кривой аккумуляции. С этих позиций интегральная функция $P_s(L)$ есть масса (или объем) субстрата, равная геологической денудации (и аккумуляции).

Особый интерес представляет интерпретация изменения кривых $P(L)$ и $H(L)$ при денудации на ограниченном временном интервале t . В пределе при $\Delta t \rightarrow 0$ они совпадают. Но поскольку изменение положения кривой (опускание – подъем) во времени (приращение) есть характеристика скорости денудации (смыва – выноса), то в пределе текущая денудация пропорциональна функции $P'(L) = I(L)$, т.е. уклону. Таким образом, здесь уклон является характеристикой и наклона поверхности, и денудации. Это очевидно, так как наклон поверхности есть прямое следствие, результат, функция денудации. Как будет видно из дальнейшего, это позволяет дать надежное основание для вывода функции текущего смыва.

Таким образом, анализ геоморфологической модели денудации позволяет отождествить функции, определяющие характеристики формы склона, с различными характеристиками денудации: а) функцию уклонов $I(L)$ со слоем текущей денудации в конкретный момент времени и слоем «исторической» – на некотором временном интервале; б) интеграл функции уклонов $P(L)$ со слоем суммарной текущей и исторической денудации; в) интеграл ЛФ – $P_s(L)$ – с суммарным объемом (массой) денудации за период денудационного цикла. В свою очередь, отождествление антропогенного текущего и исторического смыва-выноса с соответствующими характеристиками «нормальной» денудации позволяет объединить все эти понятия в концепции единого ЭАП, в том числе в геоморфологическом как рельефообразующего фактора и эрозиоведческом аспектах.

3.3. Математическое моделирование эрозионно-аккумулятивного процесса

3.3.1. Обзор моделей

Известны десятки моделей ЭАП, большинство из которых описывают смыв и размыв, а меньшая часть – аккумуляцию и эрозию-

аккумуляцию. (В работе под моделью объекта или процесса в самом общем виде понимается любой его образ (описание) независимо от принятой знаковой системы – словесной, числовой, функционально-математической и т.п.) Разнообразие моделей определяется уровнем их описания: от качественного и количественно-эмпирического до полуэмпирического и теоретического. Несмотря на условность такого их деления, принято считать теоретически обоснованными те модели, которые опираются на общие и частные физические законы с адекватным их математическим представлением в виде алгебраических или дифференциальных уравнений. Исторически познание ЭАП идет от качественно-описательного уровня к более или менее строгому математическому описанию физических процессов, сопровождающих ЭАП. Другая особенность моделирования ЭАП обусловлена исторически сложившимся его рассмотрением в рамках различных областей знания. Так, почвоведение и земледелие обычно сосредоточены на явлениях антропогенного текущего и «исторического» (за период земледельческой культуры) смыва и современного оврагообразования, геоморфология – на эрозии и аккумуляции субстрата как факторах генезиса рельефа на геологических отрезках времени, гидродинамика двухфазных сред – на физике взаимодействия в системе «водный поток – субстрат» и русловых (речных) процессах. И, наконец, до настоящего времени имеет место ситуация, когда качественное описание явления, его физическая модель и прикладные расчеты являются самоцельными, без связи в единую последовательность логических или расчетных процедур. В результате значительная часть рекомендаций производству содержит простой перечень-набор противоэрозионных приемов и их технологий без какой-либо количественной оценки почвозащитного эффекта, а расчетные схемы, пригодные для прогноза эрозии и проектирования почвозащитных систем, весьма редки и носят разрозненный характер.

Вместе с тем следует отметить, что давно существовала [106, 162], а в последние годы в связи с накоплением знаний об ЭАП и становлением идеологии системного подхода усиливается тенденция синтеза описания эрозии-аккумуляции как единого процесса независимо от стадии или формы ее проявления [159, 210, 232, 310].

Остановимся кратко на анализе некоторых наиболее характерных моделей ЭАП.

При рассмотрении физических аспектов теории взвесенесущих (двухфазных) потоков выделяют несколько способов перемещения ча-

стиц в потоке: скольжение (волочение, влечение), перекачивание («верчение»), сальтацию (взвешивание) [125]. Механизм отрыва и перемещения частиц включает рассмотрение разных сил: тяжести, гидростатического давления, касательного напряжения, подъемной, трения, сцепления и др. – динамических характеристик течения и так называемых «критических» скоростей, усталостной прочности субстрата, явлений упругого взаимодействия и т.п. (В. М. Маккавеев, В. М. Маккавеев и И. М. Коновалов, М. А. Великанов, А. В. Караушев, В. Н. Гончаров, Ц. Е. Мирцхулава, Г. И. Швебс, М. С. Кузнецов, В. Я. Григорьев, М. Дж. Киркби, А. П. Иванов и др.). Для понимания природы формирования двухфазного потока важное значение имеет пропорциональность сил лобового сопротивления и подъемной величине d^2v^2 (кинетической энергии [94]), где d – диаметр частицы [54, 125], что с учетом скорости движения потока приводит к изменению мутности (концентрации наносов) пропорционально v^3 , а расхода – v^4 [54, 94, 98, 150, 196, 206, 357]. Особую ценность имеет хорошее согласование этих теоретических зависимостей с данными экспериментов.

Важное место в теории двухфазных потоков занимают разработки с применением положений теории турбулентной диффузии [150, 158, 198, 208], основанной на предложенном А. Эйнштейном [249] дифференциальном уравнении $\partial q_p / \partial t = K \partial^2 q_p / \partial y^2$, где (K – коэффициент диффузии, q_p – расход наносов). Ее дополняет так называемая гравитационная теория [54]. На основе этих теорий с учетом вертикального профиля скоростей течения разработаны уравнения – показательные и степенные функции [150, 185, 198, 208, 209], – согласующиеся с данными экспериментов в лотках и натуральных измерений в водных (речных) потоках.

Рассмотренные теоретические разработки составляют фундамент («ядро») физических положений теории двухфазных потоков. Они, в свою очередь, служат основанием для разнообразных полуэмпирических зависимостей, в той или иной степени пригодных для прикладных расчетов ирригационной и дождевой эрозии [181, 224, 266, 359, 367]. «Однако надежных количественных (гидрофизически обоснованных – Е. Г.) моделей смыва при талом стоке нет» [122, с. 37].

Большой массив эмпирических (точнее, полуэмпирических) моделей смыва составляют модели, основанные на использовании «топографического фактора», или «фактора рельефа» $I^m L^n$ (в последующих публикациях $n = f(I), (a + b_1 I + b_2 I^2) L^n$ [225, 385]), применяемого в

широко распространенном универсальном уравнении потерь почв (смыва) Службы охраны почв США [225]:

$$W = (0,224)RKLICP,$$

где R – фактор осадков, K – почвенного покрова, L и I – длины и крутизны склона, C – растительности и агроприемов, P – контурности противоэрозионных приемов. Идеология уравнения, в том числе для прикладных расчетов смыва при талом стоке, широко использована в отечественных разработках, в частности в расчетах Г. П. Сурмача, с существенным отличием – попыткой введения функции формы склона [220, 311]. Фактор рельефа используется также в расчетных зависимостях Ц. Е. Мирцхулавы, Г. И. Швевса, Г. А. Ларионова, Ю. П. Сухановского, В. Д. Иванова и др. Модификацией этого фактора путем замены длины склона на величину расхода являются зависимости для расчета ирригационной эрозии, предложенные С. Т. Имаковой [141], В. Я. Григорьевым и др. [266], и при дождях [242]. Это обстоятельство проливает свет на истинную природу «фактора рельефа», в котором длина склона выступает как гидрологическая составляющая, определяя расход водного потока. Действительно, полагая $W_s = pqt$, $p \sim v^3$, $v \sim \sqrt{hI}$ (уравнение Шези), $q \sim h^{1,5}$, $h \sim L^P$ при $p = 1/3 \dots 2/3$ [198], после подстановок и преобразований для потока единичной ширины за единицу времени получаем

$$W_s = pq = (\sqrt{L^P I})^3 \cdot (L^P)^{1,5} = I^{1,5} L^{3p} = I^{1,5} L^{1 \dots 2} \approx I^{1,5} L^{1,5}.$$

Здесь W_s – суммарный смыв, p – средняя мутность, v – средняя скорость течения, h – слой воды.

Практическое совпадение рассчитанных таким образом и определенных путем обобщения обширных экспериментальных оценок [225, 359] показателей степени при I и L позволяет сделать по крайней мере два важных заключения.

1. Считающееся эмпирическим универсальное уравнение зиждется на достаточно обоснованных теорией и проверенных экспериментально гидродинамических законах стекания водных потоков и формирования наносов. Этим объясняется широкое применение уравнения в практике расчетов эрозии и противоэрозионных мероприятий за рубежом и в нашей стране.

2. Фактор $I^m L^n$ является на самом деле сложным, объединяющим гидрологические (напор – скорость течения – расход) и топографические (уклон) характеристики (точно так же, как скорость в уравнении Шези).

Физическая обоснованность универсального уравнения еще более повышается при выражении эрозионного индекса осадков кинетической энергией их капель [318].

Изложенное позволяет считать физическое «ядро» универсального уравнения достаточно обоснованным, а ограничения на точность расчетов накладываются точностью определения факторов K , C , P , которые подвержены значительной вариации во времени и по территории, что, впрочем, характерно и для таких фундаментальных характеристик теоретически строгих зависимостей, как критическая скорость, диаметр частиц субстрата, шероховатость и т.п. Из-за этого порою даже безупречные теоретические представления способны превратить любую модель в «науку о коэффициентах», по выражению Прандтля [54, с. 6]. Об этом же пишет М. Дж. Киркби, отмечая, что «даже в пределах небольших площадей наша окружающая среда характеризуется значительной изменчивостью, а потому точное прогнозирование (расчет – Е. Г.) представляется часто делом неосуществимым... и поэтому такие теории... никогда не могут быть полностью проверены на практике» [365, с. 7].

Обратимся к анализу особого класса моделей, которые условимся называть геоморфологическими. Качественное описание одной из таких моделей дано в разделе 3.1, а в разделе 3.2 обоснован математический вид функции формы склона – ФФС. Рассмотренные выше теоретические и эмпирические модели предназначены для описания смыва почв на склонах и процессов в руслах водных потоков (в том числе речных) за относительно короткие временные промежутки. Их применение для прогноза эволюции склонов и рельефа проблематично. Геоморфологическая же модель, хотя и рассматривает начальные проявления текущего смыва и размыва, описывает крупные формы рельефа на больших отрезках времени. Кроме того, отсутствие математического аппарата для оценки эволюции форм рельефа во временной динамике, хотя и не опровергает логики качественно-описательных рассуждений, однако лишает их строгости, присущей физическим теориям. Таковы органические недостатки любых качественно-описательных построений.

Революционное значение для математического моделирования динамики геоморфологических и особенно склоновых процессов имели работы Ф. Экснера [371], У. Каллинга [369], А. Шайдеггера [383], А. С. Девдариани [101] и других, применивших для этих целей дифференциальное уравнение параболического типа, или уравнение диффузии (рис. 3.12в). Дж. Торнес и Д. Брунсден признали уравнение диффузии «составляющим основу математической геоморфологии» [325, с. 171],

т.е. его фундаментальный характер. И критические замечания по поводу необходимости подтверждения наблюдениями в природе и экспериментами аналитических решений геоморфологических задач [101, 143], хотя и имеют основание, но их нельзя признать достаточными.

Математически уравнение диффузии является адекватным выражением физической сути процессов диффузии газов (для чего оно было предложено А. Эйнштейном и откуда получило свое название), теплопроводности и других явлений энергомассобмена. Что касается гидродинамики двухфазных потоков, то эта аналогия, как уже отмечалось, может быть принята с известными допущениями. Тем не менее схема эволюции склонов в ходе ЭАП позволяет выявить колоколообразный вид первой производной (уклона) ФФС (рис. 3.12б) и бросающуюся в глаза аналогию с диффузионным уравнением (рис. 3.12в). Эти факты и соображения нуждаются в более обстоятельном рассмотрении.

3.3.2. Модель единого эрозионно-аккумулятивного процесса

Изложенные в предыдущих разделах материалы позволяют сформулировать основные требования к модели единого ЭАП и определить пути ее создания. Очевидно, что такая модель должна отвечать следующим условиям: а) соединять в себе всю гамму основных законов гидродинамики двухфазных потоков, закономерностей проявления антропогенного текущего и исторического смыва, формирования склонов и эрозионно-аккумулятивного рельефа; б) быть логически и физически непротиворечивой; в) быть адекватной, т.е. обеспечивать совпадение количественных характеристик расчетов по модели с реальными объектами; г) быть универсальной, т.е. инвариантной по отношению к условиям внешней среды, и достаточно простой.

Конечно, соблюдение всех этих условий в полной мере практически невозможно, однако важно, чтобы неизбежные упрощения и схематизация процессов и явлений в конечном итоге приводили к правдоподобным результатам, т.е. к приемлемому совпадению в системе «модель – реальный объект».

В связи с изложенным, на наш взгляд, принципиально важно то, что составляет суть развиваемого в работе подхода, отличающего его от известных. ЭАП, рассматриваемый в самом общем виде, абстрактно, без раскрытия существа физики процессов в системе «водный поток – субстрат», всегда и везде однозначно выражается в деформации

поверхности субстрата. Также однозначно: следствием эрозии является понижение поверхности субстрата, а аккумуляции – повышение ее. Эта однозначность не только пространственная, но и временная, т.е. деформация поверхности вследствие эрозии и аккумуляции вызывает понижение и повышение поверхности в любой точке по всей длине склона и в целом на территории. Это можно установить оценкой как мгновенного состояния мутности потока и баланса вещества в точке, так и текущего смыва, и отложения за конкретный паводок (часы, дни) в историческом (формирование смытых и намытых почв за десятки и сотни лет) и геолого-геоморфологическом аспектах (генезис склонов, долин, аккумулятивных отложений на геологических отрезках времени – десятки, сотни тысяч лет и более).

Изложенное выше неизбежно приводит к весьма важному обстоятельству: физическая суть сложнейшего сочетания разнообразных проявлений ЭАП при всей его чрезвычайной многофакторности и стохастической неопределенности с «железной» необходимостью проявляется в конечном результате – форме поверхности субстрата, т.е. форме склона. И если этот результат является универсально-всеобщим, то отсюда следует неизбежный вывод о строгой его детерминированности. (Здесь имеет место диалектически противоречивое единство противоположностей в соотношении неопределенности и детерминированности, фундаментально отображающее глубинные свойства физического мира в целом. Так случайность описывается вполне определенной функцией, и из хаоса возникает порядок [239, 265].) Иными словами, природа в результате собственных экспериментов за сотни и тысячи лет уже получила вполне однозначный результат и недвусмысленно подсказала, где его искать. Этот результат – форма склона как интегральное универсальное следствие ЭАП. И если найти адекватный способ описания ФФС, то это по логике и сути процесса будет точным образом (моделью) ЭАП независимо от совершенства знаний о его физической природе, которые очевидно всегда неполны. Но даже если допустить, что эти знания исчерпывающи, то математическое представление моделей и особенно их практическая реализация из-за отсутствия необходимой информации о вариациях переменных, сложности и трудоемкости расчетов и т.п. неизбежно приводят к упрощениям и применению приближенных аппроксимаций, последствия которых не всегда предсказуемы и чреватые значимыми погрешностями расчетов.

Материалы раздела 3.2 по результатам применения ЛФ для описания формы склонов свидетельствуют о весьма высокой точности описания формы склона, что заставляет более обстоятельно проанализировать и выяснить причины этой точности.

Визуальное сходство решения уравнения диффузии с графическим представлением функции уклонов (см. рис. 3.12б, в) приводит к необходимости проверки гипотезы о применении уравнения диффузии к описанию формы склона и соотношению ЛФ и уравнения диффузии. Такая проверка выполнена нами совместно с А. Н. Салугиным.

Ниже излагается эта процедура в соответствии с работами [82, 84, 278]. Пусть имеется некоторый склон в виде функции продольного профиля $z(x)$, вдоль которого происходит перенос почвы ламинарным потоком воды. Профиль $z(x)$ будет со временем изменяться, эволюционировать. Необходимо получить такое решение, которое давало бы адекватную картину изменения профиля во времени с возможно более полным учетом физических процессов, сопутствующих эрозии и аккумуляции.

В современной литературе существует двоякий подход к моделированию склоновых процессов: с помощью диффузионного уравнения [328] и динамическое моделирование [283]. Поскольку динамические модели рассматривают локальные явления (в точке склона) и не позволяют получить эволюционирующее решение, на первом этапе логично выполнить моделирование с помощью уравнения диффузии. Это оправдывается двумя обстоятельствами. Во-первых, несмотря на некоторую «скрытость» физических параметров склонов и внешних условий, уравнение диффузии позволяет получить важные сведения о коэффициентах денудации, необходимые для дальнейшего моделирования ЭАП в локальных объемах с привлечением динамических дифференциальных уравнений. Во-вторых, диффузионная модель дает возможность выявить эволюцию склона, т.е. сделать прогноз о будущей «судьбе» профиля, что существенно важно в прикладном плане.

Взаимодействие в склоновых системах, подверженных эрозии, моделируется так называемыми балансовыми диффузионными уравнениями:

$$\partial z / \partial t + \partial q / \partial x = 0, \quad q = f(x, z, t, -\partial z / \partial x), \quad (3.13)$$

где z – высота профиля, q – расход материала, $\partial z / \partial x$ – уклон.

Если предположить, что расход материала пропорционален уклону

$$q = -K(x, z, t) \frac{\partial z}{\partial x}, \quad (3.14)$$

приходим к уравнению диффузии

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{\partial z}{\partial x} \left(K(x, z, t) \frac{\partial z}{\partial x} \right). \quad (3.15)$$

Коэффициент пропорциональности $K(x, z, t)$ несет в себе информацию о механизме взаимодействия потока с поверхностью склона. Если этот механизм определен, то решение уравнения диффузии является чисто технической задачей и проблема может считаться разрешимой. Кроме этого, решение диффузионного уравнения сильно зависит от граничных и начальных условий, которые также выбираются из физических соображений. Таким образом, успех математического моделирования с помощью уравнения диффузии определяется тем, насколько адекватны начальные, граничные условия и насколько корректна интерпретация коэффициента диффузии K . В том случае, когда коэффициент диффузии является постоянным, уравнение (3.15) преобразуется к виду:

$$\frac{\partial z}{\partial t} = K \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \quad (3.16)$$

и его решение может быть легко получено в аналитической форме:

$$z(x, t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\varphi(\xi)}{\sqrt{t}} \exp\left(-\frac{(x-\xi)^2}{4t}\right) d\xi, \quad (3.17)$$

где $\varphi(\xi) = z(x, 0)$ – форма склона в начальный момент времени. Если в качестве исходного профиля взять функцию

$$\varphi(x) = \begin{cases} 1 & x < 0 \\ 0 & x \geq 0 \end{cases}$$

то получим решение

$$z(x, t) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^{x/2\sqrt{kt}} \exp(-\xi^2) d\xi, \quad (3.18)$$

Отметим, что выражения (3.17) и (3.18) по сути являются функциями нормального распределения Гаусса.

На рис. 3.24 представлена качественная картина эволюции склона для этого случая. С течением времени прямоугольный склон дефор-

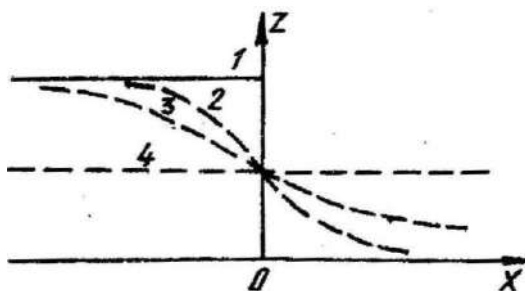


Рис. 3.24. Эволюция склона при $K = \text{const}$:

1, 2, 3, 4 – последовательные положения профиля склона при изменении продолжительности эволюции t от 0 (1) до ∞ (4)

мируется и становится логистоподобным. Склон до последнего остается выпукло-вогнутым, и точка перегиба профиля в этой модели не изменяет своего положения в пространстве.

Наиболее интересными представляются случаи, когда в уравнение (3.15) вводится зависящий от x коэффициент K . Если, например, предположить, что расходы воды при выпадении на склон осадков линейно возрастают книзу, то смыв будет также возрастать по этому закону. При этом твердый расход пропорционален жидкому:

$$\begin{cases} \frac{\partial z}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_0 x \frac{\partial z}{\partial x} \right) = 0, \\ z(x, 0) = \varphi(x), \end{cases} \quad (3.19)$$

где μ_0 – коэффициент пропорциональности. Решение находится методом разделения переменных. Опуская промежуточные выкладки, имеем

$$z(x, t) = \int_0^\infty d\lambda \lambda \exp\left(-\frac{\lambda^2 \mu_0 t}{4}\right) J_0(\lambda x)^{1/2} \int_0^\infty d\tau \tau \varphi(\tau) J_0(\tau \lambda),$$

где J_0 – функция Бесселя; λ, τ – переменные интегрирования;

$$\varphi(x) = \begin{cases} 1 & 0 < x < a_0, \\ 0 & x \geq a_0. \end{cases}$$

Исследование асимптотик ($t \rightarrow \infty$) дает более наглядное представление об эволюционном процессе (рис. 3.25):

$$z(x, t) = \frac{a_0}{\mu_0 t} \left(1 - \frac{x}{\mu t} \right). \quad (3.19a)$$

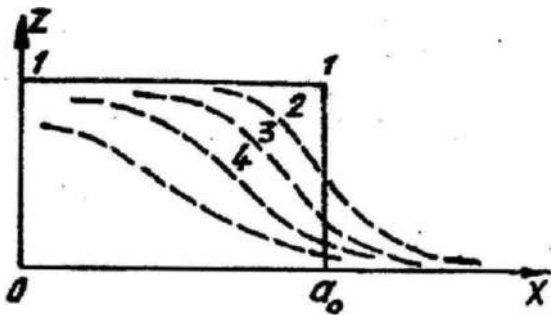


Рис. 3.25. Эволюция склона при $K = \mu_0 x$

В отличие от случая, когда $K = \text{const}$, здесь налицо смещение точки перегиба в начале эволюции логистоподобного профиля, который впоследствии становится «выположенным».

Аппроксимация коэффициента диффузии более сложными функциями значительно затрудняет аналитическое решение. В случае экспоненциальной зависимости K от x ($K = \mu_0 \exp(-\gamma_0 x)$) получены более сложные аналитические выражения для эволюционирующего профиля. Однако качественная картина при этом изменяется незначительно. При большой продолжительности эволюции получается отступающий логистообразный склон.

Проведенный разбор аналитических решений моделей приводит к выводу о том, что склоновая система чувствительна к изменению коэффициента диффузии на протяжении всего профиля. Для параллельного отступления склона коэффициент K должен возрастать при спуске. Вопрос о том, как он изменяется при этом, остается открытым. Авторы работы [368] утверждают, например, что для описания изменения твердого расхода можно использовать соотношение

$$q = ax^m(-\partial z/\partial x)^n.$$

Однако в работе [328] указывается, что «характеристическое решение» уравнения $\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} [ax^m(-\partial z/\partial x)^n]$, полученного простой подстановкой q в уравнение баланса, неправомерно из-за нелинейной связи расхода с уклоном.

Таким образом, несмотря на качественное соответствие результатов моделирования реальным наблюдениям формирования склонов, данный подход совершенно не опирается на физические процессы, обуславливающие эволюцию.

Массоперенос, сопровождающий ЭАП, является сложным явлением. Имеющиеся экспериментальные данные позволяют предположить, что в каждой точке профиля мутность пропорциональна кубу скорости потока v^3 . Причем процесс эрозии начинается при некоторой критической скорости $v_{кр}$. Отсюда следует, что для моделирования эрозии необходимо знать, как изменяется скорость потока при движении по склону в направлении к тальвегу. Исходя из этих предпосылок, получаем основное уравнение для формирования модели. Расход наносов q , как функция скорости потока, выражается соотношением [98, 196]:

$$q = \alpha(v/v_{кр})^3 \cdot (v/v_{кр} - 1), \quad (3.20)$$

где α – коэффициент пропорциональности, обеспечивающий соответствующую размерность.

Толщина водного потока аппроксимируется степенной функцией длины склона ($h \sim x^m$), а скорость потока

$$v = \sqrt{gh(-\partial z/\partial x)}, \quad (3.21)$$

где g – ускорение свободного падения.

Расход вещества за счет смыва связан с изменением высоты склона. Рассмотрим этот процесс более подробно. На каждом участке длиной Δx за 1 с уносится $\Delta z \cdot \Delta x$ массы, где Δz – изменение высоты склона на концах отрезка Δx . Отсюда

$$\Delta z \cdot \Delta x = p(x_0 + \Delta x) - p(x_0) = \Delta q,$$

где $p(x_0)$ – мутность в точке x_0 , $p(x_0 + \Delta x)$ – мутность в точке, отстоящей от x_0 на расстоянии Δx .

Балансовое уравнение для смыва можно записать в виде

$$\Delta q = v(dp/dx)_{x=x_0} \cdot \Delta x \cdot \Delta t,$$

где v – скорость потока, Δq – смыв за время Δt с участка Δx , $(dp/dx)_{x=x_0}$ – градиент мутности.

Переходя к пределу, получим уравнение баланса

$$\frac{\partial z}{\partial t} = v \frac{\partial q}{\partial x}$$

или

$$\frac{\partial z}{\partial x} = c \sqrt{x^m (-\partial z / \partial x)} \cdot \frac{\partial p}{\partial x}, \quad (3.22)$$

где c – константа размерности.

После подстановок получаем

$$\partial z / \partial t = \frac{\alpha \beta^{9m/2}}{v_{kp}^4} \cdot \frac{\partial}{\partial x} [((\beta x)^{m/2} l^{1/3} - v_{kp}) x^{3m/2} \frac{\partial z}{\partial x}]. \quad (3.23)$$

Здесь α и β – константы ($\beta = (l/t g^{0.5})^{1/3}$, где l – слой осадков, t – их продолжительность).

Полученное уравнение решалось методом конечных разностей на ЭВМ. Для его решения использовалась явная схема на двумерной сетке. Устойчивость при вычислении скорости потока в узлах сетки обеспечивалась путем сглаженной центрально-разностной аппроксимации производной по x , а сама производная вычислялась слева. В качестве начального условия использовалась форма склона, близкая к профилю 2-2' рис. 3.12. Граничные условия задачи варьировались различным образом, в основном с фиксированными, неподвижными, точками слева и справа сетки, соответствующими неподвижной точке водораздела и предусматривающими полный вынос субстрата через границу области счета.

На рис. 3.26 представлены результаты численного решения уравнения (3.23) для случая с закрепленной верхней и свободной нижней границами. Из рис. 3.26 явствует, что уравнение (3.23) имеет эволюционирующее во времени решение. Поверхность слабонаклонного плато постепенно размывается и принимает форму логистоподобной кривой. Обращает на себя внимание, что такой характер профиля сохраняется вплоть до 5600 лет эволюции (средняя скорость выноса 1 м за 100 лет).

Сравнение кривых, полученных в численном эксперименте, с функцией (3.6), судя по величинам относительных ошибок и ошибки уравнения регрессии $m_{НЛ}$, обнаруживают удовлетворительное со-

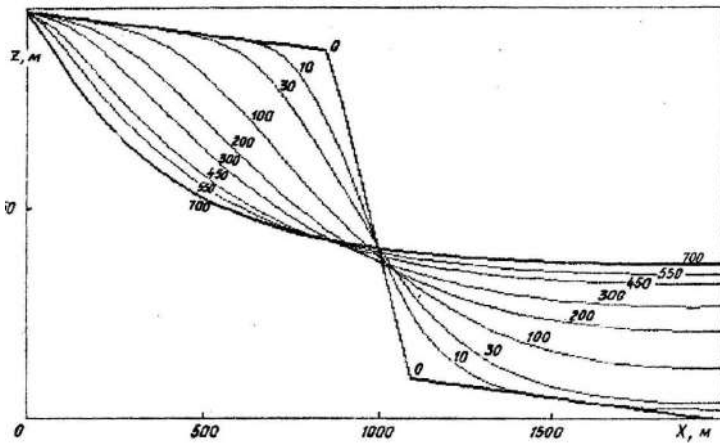


Рис. 3.26. Эволюция склона при численном решении уравнения (3.23): параметр $m = 1,33$; 0 – начальный профиль, 10...700 – решения на соответствующем шаге машинного счета [278]

гласие (табл. 3.3). Точность приближения можно еще повысить, разбив кривые на отрезки до и после перегиба и найдя для них соответствующие параметры.

Таблица 3.3

Результаты расчета отметок, м, поверхности H_1 склона по уравнению (3.6) и их аппроксимации H_2 выражением (3.23) логистической функции (ошибка $\varepsilon = 100 (H_1 - H_2)/H_2, \%$)

L, м	Номер профиля на рис. 3.26								
	2			4			6		
	H_1	H_2	ε	H_1	H_2	ε	H_1	H_2	ε
0	100	99,9	-	100	99,7	-	100	98,3	-
200	98	99,5	2,1	98	98,0	0	91	94,1	5
400	95	98,0	3,2	90	92,2	2,8	74	84,5	23
600	93	12,4	-0,6	76	80,7	7,3	59	68,4	30
800	82	75,3	-8,3	57	61,4	9,9	47	50,4	18
1000	42	43,7	4,2	40	40,2	0,7	39	37,9	-10
1200	15	17,2	17,0	28	25,2	-18,0	34	31,7	-36
1400	7	6,2	-16,0	20	17,5	-27,0	30	29,1	-36
1600	4	2,9	-49,0	15	14,3	-26,0	28	28,2	-38
1800	2	2,1	49,0	13	13,0	0	28	27,8	103
2000	-	-	-	12	12,6	40,0	-	-	-
H_{max}		100,02			101,00			101,00	
H_{min}		1,81			12,30			27,60	
a		6,64			4,20			3,28	
b		0,0069			0,005			0,0051	
m_{HL}		2,90			2,60			5,40	

Примечание: величины H_1 и H_2 при расчетах принимались относительными, т.е. в виде $(H - H_{min})/(H - H_{max})$.

Рассмотренные теоретические выкладки и результаты численного эксперимента позволяют сделать ряд обобщений, важных для обоснования модели ЭАП. Из них укажем в первую очередь два положения.

1. Решение диффузионного уравнения с коэффициентом диффузии, определенным на основе положений теории взвесенесущего потока, гидравлики и фактических данных, полученных в физических экспериментах с применением лотков, приводит к уравнению (3.23), удовлетворительно аппроксимируемому ЛФ. Это означает, что уравнение достаточно адекватно описывает форму реальных склонов в рамках принятых допущений и схематизации физики процессов.

2. Решением диффузионного уравнения является функция нормального распределения, а она, в свою очередь, аппроксимируется ЛФ: $\sup |\psi(1,7x) - \Phi(x)| < 0,01$, где $\psi(x) = [1 + \exp(-x)]^{-1}$ – логфункция и $\Phi(x)$ – функция нормального распределения [200]. Из этого следует, что ЛФ достаточно адекватно описывается решением диффузионного уравнения.

Оба эти положения в совокупности означают, что гидродинамика взвесенесущих потоков и эволюция формы склона в ходе ЭАП объединяются в рамках фундаментального уравнения диффузии, что обосновывает фундаментальность логистической аппроксимации. Таким образом, развиваемое в работе положение о единстве ЭАП в системе «взвесенесущий поток – смыв и аккумуляция – эволюция склонов» получает надежное теоретическое обоснование. Тем самым обосновывается и постулат, что ЛФ как функция формы склона является адекватной моделью ЭАП в расчетах современной эрозии – аккумуляции и, следовательно, имеет очевидное прикладное значение. Предпочтительное применение логистической аппроксимации ЭАП для всего класса его проявлений – от выражения текущего, суммарного и исторического смыва (т.е. в эрозиоведении и почвозащитном земледелии) до геоморфологического анализа рельефа – очевидно, поскольку ЛФ получена в итоге рассмотрения закономерностей формирования ручейковой сети – исходной и главной формы проявления ЭАП. Этим обусловлена высокая адекватность описания ею формы склона и перспективность применения для оценок текущего смыва. В то же время именно параметры ручейковой сети являются камнем преткновения для применения теории гидродинамики и результатов точных экспериментов в лотках для расчетов смыва. С другой стороны, обнаружение логистического распределения скоростей во взвесе-

несущем потоке [192] позволяет применить ЛФ и для оценок мутности водных потоков.

Для окончательного суждения о возможности применения в этих целях ЛФ требуется ее сопоставление с известными методами (моделями) расчета смыва.

3.3.3. Оценка адекватности модели

Первый вариант оценки адекватности модели выполняется путем прямого сопоставления ЛФ с универсальным уравнением Службы охраны почв США (УУ СОП США) – уравнением Вишмайера-Смита, хорошо обеспеченным многолетними экспериментальными данными оценок дождевой эрозии в стационарных опытах. Это уравнение упрощенно представляется в виде

$$W_s = \alpha [K] I^n L^p, \quad (3.24)$$

где W_s – суммарный смыв (вынос, потери) почвы на отрезке прямого склона; α – коэффициент размерности и пропорциональности; $[K]$ – произведение коэффициентов, характеризующих энергию осадков, противоэрозионную стойкость почвы, роль противоэрозионных приемов и т.д.; I, L – соответственно уклон и длина отрезка склона; $n \approx p \approx 1,5$ – параметры.

Расчет W_s при постоянном уклоне, т.е. для прямого склона, выполняется непосредственно по уравнению (3.24). Для склонов произвольной формы W_s рассчитывается по отрезкам склона (в пределах которых уклон определяется как средний \bar{I}) разной длины [225] или равновеликим [311], а затем суммируется. Выполнив эту операцию в общем виде для склона, разбитого на $i = 1, 2, 3, \dots, m$ равных отрезков каждый длиной l (рис.3.27) и рассчитав для последовательных отрезков 01, 12, 23, ..., $m-1, m$ величины W_s , получим после суммирования значения W_s для всего склона.

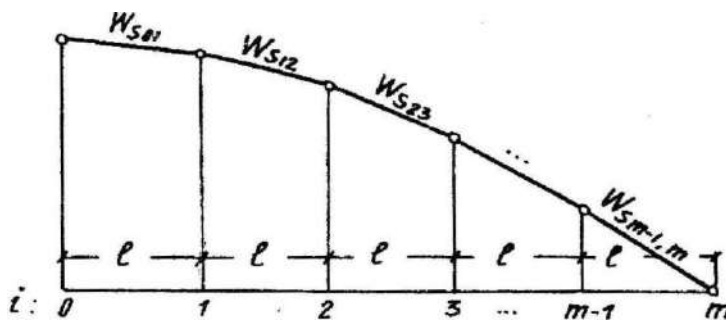


Рис. 3.27. Схема к расчету суммарного смыва W_s на склоне с переменным уклоном

Далее выполним сопоставление значений W_s с функциями падения.

На стадии предварительного анализа удобно вместо натуральных значений функций $P(L)$ и $I(L)$ рассматривать их относительные величины $P_{\Delta}(L_{\Delta})$ и $I_{\Delta}(L_{\Delta})$, приведенные к максимуму разности $P_{\max} - P_{\min}$ падений и максимуму длины $L_m = 2 L_n$, где L_n – расстояние от начала координат (точки водораздела) до точки перегиба функций $H(L)$ и $P(L)$. Тогда $L_{\Delta} = L/(2L_n) = L/L_m$. С учетом этого

$$P_{\Delta} = P_{\Delta}(L_{\Delta}) = P(L)/P_{\max} - P_{\min} = 1/(1 + \operatorname{sech}(-bL)) = 1/(1 + c\varphi_{\Delta}), \quad (3.25)$$

где $\varphi_{\Delta} = \exp(-2aL_{\Delta})$, так как $b = a/L_n = 2a/2L_n = 2a/L_m$, и

$$I_{\Delta} = I_{\Delta}(L_{\Delta}) = P'_{\Delta} = 2ac\varphi_{\Delta}/(1 + c\varphi_{\Delta})^2 = 2ac\varphi_{\Delta}P_{\Delta}^2. \quad (3.26)$$

Функции (3.25) и (3.26) принимают значения от $I_{\Delta 0}$ и $P_{\Delta 0}$ до единицы в области значений аргумента $L = 0 \dots 1$. Таким образом можно осуществить их анализ практически в любом интервале возможных величин функций в зависимости только от параметра a ЛФ, что очевидно выгоднее рассмотрения множества натуральных значений функций $P(L)$ и $I(L)$.

На рис. 3.28 и 3.29 представлены графики этих функций, нормированные не только по максимуму абсциссы, но еще и по максимальным значениям ординат, т.е. бинормированные.

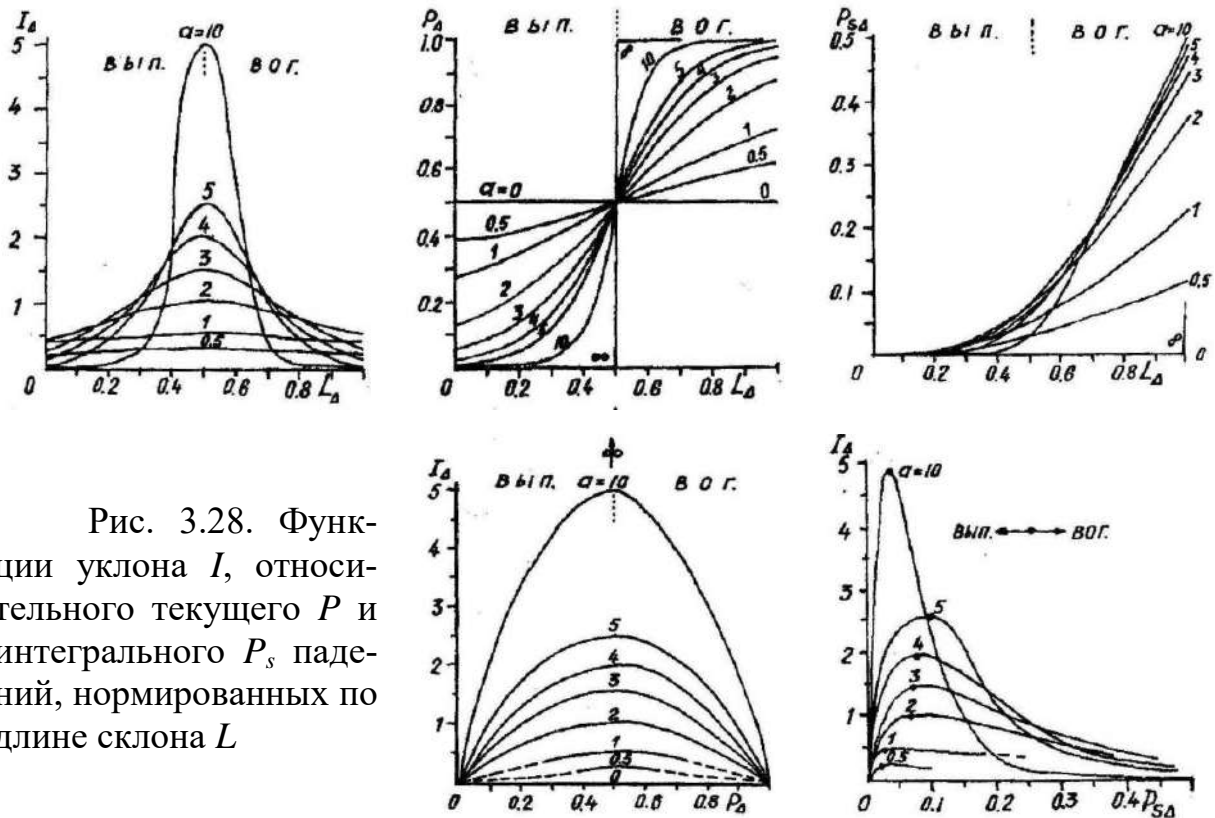


Рис. 3.28. Функции уклона I , относительного текущего P и интегрального P_s падений, нормированных по длине склона L

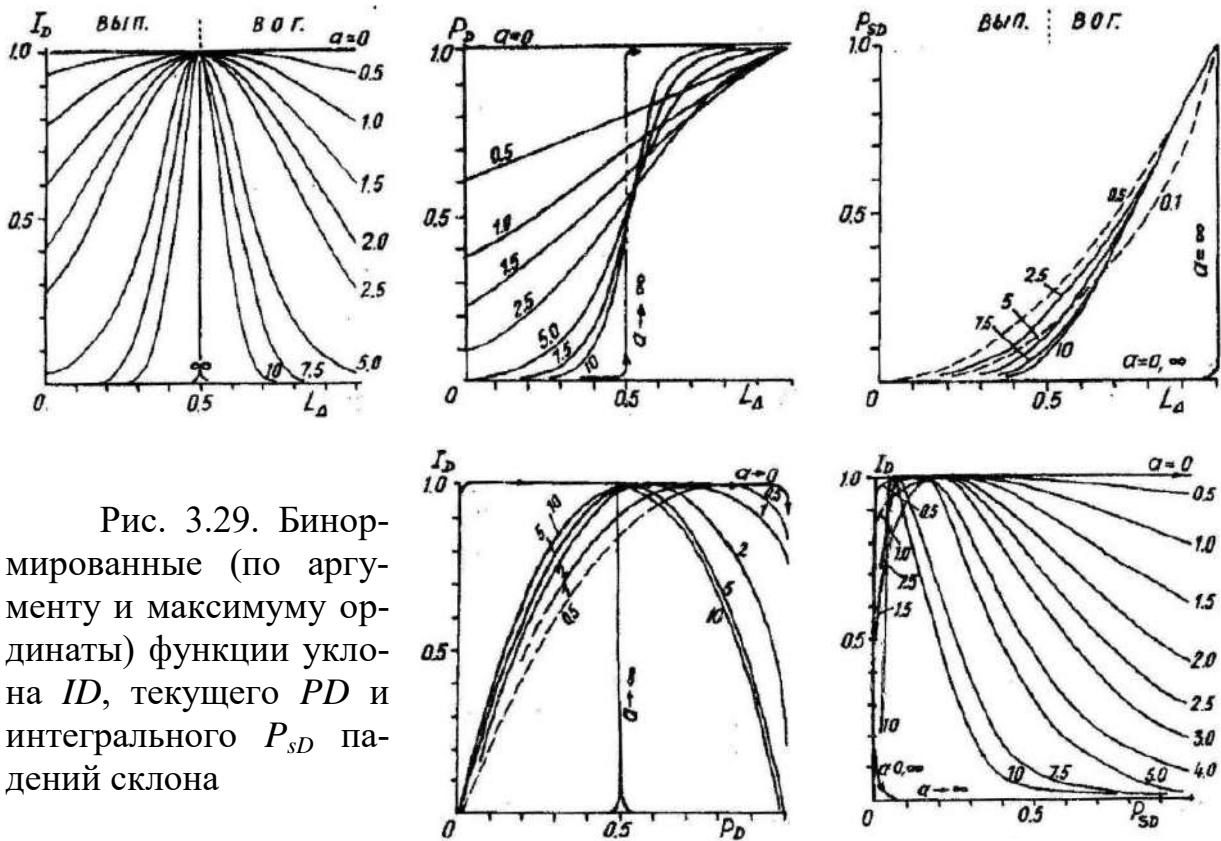


Рис. 3.29. Бинормированные (по аргументу и максимуму ординаты) функции уклона I_D , текущего P_D и интегрального P_{SD} падений склона

В соответствии с изложенным сопоставление адекватности функций падения и суммарного смыва по УУ СОП США выполнялось следующим образом. Функции W_s и P_D рассчитывались в относительных величинах по выражениям $W_{sD0,5} = W_s/W_{s0,5}$ и $W_{sD1,0} = W_s/W_{s1,0}$, $P_{D0,5} = (P_\Delta - P_{\Delta 0})/(P_{\Delta 0,5} - P_{\Delta 0})$ и $P_{D1,0} = (P_\Delta - P_{\Delta 0})/(P_{\Delta 1,0} - P_{\Delta 0})$. В этих отношениях индексы 0; 0,5 и 1,0 означают соответствующие величины W_s и P_Δ при $L = 0; 0,5$ и $1,0$. Таким образом, сопоставление относительных величин W_{sD} и P_D выполнялось отдельно только для выпуклой части склона ($L_\Delta = 0 \dots 0,5$) и в целом для всего выпукло-вогнутого склона ($L_\Delta = 0 \dots 1,0$) (рис. 3.30). После расчетов указанных отношений выполнялся регрессионный анализ связи величин падений и суммарного смыва путем линейной $y = \alpha + \beta x$ и параболической (степенной) $y = \alpha x^\beta$ аппроксимаций.

Результаты регрессионного анализа приведены в табл. 3.4.

Они позволяют сделать ряд важных заключений. Главное из них состоит в том, что как параболическое, так и линейное приближения функции смыва функцией формы склона (падения) довольно точны. Судя по ошибкам аппроксимации m_{yx} , линейное приближение в целом уступает параболическому в точности, но коэффициенты корреляции r весьма высоки. При полученных значениях коэффициентов корреля-

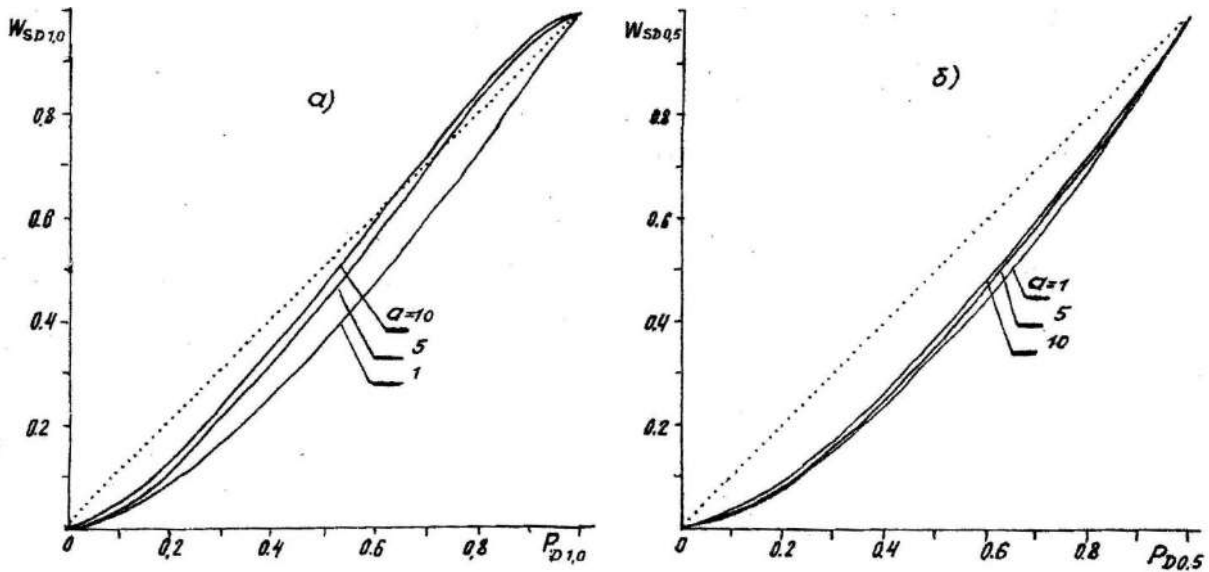


Рис. 3.30. Графики связи относительных величин смыва W_{SD} и падения склонов P_D для выпукло-вогнутого склона в целом (а) и его выпуклой части (б)

ции речь идет, по сути, не о регрессионной, а о функциональной связи между W_s и P . Тесноту линейной связи можно еще повысить, если пренебречь значениями W_s при малых аргументах ($L_\Delta < 0,15-0,20$). В этой области относительные ошибки велики, но абсолютные значения функции довольно малы. Практически это означает, что рассчитанные по разным функциям величины, хотя и будут различаться, но их абсолютные значения настолько малы, что сколько-нибудь существенно на расчетах смыва в целом со склонов не повлияют, тем более что для 80-90%-ной протяженности склонов расчеты по обеим функциям различаются с ошибкой не более нескольких процентов.

Обращает на себя внимание стабильность параметров и уравнений регрессии почти независимо от изменений параметра a ЛФ от 1 до 10, т.е. в очень широком диапазоне реальных склонов, находящихся на самых разных стадиях их эволюции – от начальных моментов ЭАП ($a = 10$) до его затухания на стадии вогнутых склонов ($a = 1$). Графики связи этих функций при разных значениях параметра a почти совпадают. Это значит, что устойчивость соотношения функций W_s и P отвечает требованию универсальности.

С учетом изложенного, несколько округляя величины параметров α и β и пренебрегая значениями свободных членов в линейных уравнениях, можно записать:

при параболической аппроксимации

$$W_s \sim P_{\Delta}^{1,5} \quad (3.27a)$$

и при линейной

$$W_s \sim P_{\Delta}. \quad (3.28б)$$

Таблица 3.4

Характеристики уравнений регрессии связи относительных величин суммарного смыва W_{sD} (уравнение СОП США) и формы склона (функция падения P_D)

Характеристики	Параболическая регрессия		Линейная регрессия	
	$W_{sD0,5} = f(P_{D0,5})$	$W_{sD1,0} = f(P_{D1,0})$	$W_{sD0,5} = f(P_{D0,5})$	$W_{sD1,0} = f(P_{D1,0})$
$a = 1$				
α	1,002	1,002	-0,142	-0,123
β	1,514	1,504	1,077	1,065
$\pm m_{yx}$	$3,61 \cdot 10^{-4}$	$7,19 \cdot 10^{-3}$	0,046	0,031
r	-	-	0,992	0,992
$\pm m_r$	-	-	0,041	0,029
$a = 5$				
α	1,051	1,0126	-0,069	-0,053
β	1,603	1,510	0,985	1,065
$\pm m_{yx}$	0,018	0,061	0,059	0,031
r	-	-	0,987	0,998
$\pm m_r$	-	-	0,058	0,017
$a = 10$				
α	1,155	1,147	-0,029	-0,020
β	1,592	1,535	0,966	1,029
$\pm m_{yx}$	0,055	0,094	0,051	0,025
r	-	-	0,989	0,999
$\pm m_r$	-	-	0,052	0,012

Из выражения (3.27) с учетом $W_T = W_s$, отбрасывая вторую часть после дифференцирования, получаем выражение для текущего смыва:

$$W_T \approx 1,5P_{\Delta}^{0,5}P_{\Delta} \approx 1,5P_{\Delta}^{0,5}I_{\Delta}. \quad (3.28)$$

а с учетом (3.26), откуда следует, что $P_{\Delta} = \sqrt{\sqrt{I_{\Delta}/2ac\phi}}$, после разложения экспоненциальной функции (ограничиваясь первым членом разложения) получаем

$$W_T = 1,5\alpha_1 \exp(0,5aL_{\Delta}) I_{\Delta} \sqrt{\sqrt{I_{\Delta}}} \approx 1,5\alpha_2 I_{\Delta}^{1,25} L_{\Delta}. \quad (3.29)$$

В диапазоне $a = 1-10$

$$W_T \approx 1,5\alpha a I_{\Delta}^{1,25} L_{\Delta}^{0,1...1,2}, \quad (3.30)$$

где $\alpha a \approx \exp(0,5a)$.

Поскольку же из (3.24) при $n \approx p \approx 1,5$ следует, что

$$W_T = W_s = \alpha_p I^n L^{p-1} \approx 1,5\alpha I^{1,5} L^{0,5}, \quad (3.31)$$

налицо достаточно большое сходство выражений (3.31) и (3.29, 3.30). Они, заметно различаясь по параметру длины склона, почти совпадают с точностью до параметра уклона. Для практики расчетов смыва это означает, что обе модели – УУ СОП США и функция формы склона – довольно близки в рамках параболической аппроксимации. Однако следует признать, что расхождения в параметре длины довольно значительны и, кроме того, α является функцией a . Последнее может быть истолковано как увеличение противоэрозионной устойчивости субстрата в ходе эволюции склона. Пониженная противоэрозионная устойчивость на ранних стадиях процесса может быть обусловлена большей долей вклада в эрозию делювиального процесса в подбровочной части, сложенной рыхлым обломочно-осыпным материалом.

Не обсуждая детали полученного расхождения, отметим, что его причины, видимо, обусловлены главным образом особенностями методики постановки опытов СОП США (малые линейные размеры опытных делянок). Как известно [225], стандартные делянки в США имеют длину 22,4 м и ширину около 2 м, что не обеспечивает формирование полноразвитого ручейкового смыва. Это дает основание прийти к главному выводу – модель смыва почв, основанная на отождествлении ЭАП с функцией формы склона, в достаточной степени отвечает требованию ее адекватности экспериментальным данным в рамках обобщения их УУ СОП США. Предлагаемая модель более предпочтительна, поскольку по своей сути форма реальных природных склонов является результатом «полнофакторного» естественного эксперимента, поставленного в «лаборатории» самой природы и автоматически учитывающего все (любые) сочетания самых разнообразных факторов ЭАП. Очевидно, что никакой эксперимент и никакая сколь угодно точная теория не в состоянии учесть всего разнообразия всех естественных факторов в их взаимодействии. И поскольку, несмотря на это разнообразие, форма склонов отличается практически повсеместной универсальностью [78, 80], имеются достаточные основания считать ее точным выражением закона ЭАП.

Рассмотренная совокупность результатов параболического приближения позволяет записать уравнение расчета смыва в виде

$$W_T = \alpha[K]h^s I \sqrt{L} = A \left(\frac{bc}{\Delta H} \varphi_1 P^2 \right)^{1,5} L, \quad (3.32a)$$

$$W_s = \int_{L_1}^{L_2} W_T dL, \quad (3.32б)$$

$$\bar{W} = W_s / (L_2 - L_1), \quad (3.32в)$$

где h_s – фактор слоя стока [220, 311]; \bar{W} – средний смыв почвы.

Для линейного приближения эти выражения еще более упрощаются:

$$W_T = \alpha[K]h^s I = A_l I = A_2 \varphi_l P^2, \quad (3.33a)$$

$$W_s = A^3 \int_{L_1}^{L_2} W_T dL = A_2 (P_2 - P_1), \quad (3.33б)$$

$$\bar{W} = A_3 (P_2 - P_1) / (L_2 - L_1), \quad (3.33в)$$

Теоретическое обоснование этих уравнений – отождествление функций смыва и формы склона – защищено а.с. 1449905 [17]. Полученные таким образом выражения пригодны для непосредственных расчетов текущего, суммарного и среднего смыва. Наиболее существенным моментом, отличающим расчеты по этим выражениям от известных, в том числе по УУ СОП США, является необходимость определения функции формы склона обычными приемами регрессионного анализа. Этот анализ значительно упрощается при применении ЭВМ.

Отметим также высокое соответствие относительных функций W_s и P_s (рис. 3.31).

Второй вариант оценки адекватности модели можно выполнить иным способом сопоставления ЛФ с УУ СОП США – путем разложения функции $I(L)$ в ряд Тейлора:

$$I_{\Delta}(L) = I_{\Delta 0} + \Gamma_{\Delta} L + I''_{\Delta} \frac{1}{2!} L^2 + I''_{\Delta} \frac{1}{3!} L^3 + \dots$$

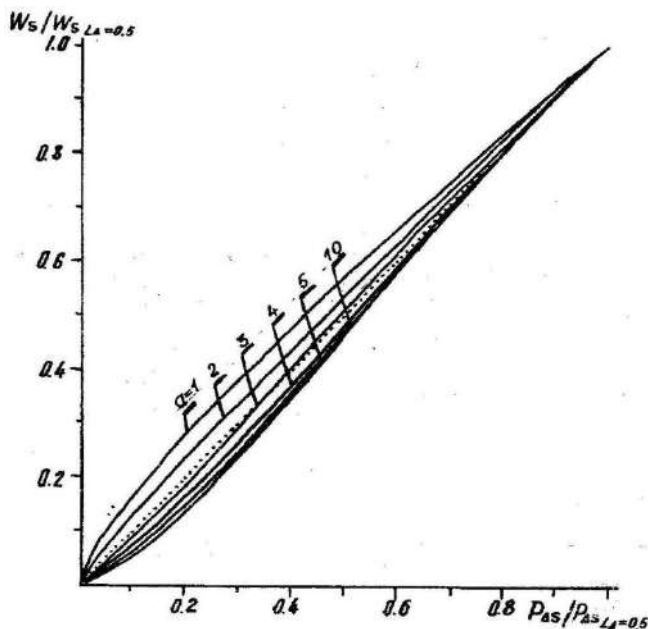


Рис. 3.31. График связи $P_{\Delta s} / P_{\Delta s L_{\Delta}} = 0,5$ и $W_s / W_{s L_{\Delta}} = 0,5$ для выпуклой части склона (пунктир – линия равных значений)

Ограничивая ряд только линейными членами, а также учитывая, что

$$\Gamma_{\Delta} = (2a)^2 c\varphi (c\varphi - 1) P_{\Delta}^3$$

и

$$I_{\Delta} = 2a c\varphi P_{\Delta}^2,$$

получим

$$I_{\Delta}(L) = I_{\Delta 0} + \frac{2a(c\varphi - 1)}{\sqrt{2a c\varphi}} I_{\Delta} \sqrt{I_{\Delta} L} = I_{\Delta 0} + \alpha_{\varphi} I_{\Delta} \sqrt{I_{\Delta} L_{\Delta}},$$

откуда

$$W_T \sim [I_{\Delta}(L) - I_{\Delta 0}] = \alpha_{\varphi} I_{\Delta} \sqrt{I_{\Delta} L_{\Delta}} = \alpha_{\varphi} I_{\Delta}^{1,5} L_{\Delta}. \quad (3.34)$$

где α_{φ} – некоторая функция параметра a ЛФ и L_{Δ} , а член $I_{\Delta}^{1,5} L_{\Delta}$ отличается от соответствующего члена УУ СОП США только большим показателем степени и тем, что здесь I_{Δ} есть вполне определенная функция.

Таким образом, уравнение (3.34) достаточно хорошо согласуется с УУ СОП США и с его первым вариантом приближения (3.31). Наиболее существенным отличительным моментом в данном случае является функциональность коэффициента $\alpha = \alpha_{\varphi}$. Однако при малых значениях L , особенно от начала профиля склона, т.е. для условий получения УУ СОП США, изменения невелики.

Третий вариант оценки адекватности модели выполняется исходя из допущения, что на каждом отрезке склона L , описываемого ЛФ $P(L)$, суммарный смыв W_s пропорционален как функции $P(L)$, так и выражению $I^m L^p$.

Запишем

$$P_{\Delta} = \alpha_L L_{\Delta}^{p_1} \quad (3.35)$$

и

$$P_{\Delta} = \alpha_1 L_{\Delta}^{m_1} \quad (3.36)$$

Дифференцируя, получим

$$P_{\Delta}^{\cdot} = I_{\Delta} = \alpha_L p_1 L_{\Delta}^{p_1 - 1} = p_1 \left(\alpha_L L_{\Delta}^{p_1} \right) \frac{1}{L_{\Delta}} = p_1 \cdot \frac{P_{\Delta}}{L_{\Delta}},$$

Откуда

$$p_1 = (I_{\Delta} L_{\Delta}) / P_{\Delta},$$

и аналогично

$$P_{\Delta}^{\cdot} = I_{\Delta} = \alpha_L m_1 (I_{\Delta}^{m_1} I_{\Delta}) / I_{\Delta} = m_1 (\alpha_1 I_{\Delta}^{m_1}) \frac{I_{\Delta}}{I_{\Delta}} = m_1 \frac{P_{\Delta} I_{\Delta}}{I_{\Delta}}$$

откуда

$$m_1 = I_{\Delta}^2 / (P_{\Delta} I_{\Delta}^{\cdot}). \quad (3.38)$$

Перемножая (3.35) и (3.36) и извлекая корень из обеих частей равенства, приходим к выражению

$$P_{\Delta} = \sqrt{\alpha_L \alpha_I I^{0,5m_1}} = A_4 I^{p_2} L^{m_2}, \quad (3.39)$$

где $A_4 = \sqrt{\alpha_L \alpha_I}$, $p_2 = 0,5p_1$, $m_2 = 0,5m_1$.

Графики $p_1(a, L_{\Delta})$ и $m_1(a, L_{\Delta})$ на рис.3.32 дают представление об изменении численных значений параметров функций в области $a = 1 \dots 10$ и $L_{\Delta} = 0 \dots 1$. Для выпуклой части склона ($L = 0 \dots 0,5$), таким образом, можно записать интервалы значений p_2 и m_2 :

$$\left. \begin{array}{l} p_2 = 0.8 \dots + \infty \\ m_2 = 0 \dots 0.5 \end{array} \right\} \text{при } a = 1$$

$$\left. \begin{array}{l} p_2 = 0.5 \dots + \infty \\ m_2 = 0 \dots 5 \end{array} \right\} \text{при } a = 10$$

Это значит, что $W_s \sim P \approx A_4 I_{\Delta}^{0,5 \dots 0,8} L_{\Delta}^{0 \dots a/2}$. Если ограничиться лишь интервалом $L_{\Delta} = 0 \dots 0,4$, на котором p_2 и m_2 возрастают одновременно, то

$$\left. \begin{array}{l} p_2 = 0.8 \dots 3 \\ m_2 = 0 \dots 0.5 \end{array} \right\} \text{при } a = 1$$

$$\left. \begin{array}{l} p_2 = 0.5 \dots 0.6 \\ m_2 = 0 \dots 5 \end{array} \right\} \text{при } a = 10$$

т.е. $W_s \sim P \approx A_4 I_{\Delta}^{0,5 \dots 3} L_{\Delta}^{0 \dots a/2}$ и после усреднения показателей степени $W_s = A_4 I_{\Delta}^{1,6} L_{\Delta}^{2,5}$. Дифференцирование W_s с отбрасыванием второго члена дает выражение $W_T = W_s' = A_4 I_{\Delta}^{1,6} L_{\Delta}^{2,5}$, что близко к значению параметра I_{Δ} в УУ СОП США, но заметно больше параметра L_{Δ} .

Таким образом, все выражения для разных вариантов сопоставления ЛФ и УУ СОП США

$$W_T \sim I^m L^{n-1} \approx I^{1,5} L^{0,5},$$

$$W_T \sim I^{1,25} L,$$

$$W_T \sim I^{1,6} L^{2,5},$$

заметно различаясь по диапазону значений параметра при I и L , согласуются с выражением $W_T \sim I = 2ac\phi P_D^2$ для выпуклой части склона.

На этом основании можно заключить, что так называемая «геоморфологическая» модель ЭАП хорошо согласуется с фактическими данными, обобщаемыми УУ СОП США.

Из последнего сопоставления следует, что коэффициент и параметры m и n в УУ СОП США носят, так сказать, «исторический» характер, т.е. на их величину влияет возраст поверхности склона. При этом по мере развития склона (увеличения параметра а ЛФ) роль ук-

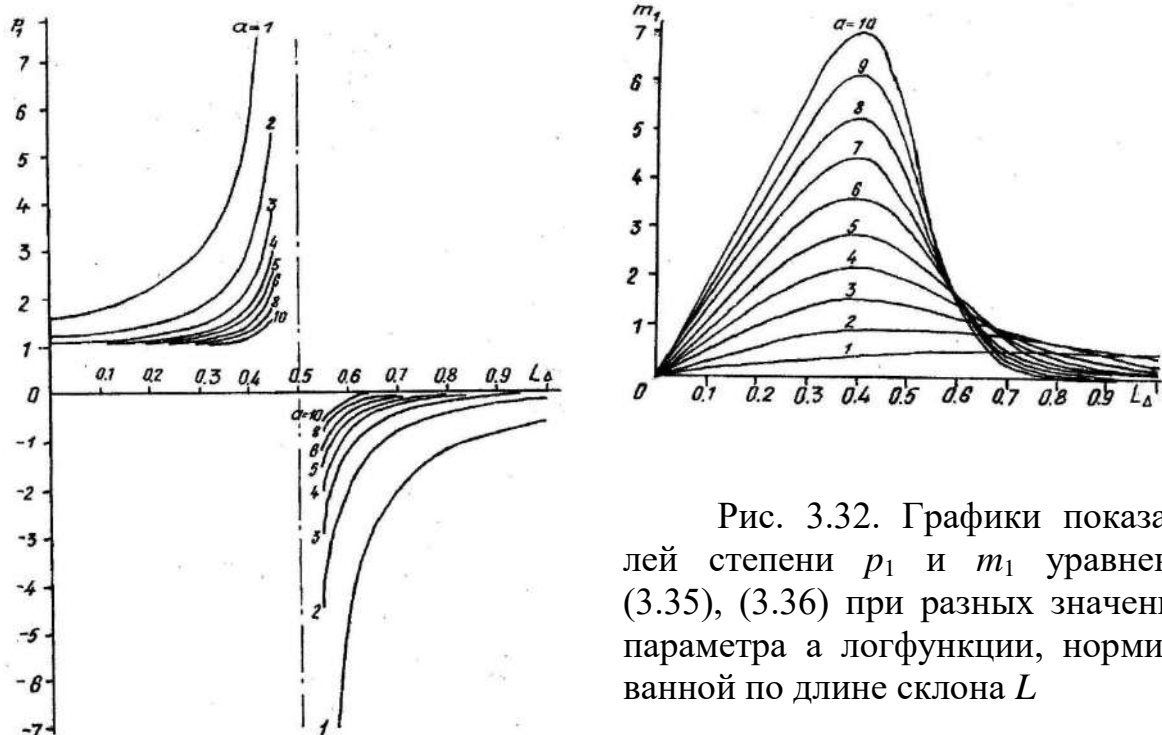


Рис. 3.32. Графики показателей степени p_1 и m_1 уравнений (3.35), (3.36) при разных значениях параметра α логфункции, нормированной по длине склона L

лона уменьшается, а роль длины возрастает. Другое следствие – это возрастание степени влияния как уклона, так и длины склона при движении от водораздела к подножию выпуклых склонов. Этими обстоятельствами в определенной степени может объясняться естественная вариация значений, m и p , действительно имеющая место в экспериментах СОП США и отечественных исследованиях [131, 359].

Следует отметить, что вопрос о показателе степени при уклоне в уравнениях расчета смыва типа УУ СОП США (Г. И. Швевса, Ц. Е. Мирцхулавы, Г. П. Сурмача, В. Д. Иванова и др.) обстоятельно обсуждался в литературе, поскольку обобщения эмпирических данных дают очень большой разброс величин. При этом Г. П. Сурмач полагал, что этот показатель больше единицы; В. Д. Иванов заключил, что он равен единице; Г. И. Швевс допускает то и другое, но в среднем полагает его больше единицы. При этом очевидный разноречивостью величин, по мнению ученых, объясняется спецификой экспериментов с нарушением принципа единственного различия. На наш взгляд, с учетом изложенного выше все эти точки зрения имеют право на существование. Дело в том, что о величине показателя степени судят только в рамках модели с «фактором рельефа» в виде $I^m L^n$, которая, как отмечалось, хотя и имеет физическое обоснование, но ограничена в силу отсутствия выражения функции формы склона. Ее анализ пока-

зал, что текущий смыв прямо пропорционален функции уклона (т.е. мнение В. Д. Иванова имеет некоторое основание по отношению к суммарному смыву). В то же время функция уклона нелинейна и ее параболическая аппроксимация дает значения показателя степени от 0,5 до ∞ , что хорошо подтверждается экспериментом. Таким образом, представление уравнения расчета смыва в виде ЛФ снимает вопрос о показателе степени при уклоне. Аналогичным образом решается и вопрос о показателе степени при длине, по которому в литературе также имеются разные суждения (так, Г. И. Швевс отмечал, что длина склона вообще не влияет на смыв, т.е. полагал показатель степени при длине равным нулю). Принимая функцию смыва адекватной ЛФ, следует признать также нелинейное изменение смыва по длине (в параболическом приближении показатель степени при длине изменяется от 0 до величины параметра a ЛФ).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ и обобщение фактических данных и известных теоретических положений позволили выдвинуть и разработать ряд концепций и моделей, определяющих существенно новую трактовку важных моментов физической сути эрозионно–гидрологического процесса (ЭГП) и его специфики в связи с противоэрозионной лесомелиорацией территории, а также прояснить аспекты парадигмы лесной мелиорации и ее методологии. Анализ многообразных локальных и пространственных функций ЗЛН позволяет выявить их специфичный сложный характер – детерминированный в приопушечной зоне и прикромовом пространстве и вероятностный квазистационарный вне зоны влияния насаждений.

Объектом лесомелиоративной науки является физика неравновесного (переходного) энергомассообмена в приземном слое атмосферы и почвогрунтах, а ведущим – метод градиентных сечений (трансект). Разработка системы новых более точных и производительных (в 3-5 и более раз) методов, приборов и устройств для исследования ЭГП, в том числе в полумодельных экспериментах с применением разработанного метода напуска воды, позволила получить ранее недоступные оценки явлений и процессов и накопить в сжатые сроки обширный фактический материал для верификации разнообразных моделей.

Важное значение для теории инфильтрации имеют выдвинутые концепции образования сплошной менисковой пленки и ледяного экрана. Они оказались весьма плодотворными в раскрытии природы взаимодействия осадков с почвой, установления критериев перехода безнапорной инфильтрации в напорную и начала стокообразования, определении особенностей усвоения влаги мерзлой почвой, специфики процесса термоинфильтрации талых вод, связанной с энергомассопереносом на границе раздела талой и мерзлой почвы. Анализ условий формирования талого стока привел к установлению правила: сток формируется при наличии ледяного экрана и, наоборот, наличие стока есть диагностический признак формирования ледяного экрана. Пред-

ложено уравнение для прогноза инфильтрации и стока талых вод на пашне и в лесных насаждениях. Показана возможность использования при прогнозировании дистанционной оценки поверхностной влажности мерзлой почвы взамен ручного отбора ее образцов, что существенно повышает оперативность и точность прогноза.

Концепция образования ледяного экрана, определяемого скоростью теплообмена, его протаивания и обусловленного этим поступления влаги в почву объясняет многие известные явления, в том числе эффект «запирающего слоя» (И.Л. Калюжный и др.) и главные парадоксы усвоения влаги оттаивающей почвой: формирование стока при исключительно низкой интенсивности снеготаяния (тысячные и сотые доли мм/мин) и значительном свободном меж- и внутриагрегатном поровом пространстве, а также равенство количества усвоенной почвой влаги ее дефициту (разности между полной влагоемкостью и естественной влажностью в талом слое). С этих позиций ясна бесперспективность рыхления, щелевания, кротования, поделки микрорельефа на пашне и т.п. приемов, не обеспечивающих контакта воды с талыми слоями почвы, и необходимость разработки приемов, уменьшающих промерзание почвы до глубины 30-50 см, а также устройство водопоглощающих рубежей с талой почвой.

Модель инфильтрации (водопоглощения) Ю. Б. Виноградова, адаптированная к условиям подтока вод полевого стока в лесные насаждения, позволяет адекватно обобщать экспериментальную информацию по стокорегулирующему эффекту лесополос, уплотненной пашни и зяби с подтоком и без него.

На основе предложенной концепции тождественности функций формы склона и эрозионно-аккумулятивного процесса (ЭАП) разработана теоретически обоснованная математическая модель единого ЭАП. Она базируется на фундаментальном уравнении диффузии, законах гидравлики и гидромеханики взвесенесущих потоков. Получена универсальная высокоточная функция (логистическая) формы выпукловогнутых склонов, выявлена их эволюция при денудации, позволяющая впервые рассчитывать текущие («точечные») значения отметок склонов, уклонов, смыва, морфометрические характеристики рельефа, выполнять расчеты противоэрозионных рубежей на заданную величину допустимого смыва. Эти разработки позволяют выполнять геоморфологическое, почвенно-эрозионное, ландшафтное картографирование, районирование и другие процедуры в автоматическом режиме с применением ЭВМ.

Разработана теория генезиса пространственно-временных форм эрозионных размывов (водороин, промоин, оврагов, долин) и их классификация на основе эволюции склонов в спонтанной последовательности «обрыв – обвально-осыпной – делювиальный склон – склоны делювиальной и аллювиальной аккумуляции». Обоснованы теоретические положения формирования плановых очертаний и трехмерной конструкции элементарных водосборов в ходе ЭАП. Причины обмеления рек связаны с эволюцией параметров водосборов, т.е. с этапом их геоморфологического и биоклиматического развития (незавершенностью валдайского эрозионно-аккумулятивного цикла рельефообразования) на фоне действия антропогенного фактора. Сформулированы математические критерии, объединяющие геоморфологические концепции В. Дэвиса и В. Пенка. Параметры водосборов позволяют оценивать характеристики систем ЗЛН при перспективном планировании и составлении региональных и генеральных схем лесомелиоративных и иных почвоводоохранных мероприятий.

Совокупность теоретических, методических и прикладных разработок может быть использована при решении обширного круга вопросов научной, учебной и практической деятельности (планирование, проектирование, осуществление почвозащитных мероприятий) в лесомелиорации и других сферах, относящихся к рационализации взаимоотношений человека и природы: экологии, физической географии, геоморфологии, эрозиоведении, почвозащитном земледелии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверьянов С. Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод. – М.: Колос, 1982. – 237 с.
2. Аверьянов Ф. Лесомелиоративное дело в РСФСР в прошлом и его современные задачи // Лесовод. – 1927. – № 11. – С. 23-30; 1927. – С. 19-30.
3. Агролесомелиорация / Под ред. Н. М. Горшенина. – М.: ОГИЗ-Сельхозгиз, 1941. – 392 с.
4. Агролесомелиорация // Краткая географическая энциклопедия. – М., 1960. – С. 572-573.
5. Адамов Н. П. Факторы плодородия русского чернозема. Климат и физические свойства. – Спб., 1904. – Ч. 1.
6. Алексеев Г. А. Объективные статистические методы распределения характеристик ливневых осадков // Метеорология и гидрология. – 1966. – № 7. – С. 22-27.
7. Арманд А. Д. Информационные модели природных комплексов. – М.: Наука, 1975. – 126 с.
8. Арманд Д. Л. Естественный эрозионный процесс // Изв. АН СССР: Сер. геогр. – 1955. – № 6. – С. 3-17.
9. Арманд Д. Л. Антропогенные эрозионные процессы / Сельскохозяйственная эрозия и борьба с ней. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – С. 7-37.
10. Арманд Д. Л. Физико-географические основы проектирования сети полевых защитных лесных полос. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 368 с.
11. Арманд Д. Л. Наука о ландшафте (Основы теории и логико-математические методы). – М.: Мысль, 1975. – 288 с.
12. Арманд Д. Л. Естественный эрозионный процесс // Географическая среда и рациональное использование природных ресурсов. – М.: Наука, 1983. – С. 56-70.
13. Арнольд В. И. Теория катастроф. – М.: Наука, 1990. – 128 с.
14. А.с. 886766 СССР. Способ оценки эффективности противозерозионных и стокорегулирующих приемов на склонах / Е. А. Гаршинев, М. К. Пружина, Н. И. Картамышев и др. // Открытия. Изобретения. – 1981. – № 45. – С. 3-4.
15. А.с. 898323 СССР. Способ определения водопроницаемости почв и устройство для его осуществления / Е. А. Гаршинев, В. К. Подгорный и др. // Открытия. Изобретения. – 1982. – № 2. – С. 200.
16. А.с. 998901 СССР. Почвенный пробоотборник / Е. А. Гаршинев, В. К. Подгорный и др. // Открытия. Изобретения. – 1983. – № 7. – С. 233.
17. А.с. 1449905 СССР. Способ оценки смыва почв на склонах / Е. А. Гаршинев, А. Т. Барабанов и др. // Открытия. Изобретения. – 1989. – № 1. – С. 191.

18. А.с. 1586531 СССР. Способ оценки эрозии и аккумуляции почвы / Е. А. Гаршинев, А. В. Терешкин // Открытия. Изобретения. – 1990. – № 31. – С. 5.
19. Афанасьева Н. Н., Панфилов В. П. О корреляции между механическим составом, наименьшей влагоемкостью и максимальной гигроскопичностью почв и грунтов // Почвоведение. – 1969. – № 2. – С. 95-104.
20. Бажин П. А., Павлова К. К. Интегральные показатели водопоглотительной способности почв // Метеорология и гидрология. – 1978. – № 6. – С. 71-76.
21. Барабанов А. Т. Агролесомелиорация в почвозащитном земледелии. – Волгоград, 1993. – 156 с.
22. Барабанов А. Т. Закон лимитирующих факторов стока талых вод // Докл. РАСХН. – 1994. – № 6. – С. 36-38.
23. Басов Г. Ф., Грищенко М. Н. Гидрологическая роль лесных полос. – М.: Гослесбумиздат, 1963. – 200 с.
24. Бевен К. Модели с распределенными параметрами // Гидрогеологическое прогнозирование / Пер. с англ. – М., 1988. – С. 496-534.
25. Белов В. В. Гидролого-морфологические условия зарождения и развития оврагов: Автореф. дис. ... к.г.н. – Одесса, 1989. – 18 с.
26. Белолипский В. А., Шелякин Н. М., Игуменцев А. Ф. О методах изучения эрозионных процессов // Почвоведение. – 1985. – № 5. – С. 98-105.
27. Бенгтссон Л., Симмонс А. Прогноз погоды на средние сроки: опыт оперативной работы в ЕЦ СПП // Крупномасштабные динамические процессы в атмосфере / Пер. с англ. – М., 1988. – С. 373-400.
28. Берталанфи Л. фон. История и статус общей теории систем // Системные исследования. – М.: Наука, 1973. – С. 20-37.
29. Бефани А. Н. Основы теории ливневого стока // Тр. ОГМИ, 1958. – Ч. 2. – Вып. 14. – 310 с.
30. Бефани Н. Ф., Коновалова Н. И. О расчетных формулах впитывания ливневых вод // Тр. ОГМИ, 1958. – Вып. 15. – С. 93-103.
31. Бисвас А. К. Человек и вода: Из истории гидрологии / Пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 288 с.
32. Бисвас А. Системный подход к управлению водным хозяйством // Системный подход к управлению водными ресурсами. – М.: Наука, 1985. – С. 12-24.
33. Битюков К.К. Величина дождевых капель и их воздействие на почву // Метеорология и гидрология. – 1952. – № 6. – С. 33-35.
34. Блютген И. География климатов / Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1972. – Т. 1. – 428 с.
35. Бобровицкая Н. Н. Водная эрозия на склонах и сток речных наносов: Автореф. дис. ... д.г.н. – Спб., 1995. – 58 с.

36. Богданов А. А. Всеобщая организационная наука (тектология). – В 3-х т. – М., 1905-1924.
37. Бодров В. А., Глобус А. М. Определение коэффициента турбулентной диффузии $D(\theta)$ почвогрунтов методом регулярного потока // Почвоведение. – № 12. – С. 126-133.
38. Болиг А. Кривая равновесия склонов / Очерки геоморфологии. – М.: Изд-во ИЛ, 1956. – С. 204-237.
39. Борисов А. А. Климаты СССР. – М.: Просвещение, 1976. – 296 с.
40. Бочков А. П. Влияние леса и агролесомелиоративных мероприятий на водность рек лесостепной зоны европейской части СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1954. – 135 с.
41. Брауде И. Д. Эрозия почв, засуха и борьба с ними в ЦЧО. – М.: Наука, 1965. – 140 с.
42. Будаговский А. И. Впитывание воды в почву. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 139 с.
43. Будыко М. И., Соколов А. А. Водный баланс земного шара // Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – С. 569-574.
44. Булыгин С. Ю., Лисецкий Ф. Н. Микроагрегированность как показатель противоэрозионной стойкости почв // Почвоведение. – 1991. – № 12. – С. 98-104.
45. Бурыкин А. М. Зональные и микрозональные особенности эрозии (на примере субтропических областей) // Науч. тр. ВАСХНИЛ. – М.: Колос, 1975. – С. 9-13.
46. Бурыкин А. М. Водопроницаемость почв в зависимости от мутности воды и времени года // Почвоведение. – 1982. – № 6. – С. 66-73.
47. Бутаков Г. П. Опыт математической характеристики формы продольного профиля рек // Геоморфология. – 1970. – № 4. – С. 74-79.
48. Бялый А. М. Система лесных полос и воспроизводство водных ресурсов чернозема // Почвоведение. 1980. – № 10. – С. 87-88.
49. Вайсберг Дж. Погода на Земле. Метеорология / Пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 248 с.
50. Васильев И. С. К методике изучения влажности почв // Проблемы советского почвоведения. – М.: Изд-во АН СССР, 1939. – Сб. 9.
51. Васильев И.С. Несколько данных о водоудерживающей способности песков // Вопр. географии. – М., 1949. – Вып. 13.
52. Васильев И. С. Водный режим подзолистых почв // Тр. ПИ АН СССР. – М. – Л., 1950. – Т. 32. – С. 74-296.
53. Васильев Ю. И. Теоретические основы и практическая реализация оптимизации параметров системы полезащитных лесных полос в районах активного проявления ветровой эрозии почв: Автореф. дис. ...д.с.-х.н. – Волгоград, 1990. – 49 с.

54. Великанов М. А. Динамика русловых процессов. – М. – Л.: Гидрометеиздат, 1946. – 521 с.
55. Вериго С. А., Разумова П. П. Почвенная влага. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 328 с.
56. Веселовский Е. С. О климате России. – Спб.: АН, 1857. – С. 312-313.
57. Вильямс В. Р. Значение трудов В. В. Докучаева в развитии почвоведения (вводная статья к кн. В. В. Докучаева «Русский чернозем»). – М. – Л.: ОГИЗ-Сельхозгиз, 1936.
58. Виноградов В. Н. Перспективы развития агролесомелиоративной науки // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1983. – Вып. 2(79). – С. 3-16.
59. Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. Опыт критического анализа. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 312 с.
60. Вихри и волны // Механика. Новое в зарубежной науке. – Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – Вып. 33. – 336 с.
61. Вишневський П. Ф. Зливи і зливовий стік на Україні. – Київ: Наукова думка, 1964. – 291 с.
62. Водогретский В. Е., Зайцева Э. А., Ефимова Л. В. Склоновый сток и его изменение под влиянием агротехнических и лесомелиоративных мероприятий // Тр. ГГИ. – Л.: Гидрометеиздат. – 1973. – Вып. 206. – С. 172-207.
63. Воейков А. И. Метеорология. Ч. II. – Спб., 1903.
64. Володин В. М. Агроэкологические основы регулирования почвенного плодородия. – Дис. ...д.с.-х.н. в форме науч. докл. – Минск, 1991. – 59 с.
65. Воронин А. Д. Основы физики почв. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 244 с.
66. Воскресенский С. С. Типичные профили склонов // Вопр. географии. – М., 1971. – Сб. 85. – С.10-24.
67. Высоцкий Г. Н. Лесоводство и лесоведение // Лесное хозяйство. – 1928. – № 7-8. – С. 3-8.
68. Высоцкий Г.Н. Избранные сочинения. – Т. I-II. – М.: Изд-во АН СССР, 1962.
69. Вычислительная математика / Данилина Н. И., Дубровская Н. С. и др. – М.: Высшая школа, 1985. – 472 с.
70. Гаврик П. А., Назарова Д. И. Корреляционная зависимость между впитыванием влаги и физическими свойствами черноземов обыкновенных // Почвоведение. – 1973. – № 11. – С. 149-151.
71. Гаврилица А. О., Папук В. В. Крутизна склона и механизм его влияния на досточковую поливную норму при дождевании // Почвоведение. – 1989. – № 12. – С. 111-117.
72. Гаель А. Г., Зюзь Н. С. Столетние культуры сосны на песчаных почвах степного Дона // Биологические науки. – 1985. – № 7. – С. 85-92.

73. Гаршинев Е. А. Величина водопоглощения в насаждениях и некоторые факторы, ее определяющие // Мат. н.-т. конф. ... – Волгоград, 1968. – С. 33-38.

74. Гаршинев Е. А. Изучение водопроницаемости серых лесных почв полевых и лесных угодий при искусственном дождевании // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1970. – Вып. 8(60). – С. 44-46.

75. Гаршинев Е. А. О влиянии уклона на поверхностный сток // Науч. тр. ВАСХНИЛ. – М.: Колос, 1977. – С. 56-65.

76. Гаршинев Е. А. Классификация форм эрозионного размыва на основе генетического анализа их пространственно-временной эволюции // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1984. – Вып. 2(43). – С. 11-15.

77. Гаршинев Е. А. Аналитическое описание формы горизонталей // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1987. – Вып. 2(51). – С. 55-56.

78. Гаршинев Е. А. Применение логистической функции как универсальной зависимости для описания продольного профиля склонов разной формы // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1987. – Вып. 3(52). – С. 51-54.

79. Гаршинев Е. А. Формально-генетический анализ горизонталей (рельефа местности) в связи с контурным размещением противоэрозионных лесонасаждений // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1988. – Вып. 1(93). – С. 79-91.

80. Гаршинев Е.А. Аналитическое выражение единого эрозионно-аккумулятивного процесса универсальной функцией формы склона // Сб. науч. тр. ИПФ. – Пущино, 1990. – С. 121-126.

81. Garshinev Ye. A. Accumulation de l'erosion et methodes de son etude // Agroforestrie dans les zones arides et semiarides. – Recuell de conferences. – PNUE-ИKRAF. – Moscou, 1990. – P. 376-392. 82. Гаршинев Е. А. Единый эрозионно-аккумулятивный процесс (ЭАП): концепция, модель, расчет // Тез. докл. Всесоюз. науч. конф. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – С. 38-39.

83. Гаршинев Е. А. Концептуально-методологические аспекты лесомелиорации // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1993. – Вып. 1(105). – С. 12-24.

85. Гаршинев Е. А. Водопоглощение при подтоке в лесное насаждение // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1995. – Вып. 1(106). – С. 158-173.

86. Гаршинев Е. А., Сурмач Г. П. Повышение эффективности водорегулирующей роли лесонасаждений на серых лесных почвах // Вестн. с.-х. науки. – 1971. – № 7. – С. 93-99.

87. Гвоздецкий Н. А., Голубчиков Ю. Н. Горы. – М.: Мысль, 1987. – 399 с.

88. Гельфан А. Н. Сравнение результатов применения двух методов расчета глубины промерзания почвы // Метеорология и гидрология. – 1989. – № 2. – С. 98-104.

89. Герайзаде А. П., Юсифов А. Г., Исмаилов Дж. М. О тепловом потоке в почву // Почвоведение. – 1975. – № 12. – С. 58-63.
90. Герасименко В. П., Буруменский В. С., Шадрин В. И. Методика расчета весеннего склонового стока // Н.-т. бюл. ВНИИЗиЗПЭ. – Курск, 1985. – Вып. 1(44)-85. – С. 25-32.
91. Герасимов И. П. О движении почвенно-грунтовых масс на склонах // Почвоведение. – 1941. – № 7-8. – С. 74-85.
92. Германюк Д. Д. Исследование влияния длины и крутизны склонов на процессы ливневой эрозии почв. – Автореф. канд. дис. ... – Кишинев, 1973.
93. Глобус А. М. Физика неизотермического внутрипочвенного влагообмена. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 278 с.
94. Гончаров В. Н. Основы динамики русловых потоков. – Л.: Гидрометеиздат, 1954. – 452 с.
95. ГОСТ 18486-73. Лесоводство: термины и определения. – М. – Госкомстандарт, 1973. – 13 с.
96. ГОСТ 26462-85. Агролесомелиорация. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 8 с.
97. Грин А. М. Динамика водного баланса Центрально-Черноземного района. – М.: Наука, 1965. – 148 с.
98. Гришанин К. В. Динамика русловых потоков. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 341 с.
99. Грунтоведение / Сергеев Е. М., Голодковская Г. А. и др. – М.: Изд-во МГУ, 1971. – 595 с.
100. Гудзон Н. Охрана почвы и борьба с эрозией. – Пер. с англ. – М.: Колос, 1974. – 304 с.
101. Девдариани А. С. Вклад Западной Европы, США и СССР в изучение рельефа поверхности Земли математическими методами // Рельеф Земли и математика. – М., 1967. – С. 5-17.
102. Дедков А. П., Можерин В. И. Эрозия и сток наносов на Земле. – Казань: Изд-во Каз. Ун-та, 1984. – 264 с.
103. Джефферс Дж. Введение в системный анализ: применение в экологии / Пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – 253 с.
104. Динамика масс снега и льда / Пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. 456 с.
105. Динесман Л. Г., Киселева Н. К. Роющая деятельность млекопитающих в почвах // Почвоведение. – 1991. – № 8. – С. 18-30.
106. Докучаев В. В. Способы образования речных долин европейской России. – Спб., 1878. – 222 с.
107. Долгилевич М. И. Некоторые методологические вопросы исследования сельскохозяйственной продуктивности лесоаграрных ландшафтов // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1983. – Вып. 2(79). – С. 26-41.

108. Долгилевич М. И., Швобс Г. И., Зыков И. Г. Научные основы прогнозирования и система предупреждения эрозионных процессов. – М.: Колос, 1992; Волгоград: ВНИАЛМИ, 1993. – 147 с.

109. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1979. – 416 с.

110. Дудкин П. А. Скорости течения воды по поверхности водосбора и методы их изучения // Метеорология и гидрология. – 1937. – № 9.

111. Дэвис В. М. Геоморфологические очерки / Пер. с англ. – М.: Изд-во ИЛ, 1962. – 455 с.

112. Дюнин А. К. Механика метелей (вопросы теории проектирования снегорегулирующих средств). – Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1963. – 378 с.

113. Дюшофур Ф. Основы почвоведения / Пер с франц. – М.: Прогресс, 1970. – 591 с.

114. Ерхов Н. С., Кантор О. В. Опыт определения водопроницаемости почв Волковской оросительной системы в Поволжье // Почвоведение. – 1975. – № 8. – С. 74-80.

115. Есин Н. В., Дмитриев В. Д. Эрозионное воздействие капель дождя и некоторые закономерности эволюции склонов // Геоморфология. – 1975. – № 4. – С. 68-73.

116. Ефремов Ю. К. Природа моей страны. – М.: Мысль, 1985. – 350 с.

117. Ефремова Н.И. Месячные количества атмосферных осадков, средние для районов европейской территории СССР и Северного Казахстана. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 112 с.

118. Железнов Г.Ф. Выступление на Всесоюзной конференции по борьбе с засухой // М.: Изд-во НКЗ СССР и Крест. газеты. – 1931. – Бюл. № 6.

119. Железняков Г. В., Данилевич Б. Б. Точность гидрологических измерений и расчетов. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 240 с.

120. Зайченко К. И. Закономерности распространения луговых почв в балках степи и полупустыни юго-востока европейской части РСФСР // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1990. – Вып. 1(99). – С. 111-125.

121. Заславский М. Н. Эрозия почв. – М.: Мысль, 1979. – 246 с.

122. Заславский М. Н., Ларионов Г. А., Литвин Л. Ф. Механизм и закономерности проявления процесса // Эрозионные процессы. – М., 1984. – С. 31-44.

123. Захар Д. Об основных эрозионных терминах // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1981. – Вып. 2(73). – С. 166-178.

124. Захаров В.В. Пути повышения продуктивности земель, мелиорируемых лесными полосами: Автореф. дис. ...д.с.-х.н. – Горький, 1977. – 43 с.

125. Звонков В. В. Водная и ветровая эрозия Земли. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 175 с.

126. Звонкова Т. В. Прикладная геоморфология. – М.: Высшая школа, 1970. – 272 с.
127. Зыков И. Г. Научные основы лесной мелиорации гидрографической сети степных районов европейской части СССР: Автореф. дис. ...д.с.-х.н. – Волгоград, 1983. – 48 с.
128. Зыков И. Г., Зубов А. Р. Сублимация и испарение снега на лесомелиорированных землях // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1991. – Вып. 3(104). – С. 33-40.
129. Зыков И.Г., Помещиков С.П. Эрозионно–аккумулятивные процессы на водосборах малых рек Среднего Дона // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1988. – Вып. 1(93). – С. 148-159.
130. Иванов В. Д. Влияние влажности и глубины промерзания почв на поверхностный сток талых вод // Почвоведение. – 1982. – № 6. – С. 80-86.
131. Иванов В. Д. Влияние крутизны и длины склона на смыв почвы // Почвоведение. – 1983. – № 5. – С. 115-123.
132. Иванов П. В. Метод количественной характеристики формы продольного профиля реки // Изв. ВГО. – 1951. – Т. 83, вып. 6. – С. 584-594.
133. Ивенс Р. Механика водной эрозии и ее регулирование во времени и пространстве: эмпирическая точка зрения // Эрозия почвы / Пер. с англ. – М., 1984. – С. 155-177.
134. Ивонин В. М. Агролесомелиорация разрушенных оврагами склонов. – М.: Колос, 1983. – 174 с.
135. Ивонин В. М. Системный подход в противозэрозионной лесомелиорации // Лесоведение. – 1985. – № 4. – С. 17-26.
136. Ивонин В.М. Противозэрозионные мелиорации водосборов в районах оврагообразования. – М., 1992. – 378 с.
137. Игошин Н. И. Оценка факторов ливневого смыва почв юго-запада Украины и Молдавии для обоснования противозэрозионного проектирования: Автореф. дис. ...к.г.н. – Одесса, 1982. – 23 с.
138. Идзон П. Ф., Пименова Г. С. Влияние леса на сток рек. – М.: Наука, 1975. – 111 с.
139. Изучение водопоглощающего и противозэрозионного влияния защитных лесонасаждений в комплексе с другими мероприятиями: Методические рекомендации / Г. П. Сурмач, А. Т. Барабанов, Е. А. Гаршинев и др. – М.: ВАСХНИЛ, 1975. – 96 с.
140. Ильин Р. С. Происхождение лёссов. – М.: Наука, 1978. – 236 с.
141. Имакова С. Т. Некоторые особенности движения воды в поливных бороздах // Эрозионные и селевые процессы и борьба с ними. – Тбилиси, 1978. – Вып. 6. – С. 50-54.
142. Инструкция по определению расчетных гидрологических характеристик при проектировании противозэрозионных мероприятий на евро-

пейской территории СССР. – ВСН 04-77. Госкомгидромет. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 62 с.

143. Казанский Б. А. Роль уравнения диффузии в математической геоморфологии // Геоморфология. – 1990. – № 2. – С. 20-26.

144. Калиниченко Н.П., Ильинский В.В. Лесомелиорация овражно-балочных систем. – М.: Лесн. пром-сть, 1976. – 200 с.

145. Калюжный И. Л., Морозова Н. С., Павлова К. К., Романов В. В. Теплофизический метод расчета потерь талых вод на инфильтрацию в мерзлую почву // Метеорология и гидрология. – 1972. – № 1. – С. 76-82.

146. Калюжный И. Л., Павлова К. К. Формирование потерь талого стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 160 с.

147. Калюжный И. Л., Павлова К. К., Лавров С. А. Физическое моделирование процессов миграции влаги при промерзании почв // Метеорология и гидрология. – 1984. – № 1. – С. 77-85.

148. Калюжный И. Л., Павлова К. К., Лавров С. А. Гидрофизическое обоснование мероприятий по задержанию талых вод на полях зоны богарного земледелия // Метеорология и гидрология. – 1985. – № 7. – С. 90-100.

149. Кантуэл Б. Дж. Организованные движения в турбулентных потоках // Вихри и волны / Пер. с англ. – М., 1988. – Вып. 33. – С. 9-79.

150. Караушев А. В. Теория и методы расчета речных наносов. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 271 с.

151. Кац Д. М. Основы геологии и гидрогеологии. – М.: Колос, 1981. – 351 с.

152. Качинский Н. А. Замерзание, размерзание и влажность почвы в зимний сезон в лесу и на полевых участках. – М.: Изд-во МГУ, 1927. – 168 с.

153. Качинский Н.А. Физика почвы. Водно-физические свойства и режимы почв. – М.: Высшая школа, 1970. – Ч. II. – 358 с.

154. Керкби М. Дж. Гидролого-гидрогеологические условия склонов // Гидрогеологическое прогнозирование / Пер. с англ. – М., 1988. – С. 54-102.

155. Кинг Л. Морфология Земли / Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1967. – 559 с.

156. Китредж Дж. Влияние леса на климат, почвы и водный режим / Пер. с англ. – М.: Изд-во ИЛ, 1951.

157. Киркби М. Движение грунта // Неспokoйный ландшафт / Пер. с англ. – М., 1981. – С. 37-48.

158. Киркби М. Дж. Моделирование процессов водной эрозии // Эрозия почвы / Пер. с англ. – М., 1984. – С. 252-295.

159. Киркби М. Дж. Эрозия и окружающая среда // Эрозия почвы / Пер. с англ. – М., 1984. – С. 11-23.

160. Ковтун А. П., Глаголева И. И. Коррелятивные зависимости водопроницаемости почв // Почвоведение. – 1979. – № 12. – С. 81-93.

161. Козменко А. С. Краткий предварительный отчет заведующего А. С. Козменко о ходе оценочно-гидрологических исследований в 1909 году. – Тула, 1909.
162. Козменко А. С. Основы противоэрозионной мелиорации. – М.: Сельхозгиз, 1954. – 421 с.
163. Козменко А. С. Теоретические основы борьбы с эрозией почв // Итоги работы института, опытных станций и пунктов. – Волгоград, 1961. – Вып. 35. – Т. I. – С. 67-99.
164. Козменко А. С., Ивановский А. Д. Режим поверхностного стока в центральной лесостепи // Гидротехника и мелиорация. – 1953. – № 1. – С. 3-18.
165. Коль С. А. Полевые экспериментальные исследования потерь дождя на инфильтрацию методом искусственного дождевания в Сальской степи // Тр. ГГИ. – Л., 1950. – Вып. 24(78). – С. 72-108.
166. Коль С. А. Исследование инфильтрационной способности почв сельскохозяйственных полей и лесных полос в Каменной Степи // Тр. ГГИ. – Л., 1952. – Вып. 34(88). – С. 112-143.
167. Комаров В. Д. О водопроницаемости мерзлого песка // Материалы по лабораторным исследованиям мерзлых грунтов. – М., 1957. – Сб. 3. – С. 142-148.
168. Комаров В. Д. Весенний сток равнинных рек европейской части СССР, условия его формирования и методы прогнозов. – М.: Гидрометеоздат, 1959. – 295 с.
169. Конке Г., Бертран А. Охрана почвы / Пер с англ. – М.: Сельхозгиз, 1962. – 343 с.
170. Константинов А. Р. Оценка влияния полезащитных лесонасаждений на атмосферные осадки // Тр. ГГИ. – Л., 1952. – Вып. 34(88).
171. Константинов А.Р. Испарение в природе. – Л.: Гидрометеоздат, 1963. – 590 с.
172. Копанев И. Д. Снежный покров на территории СССР. – Л.: Гидрометеоздат, 1978. – 182 с.
173. Корнев Я. В. Эрозия почвы как фактор урожайности // Эрозия почв. – М. – Л., 1937. – С. 187-246.
174. Коронкевич Н.И. Преобразование водного баланса. – М.: Наука, 1973. – 118 с.
175. Коронкевич Н.И. О влиянии склона на поверхностный сток // Изв. АН СССР: Сер. геогр. – 1985. – № 4. – С. 57-65.
176. Корреляционно-регрессионный анализ в противоэрозионной лесомелиорации с применением программируемых микрокалькуляторов (методические рекомендации с примерами решения задач) / И. Г. Зыков, Е. А. Гаршинев, Г. И. Васенков, А. Т. Барабанов. – Волгоград, 1986. – 103 с.
177. Костычев П. А. Почвы черноземной области России, их происхождение, состав и свойства. – Л.: Изд-во АН СССР, 1951. – Ч. I.

178. Костяков А. Н. О динамике коэффициента просачивания воды в почвогрунты и необходимости динамического подхода к его изучению в мелиоративных целях // Почвоведение. – 1932. – № 3. – С. 293-297.

179. Котлярова О.Г. Почвозащитная система в интенсивном земледелии Центрально-Черноземной зоны. Воронеж: Ц.-Ч. кн. Изд-во, 1990. – 268 с.

180. Кретинин В. М. Агроресомелиорация степных почв: Автореф. дис. ...д.с.-х.н. – Волгоград, 1990. – 33 с.

181. Кузнецов М.С. Противозерозионная стойкость почв. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 135 с.

182. Кузник И. А., Безменов А. И. Просачивание талых вод в мерзлую почву // Почвоведение. – 1963. – № 7. – С. 59-66.

183. Кук Р. Пустыни // Неспокойный ландшафт / Пер. с англ. – М., 1981. – С. 145-150.

184. Кулик В. Я. Инфильтрация воды в почву: Краткий справочник. – М.: Колос, 1978. – 93 с.

185. Курдюмов Л. Д. Закономерности эрозионно-аккумулятивного процесса. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 128 с.

186. Кучмент Л. С. Модели процессов формирования речного стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 143 с.

187. Лазарев М. М. Влияние систем полевых защитных лесных полос на снегоотложение // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1983. – Вып. 2(79). – С. 109-116.

188. Лайхтман Д. Л., Копанев И. Д. К обоснованию методики снегоъемок // Метеорология и гидрология. – 1966. – № 8. – С. 12-15.

189. Ларин П. А. Водопроницаемость мерзлых почв при различных приемах обработки // Почвоведение. – 1961. – № 11. – С. 89-93.

190. Ларионов Г. А. Влияние крутизны склонов на впитывание воды в почву // Эрозия почв и русловые процессы. – М.: Изд-во МГУ. – 1973. – Вып. 3. – С. 142-155.

191. Ларионов Г. А. Эрозия и дефляция: основные факторы и количественные оценки. – Автореф. дис. ...д.г.н. – М., 1991. – 53 с.

192. Ларионов Г. А. Эрозия и дефляция почв: основные закономерности и количественные оценки. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 200 с.

193. Ларионов Г. А., Литвин Л.Ф. Оценка эрозионной опасности // Эрозионные процессы. – М., 1984. – С. 62-68.

194. Ларионов Г.А., Литвин Л. Ф., Заславский М. Н. Факторы эрозии // Эрозионные процессы. – М., 1984. – С. 48-57.

195. Лахи Ф. Х. Полевая геология / Пер с англ. – М.: Мир, 1966. – Т. 1. – 484 с.

196. Леви И. И. Динамика русловых потоков. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1957.

197. Левинштейн М. Е., Симин Г. С. Барьеры. – М.: Наука, 1987. – 320 с.
198. Линслей Р. К., Колер М. А., Паулюс Д. Х. Л. Прикладная гидрология / Пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 760 с.
199. Литтл Т., Хиллз Ф. Сельскохозяйственное опытное дело. Планирование и анализ / Пер. с англ. – М.: Колос, 1981. – 320 с.
200. Логистическое распределение // Математич. энциклопедия. – М.: Изд-во СЭ, 1982. – Т. 3. – С. 414.
201. Ломакин М. М. К вопросу наблюдений за фильтрацией талых вод // Н.-т. бюл. ВНИИЗПЭ. – Курск, 1976. – Вып. 8. – С. 12-14.
202. Ломакин М. М. Мульчирующая обработка почвы на склонах. – М.: ВО Агропромиздат, 1988. – 184 с.
203. Лопырев М. И., Калюгин П. Б. Взаимоувязанное проектирование контурных лесных полос и контурной обработки на склонах // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1988. – Вып. 1(93). – С. 5-18.
204. Львович М. И. Человек и воды. Преобразование водного баланса и речного стока. – М.: Географгиз, 1963. – 568 с.
205. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя / Пер. с англ. – М.: Наука, 1991. – 432 с.
206. Лятхер В. М., Прудовский А. М. Гидравлическое моделирование. – М.: Энергоиздат, 1984. – 392 с.
207. Макеева В. И. Влияние увлажнения и иссушения на структурное состояние почвы // Почвоведение. – 1988. – № 12. – С. 8-88.
208. Маккавеев В. М. Теория процессов перемешивания при турбулентном движении свободных потоков и вопросы зимнего режима рек // Записки ГГИ. – Л., 1931. – Т. 5.
209. Маккавеев В. М., Коновалов И. М. Гидравлика. – Л. – М.: Речиздат, 1940.
210. Маккавеев Н. И. Взаимная связь процессов эрозии и аккумуляции // Эрозионные процессы. – М., 1984. – С. 9-11.
211. Маланьин А. Н. Почвенно-экологическое обоснование облесения песчаных массивов Казахстана и юго-востока европейской части СССР: Автореф. дис. ...д.с.-х.н. – Волгоград, 1986. – 46 с.
212. Мандельброт Б. Б. В сб.: Фракталы в физике / Пер. с англ. – М.: Мир, 1988.
213. Марков К. К. Основные проблемы геоморфологии. – М.: ОГИЗ-Географгиз, 1948. – 344 с.
214. Медведев В. В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов. – М.: Агропромиздат, 1988. – 160 с.
215. Мейл Д. Х. Сезонный снежный покров // Динамика масс снега и льда / Пер. с англ. – Л., 1985. – С. 306-387.

216. Методика изучения способов сочетания лесомелиорации с другими элементами систем земледелия при контурной организации территории / А. Т. Барабанов, Е. А. Гаршинев. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1987. – 46 с.

217. Методика полевого моделирования эрозии, расчета смыва и расстояний между лесополосами / Е. А. Гаршинев, А. Т. Барабанов, И. Г. Зыков и др. – М., 1991. – 42 с.

218. Методические рекомендации по проектированию комплекса противоэрозионных мероприятий для проектов внутрихозяйственного землеустройства колхозов и совхозов, входящих в зону крупномасштабного эксперимента / Д. Е. Ванин, Г. П. Сурмач, А. Г. Рожков, ...Е. А. Гаршинев и др. – Курск: ВНИИЗПЭ, 1978. – 179 с.

219. Методические рекомендации «Планирование и проведение многофакторных опытов по разработке систем земледелия» / В. Д. Панников, Н. П. Панов, М. В. Верещак, Д. Е. Ванин, В. П. Горьков, М. К. Пружин, Е. А. Гаршинев и др. – М.: ВАСХНИЛ, 1983. – 72.

220. Методические рекомендации по составлению проектов внутрихозяйственного землеустройства с комплексом противоэрозионных мероприятий на расчетной основе / Д. Е. Ванин, Г. П. Сурмач, И. П. Здоровцов, ...Е. А. Гаршинев и др. – М.: ЦНТИ ПиР. – 69 с.

221. Методические рекомендации по учету поверхностного стока и смыва почв при изучении водной эрозии / И. В. Боголюбова, Н. Н. Бобровицкая, В. Н. Дьяков, Г. Н. Лысак, А. Г. Рожков. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 88 с.

222. Методы исследования водного баланса территории и его элементов // Под ред. А. М. Грина. – М, 1973. – 220 с.

223. Миддлтон У. История дождя и других форм осадков / Пер. с англ. – М.: Гидрометеиздат, 1969. – 198 с.

224. Мирцхулава Ц. Е. Инженерные методы расчета и прогноза водной эрозии. – М.: Колос, 1970. – 240 с.

225. Митчел Дж., Бубензер Г. Д. Расчеты потерь почвы // Эрозия почвы / Пер. с англ. – М., 1984. – С. 34-95.

226. Михович А. И. Водоохранные лесонасаждения. – Харьков: Прапор, 1981. – 63 с.

227. Молчанов А. А. Гидрологическая роль леса. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 488 с.

228. Молчанов А. А. Гидрологическая роль полевых защитных лесных полос и методика ее изучения. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 188 с.

229. Молчанов А. А. Лес и окружающая среда. – М.: Наука, 1968. – 247 с.

230. Молчанов А. К. Изучение характерных и предельных углов склонов на территории Бурятской АССР // Методы геоморфологических исследований. – Новосибирск, 1967. – С. 134-143.

231. Морозов Г.Ф. Учение о лесе. – М., 1914.
232. Моррис Э.М. Снег и лед // Гидрогеологическое прогнозирование / Пер. с англ. – М., 1988. – С. 193-228.
233. Мотовилов Ю. Г. Численное моделирование процесса инфильтрации воды в мерзлую почву // Метеорология и гидрология. – 1977. – № 9. – С. 67-75.
234. Муринов А. Некоторые изменения в почве под влиянием деятельности дождевых червей // Матер. по изуч. русских почв. – Спб., 1905. – Вып. 16. – С. 129-135.
235. Муромцев Н.А. Мелиоративная гидрофизика почв. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 272 с.
236. Мушкетов И. В. Физическая геология. – Спб., 1888. – Ч. 2. – 620 с.
237. Небольсин С.И. Элементарный поверхностный сток. – М.: ГИСХМ, 1928.
238. Никитин П. Д. Агролесомелиорация // БСЭ. – М., 1949. – С. 361-362.
239. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного / Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 344 с.
240. Оболенский В.Н. Курс метеорологии. – Свердловск: Гидрометеоздат, 1944.
241. Орешкина Н. С. Опыты по изучению свойств подвешенной влаги в песке // Вопросы агрономической физики. – Л., 1957.
242. Оробинский С. А. Ландшафтно-экологические аспекты совершенствования системы земледелия в степных районах Центрального Черноземья: Автореф. дис. ...к.с.-х.н. – Воронеж, 1991. – 15 с.
243. Основы лесной биогеоценологии / Под ред. В. Н. Сукачева и Н. В. Дылиса. – М.: Наука, 1964. – 574 с.
244. Павлов А. П. (1889). Генетические типы материковых образований ледниковой и послеледниковой эпохи // Избр. соч. – М.: Изд-во МОИП, 1951. – Т. 2.
245. Павловский Е. С. Основные направления экологических исследований на ландшафтно-географической основе в агролесомелиорации // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1982. – Вып. 2(76). – С. 3-18.
246. Павловский Е. С. Проблемы экологии полезащитных лесонасаждений на сельскохозяйственных землях // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1983. – Вып. 2(79). – С. 17-25.
247. Павловский Е. С. Экологические и социальные проблемы агролесомелиорации. – М.: Агропромиздат, 1988. – 182 с.
248. Павловский Е. С. Концепция современной агролесомелиорации. – Волгоград, 1992. – 39 с.
249. Пайс А. Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна / Пер. с англ. – М.: Наука, 1989. – 568 с.

250. Панников В. Д. О развитии исследований по почвозащитному земледелию // Вестн. с.-х. науки. – 1970. – № 2. – С. 29-39.
251. Панов В. И. Метельная сублимация снега // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1989. – Вып. 1(96). – С. 162-171.
252. Пенк В. Морфологический анализ / Пер. с нем. – М.: Географгиз, 1961. – 359 с.
253. Пенман Х. Л. Растения и влага / Пер с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 162 с.
254. Перегудов Ф. И., Тарасенко Ф. П. Введение в системный анализ. М.: Высшая школа, 1989. – 367 с.
255. Петров В. И. Лесомелиорация Прикаспия: Автореф. дис. ...д.с.-х.н. в форме науч. докл. – Волгоград, 1989. – 48 с.
256. Петров В. И., Зюзь Н. С. Лесомелиорация малопродуктивных земель аридной зоны // Агролесомелиорация и плодородие почв. – М.: ВО Агропромиздат, 1991. – С. 213-232.
257. Петров Н. Г. Система лесных полос. – М.: Россельхозиздат, 1975. – 117 с.
258. Планета Земля из космоса. – М.: Плакат, 1987.
259. Плой Дж., Гэбриэлс Д. Определение потерь почвы и экспериментальные исследования // Эрозия почвы / Пер. с англ. – М., 1984. – С. 98-154.
260. Поздняков А. В. Динамическое равновесие в рельефообразовании. – М.: Наука, 1988. – 208 с.
261. Поздняков А. В., Черванев И. Г. Самоорганизация в развитии форм рельефа. – М.: Наука, 1990. – 204 с.
262. Полуэктов Е. В. Эрозия почв на Дону и меры борьбы с ней. – Ростов-на-Дону, 1984. – 161 с.
263. Поляков Б. В. Гидрологический анализ и расчеты. – Л.: Гидрометеиздат, 1946. – 480 с.
264. Прибор для определения водопроницаемости почв / Е. А. Гаршинев, А. Н. Кривенко. – Инф. листок № 73-83. – Курский ЦНТИ, 1983. – 4 с.
265. Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант / Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1994. – 272 с.
266. Прогнозирование и предупреждение эрозии почв при орошении / В. Я. Григорьев, С. Ф. Краснов, М. С. Кузнецов, Г. А. Ларионов, Л.Ф.Литвин. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 208 с.
267. Пружин М. К. Влияние длины и крутизны склонов на смыв почвы при снеготаянии в ЦЧО // Почвоведение. – 1983. – № 7. – С. 126-131.
268. Рахманов В. В. Водоохранная роль лесов. – М.: Гослесбумиздат, 1962. – 235 с.
269. Ревут И. В. Физика почв. – Л.: Колос, 1972. – 368 с.

270. Рекомендации по созданию комплекса агролесомелиоративных противоэрозионных мероприятий / Г. П. Сурмач, Е. А. Гаршинев, А. П. Кузнецов и др. – Волгоград, 1973. – 114 с.
271. Ржаницын Н. А. Руслоформирующие процессы рек. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 263 с.
272. Рихтер Г. Д. Снежный покров, его формирование и свойства. – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1945. – 120 с.
273. Роде А. А. Основы учения о почвенной влаге. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – Т. I. – 664 с.; 1969. – Т. II. – 288 с.
274. Рожков А. Г. Борьба с оврагами. – М.: Колос, 1981. – 199 с.
275. Рожков А. Г., Букреев Д. А. Модель роста оврагов в длину и определение их морфометрических характеристик // Экологические проблемы сохранения и воспроизводства почвенного плодородия. – Курск, 1989. – С. 95-104.
276. Руководство по гидрологической практике. – Л.: Гидрометеиздат, 1975.
277. Руководство стоковым станциям / Под ред. З. П. Богомазовой, А. П. Бочкова, С. Н. Боголюбова. – Л.: Гидрометеиздат, 1954.
278. Салугин А. Н., Гаршинев Е. А. Анализ вариантов модели эволюции формы склона в результате эрозионно-аккумулятивного процесса // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1989. – Вып. 1(96). – С. 145-158.
279. Самописец уровня воды / Е. А. Гаршинев. – Инф. листок № 396-79. – Курский ЦНТИ, 1979. – 4 с.
280. Семенова С. Г. Русский космизм. Вступит. статья к сб.: Русский космизм. – М.: Педагогика-Пресс, 1993. – С. 3-33.
281. Серик Ф. П. Расчет стока ливневых вод с малых бассейнов / Максимальный сток ливневых вод с малых бассейнов. – М.: Трансжелдориздат, 1940.
282. Сетунская Л. Е. Опыт анализа продольных профилей рек в целях изучения тектонических движений // Изв. АН СССР: Сер. геогр. – 1959. – № 3. – С. 110-115.
283. Симонов Ю. Г. Модели географического взаимодействия для прогнозирования эволюции окружающей среды // Вестн. МГУ: Сер. геогр. – М., 1976.
284. Скабалланович И. А., Седенко М. В. Инженерная геология, гидрогеология и осушение месторождений. – М.: Углетехиздат, 1955. – 268 с.
285. Скородумов А.С. Эрозия почв и борьба с нею. – Киев, 1955. – 148 с.
286. Сластихин В. В. Вопросы мелиорации склонов Молдавии. – Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1964. – 211 с.
287. Смалько Я. А. Ветрозащитные особенности лесных полос разных конструкций. – Киев: Госсельхозиздат УССР, 1963. – 192 с.

288. Смольянинов И. И., Зуева К. Г., Смирнов М. П. К методике изучения влажности почв лесного биогеоценоза (на примере почв кедровников Западного Саяна) // Почвенно-гидрологические исследования в лесу и лесных культурах. – М.: Изд-во АН СССР, 1963.

289. Соболев С. С. О некоторых закономерностях в развитии процессов овражной эрозии на европейской равнине СССР // Почвоведение. – 1941. – № 3. – С. 59-67.

290. Соболев С.С. Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними. – Т. I. – М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1948. – 305 с.

291. Соболев С.С. Защита почв от эрозии и повышение их плодородия. – М.: Сельхозиздат, 1961. – 232 с.

292. Соболевский П. К. Современная горная геометрия // Сб. науч. тр. ИПФ. – Пущино, 1991. – С. 156-199.

293. Созыкин Н. Ф. Гидрологическое значение лесной подстилки и физических свойств лесных почв / Тр. ВНИИЛХ. – Водный режим в лесах. – Пушкино, 1939. – Вып. 8.

294. Соколов А. А. О чем шумит русский лес. Из истории изучения гидроклиматической роли леса. – М.: Гидрометеиздат, 1982. – 96 с.

295. Соколовский Д. Л. Речной сток. – Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 527 с.

296. Солнцев В. Н. Системная организация ландшафтов. – М.: Мысль, 1981. – 239 с.

297. Сорочкин В.М. О выборе показателей для агрономической оценки структуры почв // Почвоведение. – 1991. – N 7. – С.50–58.

298. Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах. – Новосибирск: Наука, 1978. – 319 с.

299. Спарро Р. П. Организация мелиоративных работ и технического персонала // Борьба с засухой (Сб. руководящих материалов НКЗ по реорганизации крестьянских хозяйств в засушливых районах). – М.: Новая деревня, 1926.

300. Срибный М. Ф. Расчет максимального ливневого стока // Максимальный сток с малых бассейнов. – М.: Трансжелдориздат, 1940.

301. Срибный М. Ф. Влияние лесистости бассейна на формирование паводка // Вопр. географии. – М., 1963. – Сб. 60. – С. 39-54.

302. Степанов А. М. Агролесомелиорация орошаемых земель. – М.: Агропромиздат, 1987. – 207 с.

303. Субботин А. И. Сток талых и дождевых вод. – М.: Гидрометеиздат, 1966. – 376 с.

304. Судницын И. И. Закономерности передвижения почвенной влаги. – М.: Наука, 1964. – 135 с.

305. Сурмач Г.П. Изучение водопроницаемости, стока и смыва на каштановых щебнистых почвах правобережья Нижней Волги в целях их мелиорации // Тр. Почв. Ин-та им. Докучаева. – М.: Изд-во АН СССР. – 1955. – Т. 48. – С. 5-141.
306. Сурмач Г. П. Пути борьбы с эрозией почв в СССР // Итоги работы института, опытных станций и пунктов. – Волгоград, 1961. – Вып. 35. – Т. I. – С. 45-66.
307. Сурмач Г. П. К методике определения водопроницаемости почвы и ливневого стока // Почвоведение. – 1962. – № 11. – С. 93-97.
308. Сурмач Г. П. Рельефообразование и современные процессы почвенной эрозии в степном Поволжье // Тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1970. – Вып.1(61). – С. 18-138.
309. Сурмач Г. П. Водорегулирующая и противоэрозионная роль насаждений. – М.: Лесная пром-сть, 1971. – 111 с.
310. Сурмач Г. П. Водная эрозия и борьба с ней. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 254 с.
311. Сурмач Г. П. К вопросу аналитического изображения склонов и построения их геометрических моделей // Н.-т. бюл. ВНИИЗПЭ. – Курск, 1979. Вып.2(21)-79. – С. 53-57.
312. Сурмач Г. П. Противоэрозионная мелиорация – эрозиоведение. О предмете науки // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1988. – Вып. 1(93). – С. 100-105.
313. Сурмач Г. П. Рельефообразование, формирование лесостепи, современная эрозия и противоэрозионные мероприятия. – Волгоград, 1992. – 175 с.
314. Сурмач Г. П., Барабанов А. Т., Гаршинев Е. А., Ломакин М. М. К оценке методов изучения увлажнительной роли противоэрозионных приемов // Н.-т. бюл. ВНИИЗиЗПЭ. – Курск, 1976. – Вып. 6. – С. 11-16.
315. Сурмач Г. П., Гаршинев Е. А., Панов В. И., Котов А. В. Гидрологическая и противоэрозионная роль лесных насаждений // Науч. тр. ВАСХНИЛ. – М., 1975. – С. 220-299.
316. Сус Н. И. Выступление на Всесоюзной конференции по борьбе с засухой // Изд-во НКЗ СССР и Крест. газеты. – 1931. – Бюл. № 6.
317. Сухановский Ю. П. Гидравлические исследования и расчет дождевой эрозии: Автореф. дис. ...к.т.н. – М., 1983. – 21 с.
318. Сухановский Ю. П., Хан К. Ю. Эрозионная характеристика дождя // Почвоведение. – 1983. – № 9. – С. 123-125.
319. Сухарев И. П. Гидрологическая и противоэрозионная роль лесных полос. – Воронеж, 1966. – 120 с.
320. Сухарев И. П. Регулирование и использование местного стока. – М.: Колос, 1967. – 192 с.

321. Сухарев И. П. Регулирование и использование местного стока. – М.: Колос, 1976. – 272 с.
322. Терентьев Е. В. Экспериментальное исследование потерь стока // Тр. ОГМИ. – 1958. – Вып. 15. – С. 103-114.
323. Томас М. Рельеф зоны экваториальных лесов // *Неспокойный ландшафт* / Пер. с англ. – М., 1981. – С. 157-163.
324. Торнес Дж. Рисунок речной сети // *Неспокойный ландшафт* / Пер. с англ. – М., 1981. – С. 63-68.
325. Торнес Дж.Б., Брунсден Д. Геоморфология и время. – М.: Недра, 1981. – 228 с.
326. Торнз Дж. Б. Процессы эрозии, вызываемые водным потоком, и их регулирование во времени и пространстве: теоретическая точка зрения // *Эрозия почвы* / Пер. с англ. – М., 1984. – С. 178-251.
327. Трескинский С.А. Горный склон как эталон откоса // *Вопр. географии.* – М. 1971. – Сб.85. – С.87–93.
328. Трофимов А.М., Московкин В.М. Математическое моделирование в геоморфологии склонов. – Казань: Изд-во Каз. Ун-та, 1983. – 218 с.
329. Турский Г. К вопросу о лесных мелиорациях // *Лесовод.* – 1925. – № 1. – С. 33-35.
330. Урываев В. А. Экспериментальные гидрологические исследования на Валдае. – Л.: Гидрометеиздат, 1953. – 232 с.
331. Федер Е. Фракталы / Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
332. Филин В. И. Некоторые закономерности в строении русел оврагов и их использование в агролесомелиорации: Автореф. дис. ...к.с.-х.н. – Саратов, 1951. – 12 с.
333. Филиппова А. К. Водопроницаемость мерзлой лесной подстилки // Тр. ГГИ. – Л., 1956. – Вып. 4. – С. 119-125.
334. Филиппова А. К. Метод оценки увлажненности водосборов по запасам влаги в почво-грунте // Тр. Всесоюз. гидрологич. съезда. – Л.: Гидрометеиздат. – 1959.
335. Филисофов В. П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. – Саратов: Изд-во Саратов. Ун-та, 1975. – 230 с.
336. Фрай Дж., Уилмен Х., Блэк Р. Очерк о ледниковой геологии Иллинойса и Висконсина // *Четвертичный период в США* / Пер. с англ. – М., 1968. – Т. 1. – С. 69-97.
337. Франс Дж., Торнли Дж. Х. М. Математические модели в сельском хозяйстве / Пер. с англ. – М.: Агропромиздат, 1987. – 400 с.
338. Фрэнсис П. Вулканы // *Неспокойный ландшафт* / Пер. с англ. – М., 1981. – С. 30-36.
339. Ханкс Р.Дж. Моделирование баланса почвенных вод // *Гидрогеологическое прогнозирование* / Пер. с англ. – М., 1988. – С. 27-53.

340. Харитонов Г. А. Лес как фактор защиты почвы от эрозии и приемы противозерозионной лесомелиорации // Борьба с эрозией почв в СССР. – М. – Л., 1938. – С. 181-215.
341. Харитонов Г. А. К методике устройства стоковых площадок по учету стока и смыва почвы // Почвоведение. – 1940. – № 2. – С. 72-84.
342. Харитонов Г. А. Агролесомелиорация Средне-Русской возвышенности. – Воронеж, 1958. – 251 с.
343. Холупяк К. Л. Виды эрозии почв // Эрозии – заслон. Справочник. – Донецк, 1979. – С. 26-38.
344. Хортон Р. Е. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. Гидрофизический подход к количественной геоморфологии / Пер. с англ. – М.: Гос. Изд-во ИЛ, 1948. – 158 с.
345. Худяков О. И. Водный режим мерзлотных почв // Сб. науч. тр. ИПФ. – Пушкино, 1990. – С. 210-221.
346. Хэнкс Р. Дж., Ашкрофт Дж. Л. Прикладная физика почв: Влажность и температура почвы / Пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 152 с.
347. Цветков Н. В. Изменение лесистости Европейской России с конца XVIII столетия по 1914 г. – М.: Изд-во АН СССР, 1957.
348. Цыганков А. В., Никитин С. И., Алешин В. М. О некоторых взглядах на развитие эрозии // Уч. зап. Волгоградского пединститута. – Волгоград, 1964. – Вып. 18. – С. 141-148.
349. Чаповский Е. Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. – М.: Недра, 1975. – 304 с.
350. Чеботарев А. И. Общая гидрология (воды суши). – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 544 с.
351. Чиргадзе Ю. Н., Курочкина Н. А., Степанов И. Н. Алгоритм «пластики рельефа». Описание и реализация на модельной карте // Сб. науч. тр. ИПФ. – Пушкино, 1987. – С. 32-36.
352. Читишвили Г. Ш. Прогноз интенсивности водной эрозии и вопросы оптимального проектирования противозерозионных мероприятий: Автореф. дис. ... – Минск, 1976. – 27 с.
353. Чугаев Р.Р. Гидравлика. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 672 с.
354. Шабаев А. И. Пути совершенствования почвозащитного земледелия на эрозионноопасных землях Поволжья // Сб. науч. тр. НИИСХ ЮВ. – Саратов, 1985. – С. 3-19.
355. Шайдеггер А. Теоретическая геоморфология. – М.: Прогресс, 1964. – 450 с.
356. Шалабанов А. А. Пропускает ли воду мерзлая почва? // Почвоведение. – 1903. – № 3. – С. 269-274.
357. Шамов Г. И. Речные наносы. – Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 378 с.
358. Шанцер Е. В. Склоновый смыв как фактор морфогенеза и литогенеза суши // Мат-лы к III конгрессу INQUA. – М., 1965. – С. 7-19.

359. Швебс Г. И. Формирование водной эрозии, стока наносов и их оценка (на примере Украины и Молдавии). – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 184 с.

360. Шмюгге Т. Дистанционные методы определения влажности почв // Гидрогеологическое прогнозирование / Пер. с англ. – М., 1988. – С. 133-160.

361. Шпак И. С. Зависимость коэффициента стока от влажности и глубины промерзания почвы // Почвоведение. – 1969. – № 12. – С. 57-61.

362. Шупяцкий А. Б. Определение формы и скорости падающих капель // Метеорология и гидрология. – 1959. – № 4. – С. 42-43.

363. Эдлер У. Ф. Механика ударного воздействия жидкости // Эрозия / Пер. с англ. – М., 1982. – С. 140-200.

364. Энгельс Ф. Диалектика природы. – М.: Госполитиздат, 1969. – 358 с.

365. Эрозия почвы // Пер. с англ. – М.: Колос, 1984. –

366. Bertalanffy L. An Outline of General System Theory. – British J. for Phil. of Sci. – 1990. – Vol. 1, № 2. – P. 134-165.

367. Brown L. S., Foster G. R., Beasley D. B. Rill Erosion as Affected by Incorporated Crop Residue and Seasonal Consolidation // Transaction of the ASAE. – 1989. – 32, № 6. – P. 1967-1978.

368. Carson M. A., Kirkbi M. J. Hillslope form and process // Cambridge Univtrsrity Press. – 1972.

369. Culling W. E. H. Analytical theory of erosion // J. Geol. – 1960. – Vol. 68. – № 3.

370. Ellison W. D. Soil detachment hasard by raindrop splach // Agr. Eng. – 1947. – V. 28. – № 5.

371. Exner F. M. Zur physikalischen Auffassung der Gefallskurve von Flussen. Sitzber. Akad. Wiss. Wien, math.-naturw. – 1922. – Kl. Bd. 131. – Abt. IIa. – № 2.

372. Free G. R. E., Brouning G. V., Musgrave G. V. Relative infiltration and related physical characteristics of certain soils // U. S. Dept. Agric. Bull. – 1940. – № 729.

373. Horton R. E. Drainage basin characteristics. Am. Geophys. Union, Tr. – 1932. – P. 350-361.

374. Horton R. E. The role of infiltration in the hidrological cycle // Trans. Am. Geophys. Union. – 1933. – № 14. – P. 446-460.

375. Horton R.E. Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins // Geol. Soc. Am. Bull. – 1945. – Vol. 56.

376. Lehmann O. Morphologische Theorie der Verwitterung von Steinschalgwanden. Vierteljahrsschrift. Naturf. Ges. Zurich. – 1933. – Bd. 78. – № 3-4.

377. Line D. E., Meyer L. D. Evaluating and Rill Erodibilities for Soil of Different Textures // Transaction of the ASAE. – 32, № 6. – P. 1995-1998.

378. Loch R. J., Donnollan T. E. Rill Erosion of a Self-mulching Black Earth. 1. Effects of Tillage // Austral. J. Soil Res. – 1989. – 27, № 3. – P. 525-534.
379. Longmore M., O'Leary B. Mapping soil erosion and accumulation with fallout isotope caesium 137 // Austral. J. Soil. Res. – 1983. – V. 21. – № 1. – P. 69-72.
380. Mandelbrot B.B. The Fractal Geometry of Nature. – W.H. Freeman, New York, 1982.
381. Philip J. R. The theory of infiltration. 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations. – Soil. Sci. – 1957. – № 84. – P. 257-264.
382. Philip J. R. Theory of infiltration // Advances in Hydroscience (V. T. Chew, Ed.). – 1969. – Vol. 5. – P. 214-296.
383. Scheidegger A. E. Theoretical geomorphology. – Berlin, Heidelberg, New York. – 1970.
384. Skidmore E. L., Hagen L. J. Reducing Wind Erosion with Barrier // Transactions of the ASAE. Joseph Mich. – 1977. – Vol. 20. – № 5. – P. 911-915.
385. Smith D. D., Wischmeier W. H. Factors affecting sheet and rill erosion // Trans. Am. Geophys. Un. – 1957. – № 39. – P. 889-896.
386. Sternberg H. Untersuchungen uber Langen – und Querprofil geschiefuren der Flusse. Bauwesen. – 1875. – Jg. 25. – H. 11-12.
387. Strahler A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography // Bull. Geol. Soc. Am. – 1952. – Vol. 63.
388. Tolle R. Eine Untersuchungsmethode zur Bodenerosion durch Wasser // Wiss. Z. Humboldt-Univ. Berlin. Math.-naturwiss. Reihe. – 1985. – Bd. 34. – № 6. – S. 559-560.
389. Wilson B. N., Rice C. T. An indoor soil erosion research facility // Soil and water conserv. – 1990. – 45, № 6. – P.645–648.
390. Zingg A. W. Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. Agric. Eng. – 1940. – 21. – P. 59-64.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
Глава 1. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОТИВОЭРОЗИОННОЙ МЕЛИОРАЦИИ	11
1.1. Цель и объект противоэрозионной лесомелиорации (общие положения)	13
1.1.1. Цель и объект противоэрозионной лесомелиорации (общие положения)	13
1.1.2. Особенности объекта и методологии лесомелиоративных исследований	16
1.2. Методология исследований и противоэрозионной лесомелиорации	28
1.2.1. Общие положения	28
1.1.2. Методы оценки эрозионно-гидрологического процесса	30
Глава 2. ИНФИЛЬТРАЦИЯ И СТОК	45
2.1. Факторы влияния осадков на инфильтрацию	46
2.1.1. Климат	46
2.1.2. Рельеф	54
2.1.3. Растительность	56
2.2. Инфильтрация воды в талую почву и ее факторы	60
2.2.1. Факторы приземного слоя	60
2.2.2. Почвенные факторы	94
2.3. Инфильтрация воды в мерзлую почву	98
2.3.1. Анализ взаимодействия факторов инфильтрации воды в мерзлую почву	102
2.3.2. Факторы инфильтрационной способности мерзлой почвы под лесными насаждениями	114
2.3.3. Факторы инфильтрационной способности мерзлой почвы под лесными насаждениями	116
Глава 3. ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫЙ ПРОЦЕСС	121
3.1. Пространственно-временная эволюция поверхности в ходе эрозионно-аккумулятивного процесса	122
3.1.1. Эволюция подбровочных склонов	122
3.1.2. Эволюция надбровочных склонов	136
3.1.3. Эволюция форм эрозионно-аккумулятивного рельефа	139
3.2. Функция формы склона	157
3.3. Математическое моделирование эрозионно-аккумулятивного процесса	167
3.3.1. Обзор моделей	167
3.3.2. Модель единого эрозионно-аккумулятивного процесса	172
3.3.3. Оценка адекватности модели	181
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	192
ЛИТЕРАТУРА	195

Е. А. Гаршинев

**ЭРОЗИОННО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС
И ЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ**

**Экспериментальная оценка, расчет,
проектирование**

Волгоград * ВНИАЛМИ * 2002

УДК 634.0.985 : 551.4.0.631.16

Гаршинев Е.А. Эрозионно-гидрологический процесс и лесомелиорация: Экспериментальная оценка, расчет, проектирование. – Волгоград, 2002. – 220 с.

На основе анализа и обобщения экспериментальных данных исследований на эрозионно-гидрологических стационарах на территории б. СССР за 1938-1994 гг., а также данных справочников по климату (ветровому режиму) получены оценки вероятности превышения величин максимального водопоглощения на различных угодьях (естественные леса и целина, пашня, искусственные лесные защитные насаждения), а также слоя регулируемого насаждениями талого стока, их влияния на эрозию почв, снегоотложение, промерзание и влажность почв, ветровой режим территории. Разработана и апробирована технология системы автоматизированного проектирования противоэрозионных лесополос.

Garshinev Ye. A. Erosion-hydrology process and forest melioration: Experimental estimation, calculation, projecting. – Volgograd, 2002. – 220 p.

Estimation of the probability for exceeding quantities of maximum water-absorbtion on various lands (natural forests and virgin soils, arable fields, artificial protective forestations) as well as of a lay of the melted snow runoff being controlled with the forestations, their influence on soil erosion, snow accumulation, freezing and moisture of soils, wind regime of a territory have been obtained on the basis of the analysis and generalization of experimental data of research conducted at erosion-hydrology stations of former the USSR for 1938-1994, and on data of climate reference books (for wind regime). Technology of automatic projecting anti-erosion forest belts have been developed and approved.

ISBN 5-900761-24-X

© Е. А. Гаршинев, 2002

© Всероссийский научно-исследовательский институт агролесомелиорации, 2002

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемая читателю работа является логическим продолжением выпущенной ВНИАЛМИ в 1999 г. монографии "Эрозионно-гидрологический процесс и лесомелиорация: теория и модели". В ней освещались концептуально-методологические и методические аспекты исследований эрозионно-гидрологического процесса (ЭГП) и его модификации при лесомелиорации склонов с разработкой соответствующих математических моделей. Настоящая монография носит более прикладной характер. Ее целью является анализ и обобщение большого экспериментального материала, полученного в 1938-1994 гг. на эрозионно-гидрологических стационарах с применением воднобалансовых (стоковых) элементарных (полевых, лесных) и комбинированных (поле + лесное насаждение) площадок более чем в 20 пунктах территории Северной Евразии (б. СССР). Анализ и обобщению подвергались в первую очередь такие показатели, как потенциальная (максимальная) водопоглощающая способность мерзлых почв в защитных лесных насаждениях (ЗЛН), на пахотных угодьях и агрофонах, слой регулируемого талого полевого стока, поступающего в насаждение, а также факторы водопоглощения – высота снежного покрова и запасы воды в нем, влажность почвы и глубина ее промерзания. Большая часть этих показателей представлена в виде нормативов – средних величин и разной вероятности их превышения, – что важно при проектировании систем противоэрозионных мероприятий и ЗЛН. Впервые предпринята попытка дать дифференцированную оценку водопоглощения не только под пологом ЗЛН, но и в зоне снежных шлейфов. В работе приведена обобщенная характеристика стокорегулирующей эффективности отдельных приемов (агротехнических, гидротехнических, лесомелиоративных) и их разнообразных сочетаний. Это дало основание судить об антропогенной эволюции ЭГП и деградации естественных экосистем (девственные леса и травянистая целина) при земледельческом и скотоводческом освоении территории, а также выявить особую роль контурных рубежей (в первую очередь лесополос

в сочетании с гидросооружениями) в преобразовании ЭГП при лесомелиорации агроландшафтов.

В работе достаточно детально рассмотрен до настоящего времени остродискуссионный вопрос о рациональном использовании стокорегулирующих, противоэрозионных и ветроломных функций ЗЛН на склонах.

В заключительной части монографии рассмотрены принципиальные подходы к обоснованию технологии автоматизированного проектирования систем противоэрозионных мероприятий, особенно контурных рубежей – лесополос.

ГЛАВА 1. ЭВОЛЮЦИЯ ЭРОЗИОННО-ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ ПРОТИВОЭРОЗИОННОЙ ЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ

1.1. Антропогенная модификация факторов эволюции эрозионно-гидрологического процесса

Рассмотрим некоторые общие положения принципиального характера, обуславливающие связь антропогенных факторов гидрологического, эрозионно-гидрологического и эрозионно-аккумулятивного процессов (ГП, ЭГП, ЭАП) в целом с проблемой антропогенной деятельности.

Понятия современная, антропогенная, сельскохозяйственная эрозия [15, 106, 207, 350, 365], антропогенные факторы гидрологического процесса [25, 69, 114, 213, 254], глобальные антропогенные изменения состава атмосферы и климата [53, 307, 347, 387], учащающиеся катастрофически необратимые антропогенные загрязнения и разрушения среды обитания регионов экологического бедствия (Арал, Каспий, Калмыкия, Сахара) и прогнозируемая тотальная экологическая катастрофа как результат нерационального поведения людей в мире природы прочно вошли в лексикон ученых и общественно-политических деятелей начиная с конца XIX и особенно в последние десятилетия XX в. (законы об охране природы, рекомендации Римского клуба, решения бразильской Всемирной конференции в июне 1992 г. и др., последствия Чернобыльской катастрофы, обмеление Арала и т. п.). Несмотря на очевидность причин проблемы и ее масштабность, на повестке дня стоят вопросы: что происходит, почему и что делать, – первоочередные вопросы, на которые должна дать ответы наука, чтобы обеспечить успех действий политиков и общества. Несомненная ясность проблемы является кажущейся, что порождает иллюзию возможности простых и радикальных средств ее разрешения: закрыть АЭС, остановить вредные производства, запретить применение пестицидов, нерациональных систем земледелия, ограничить вырубку лесов, сброс сточных вод в реки и т. д., и т. п. Как правило, эти меры выполняются разрозненно и в недостаточ-

ных масштабах или порождают новые проблемы, усугубляющие существующие, т. е. дают прямо противоположный эффект. Уверенность общества, что так дальше продолжаться не может, не более сильна, чем идея вернуться "назад в пещеры". В идеологическом и практическом планах это означает необходимость выработки оптимальной стратегии поведения. Неэффективность частных мер и усугубление обстановки создают ситуацию порочного круга, т. е. свидетельствуют о системном характере явления. Признание этого предопределяет необходимость решений на адекватном, системном, уровне. В научном же плане требуется разработка системной модели ноосферы – антропогенно преобразованной биосферы [65, 275, 378]. По грандиозности, уровню теоретического осмысления и технической реализации модель такой предельно сложной "сверхсистемы" беспрецедентна. Коротко: для решения глобальной проблемы требуются глобальные усилия. Это само по себе не просто, ибо означает государственную и международную координацию деятельности научных коллективов очень широкого круга специальностей. Из самой сути такой постановки дела проистекают имманентные системному подходу и реальному уровню состояния разных научных дисциплин следствия: принципиальная невозможность полной адекватности модели сложной системы реальному объекту [311], объективная иерархизированность (блочность) модели, недостаточный теоретический уровень многих областей научного знания.

Принципиально недостижимая полная адекватность моделей сложных систем и недостаточность знаний в отдельных областях в значительной степени компенсируются пониманием некоторых наиболее общих фундаментальных принципов (законов) их функционирования, "простых утверждений" и "очевидных фактов" [17]. Иерархизированность сложных систем предполагает выделение отдельных блоков, в том числе гидрологических и эрозионных. Рассмотрим ряд принципиальных положений, возникающих при "стыковке" этих блоков во взаимосвязи со всей совокупностью антропогенных факторов.

Наиболее важное из этих положений заключается в признании естественного характера основ человеческой деятельности. Это означает, что, насколько бы интенсивным ни было антропогенное воздействие на естественный ход природных процессов, человек не в состоянии ни отменить, ни изменить их физическую сущность. Человек не может создать никакой "антропогенной" физики или химии процессов. Даже в тех случаях, когда он синтезирует химические соедине-

ния, в природе естественно не образующиеся, или провоцирует реакции, на Земле не протекающие, или создает объекты, не имеющие природных аналогов по конструкции и материалам, вся эта "цивилизованная" среда подчиняется законам природы. Это определяется тем очевидным обстоятельством, что человек, как биологическое и социальное существо, есть всего-навсего часть мира природы (вдобавок появившийся лишь на довольно позднем этапе его эволюции), а потому принципиально не может выйти за рамки и действовать вне природных законов (за исключением, может быть, "физики" социальных процессов, хотя зачатки социальных явлений были в природе еще до появления человека и имеют естественную основу). Тем не менее широко бытует представление о том, что человек действует вопреки этим законам, "нарушает" законы природы.

Следует сказать однозначно и определенно: законы природы незыблемы и нарушать, т. е. изменять их, не во власти ни человека, ни кого бы то ни было. Отсюда с непреложностью следует, что любые, даже самые катастрофические, последствия человеческой деятельности совершаются с "железной" естественной необходимостью. Так сказать, противоестественные действия человека осуществляются на естественной основе. (Гете: "Люди подчиняются законам природы, даже когда действуют против них"). Человек не может сделать ничего того, что не "разрешает" ему природа. Равным образом это относится и к попыткам человека "улучшить" природу. Просто при воздействии человека природные процессы от одного уровня ее организации (скажем, биоэкосистемы) могут перейти к уровню бедленда, лунного ландшафта или даже радиоактивной пустыни. Во всех этих случаях имеет место всего-навсего переход из одного относительно устойчивого (квазиравновесного) состояния природной системы к иному, столь же естественному.

Другое дело, что эти состояния отличаются уровнем сложности и на каком-то этапе для этого уровня существование высших форм живой материи или вообще жизни окажется невозможным. Для природы это несущественно, ибо за 16-20 млрд лет от возникновения Вселенной абиотическая фаза составляла около 10 млрд лет, на Земле 1-2 млрд лет, а человек возник всего несколько миллионов лет назад.

Высокая "разрешающая" способность природы не должна пониматься как отсутствие запретов и границ антропогенной деятельности. Одновременное существование во Вселенной, в Солнечной системе и

на Земле разных, в т. ч. абиотических, уровней организации природы не отменяет естественной эволюции природных процессов, приводящей к появлению жизни и биосферы. Это в конечном итоге и определяет границы разумной стратегии поведения человека и ставит предел возможности его взаимодействия с природой и с себе подобными.

Изложенные соображения, тем не менее, оставляют без объяснений главный парадокс в ситуации экологической катастрофы: почему действия разумного человека в рамках естественных природных процессов приводят к противоестественным и очевидно неразумным результатам. Ведь если неразумная природа стремится к функционированию в относительно равновесном состоянии, то разумная стратегия поведения человека тем более должна осуществляться в целях его сохранения и укрепления, а не потенциально губительного нарушения. Очевидно: ответ скрывается в самой сути парадокса, т. е. в понимании условий равновесия природных процессов и необходимости разумного поведения как фактора этого равновесия.

Достижения исследователей физики процессов неравновесной термодинамики и особенно работы школы И. Пригожина [24, 290, 331] проливают свет на суть организации и эволюции сложных природных открытых систем, особенно процессов функционирования биосферы. Получены убедительные доказательства квазиравновесного (динамически относительно устойчивого) хаотически-детерминированного состояния мира природы вообще и климата, атмосферы, биосферы (и ноосферы) Земли в частности. Именно относительная неустойчивость равновесия делает возможным и необходимым переход систем из одного устойчивого, всегда относительного, в другое устойчивое, также относительное, состояние, т. е. делает возможными саму эволюцию состояний, развитие мира. В то же время благодаря неустойчивости эволюционный тренд систематически, постоянно, сопровождается противоположными, разрушительными, хаотическими, процессами. Природа всегда живет в состоянии хаотично-детерминированного перехода [290]. В неразумной, дочеловеческой, природе биогеоценозы функционируют в ситуации "жертва-хищник" [7, 387], т. е. прихода-расхода вещества и энергии, идет ли речь о взаимодействии систем "солнечная энергия – Земля", "погода – растения", "растения – травоядные", "травоядные – хищники" или "человек – среда обитания". В этих связках всегда одна сторона производящая, а другая потребляющая, т. е. одна по отношению к другой соотносятся как

внешнее и внутреннее, независимое и зависимое. И поскольку внешние источники вещества и энергии подвержены колебаниям, то рано или поздно эти колебания происходят по всей цепочке, вызывая в качестве ответной реакции колебания (пульсации) численности и видового состава популяций. Эти пульсации по своей сути есть не что иное, как результирующая двух противоположных процессов – ограниченных по самой своей сути ресурсных средств существования и неограниченного стремления вида к размножению.

В этом контексте человеческий разум есть завоевание эволюции, обеспечивающее дополнительное средство для выживания вида в условиях ограниченного количества ресурсов [66, 275]. Выходя из царства неразумной природы и сохраняя на уровне инстинктов ее свойства, обеспечивающие ему автоматическое выживание в данных природой обстоятельствах, человек разумный, с одной стороны, получил в сравнении с другими животными видами известные свойства в большей степени (социальную организацию, способность расширять почти беспредельно ареал обитания), а с другой – новые качества, поставившие его в особо благоприятные (цивилизованные) условия выживания: не только собирать готовое, но и совершенствовать средства добычи жизненных ресурсов – орудия ловли и охоты, приручение и одомашнивание животных, возделывание растений, сооружение более совершенных жилищ, их обогрев и т. д.

По мере перехода человека от дикого животного к цивилизованному (неверно отождествляемому с разумным) существованию естественные пульсации численности популяции, обусловленные относительной нехваткой природных средств существования, стихийными бедствиями и болезнями, сменились устойчивым ростом численности народонаселения, особенно с возникновением земледелия (около 19 тыс. лет назад в Египте и 7-9 тыс. лет в Америке, Европе и Азии, в том числе в Северной Евразии – на Кавказе, в Молдавии, на Украине, в Туркмении) [9, 72, 134, 262, 294]. С этого момента начинается "демографическая революция" и создаются предпосылки для "экологической катастрофы", очевидцами которой мы являемся. Внешне формальным ее выражением являются взаимообусловленные экспоненциальный рост потребления ресурсов, рост народонаселения, загрязнение и, как следствие, разрушение среды обитания. Ее разрушение всегда и везде, независимо от масштабов, есть признак нарушения природного равновесия, превышения темпов потребления ресурсов над темпами их воспроиз-

водства. Может быть и скрытый процесс разрушения (экологический стресс), когда чрезмерные локальные темпы потребления ресурсов компенсируются их притоком извне, например при загрязнении воды и воздуха. При этом среда еще не разрушается, но условия для этого уже создаются. Увеличение потребления ресурсов способствует повышению численности населения и улучшает условия его существования. Обусловленные этим достижения цивилизации создают предпосылки для большего потребления ресурсов, обеспечивающих все более бурное процветание человечества, – характерный признак самоускоряющегося (экспоненциального) развития. Таким образом, цивилизаторская человеческая деятельность породила феномен роста, беспрецедентный для нецивилизованной природы. Так возник ложный парадокс самоубийственной деятельности разума.

Разумная деятельность по самой своей природе служит средством выживания, а не способом самоуничтожения. Поэтому ситуация экологической катастрофы является последствием именно "биологического эгоизма" рода человеческого, его интеллектуальной инфантильности, когда глобально-общественное действие отстает от индивидуально-коллективного знания, а ответственность за свои поступки отстывает перед желанием получить жизненные блага сейчас и любой ценой, не раздумывая над судьбой будущих поколений и необходимостью сначала восполнять, а потом потреблять ресурсы. Разум от инстинкта отличается не просто умением выживать, но умением, построенное на знании, на осознанном понимании последствий своей деятельности.

Как бы драматично не выглядела нынешняя ситуация, предшествующий опыт цивилизаций и здравый смысл внушают оптимизм относительно будущего человечества. Экологические кризисы разной степени уже имели место, о чем свидетельствуют волнообразное развитие отдельных культур и этносов [119], переложный характер примитивных систем земледелия, система запретов (квот и табу) у первобытных народов на отлов рыбы и зверя. Начиная со средних веков и особенно с XIX в. все более и более утверждается идея рационального (равновесного) природопользования, выражающаяся в определении оптимального размера рубок лесов и лесовозобновления (непрерывное лесопользование), интенсификации и биологизации земледелия, разработке ресурсосберегающих и безотходных технологий и т. п. Цивилизованная, разумная, деятельность человека не заканчивается, а только начинается. Прорыв из царства необходимости в царство сво-

боды не состоялась, а лишь грядет, и в этом царстве осознанная необходимость разумного поведения будет превалирующей [66].

Изложенное обуславливает необходимость рассмотрения сути антропогенного вмешательства человека в гидрологические процессы естественных ландшафтов, оценки их трансформации в ходе такого вмешательства и определения путей и средств оптимизации деятельности, в том числе средствами лесомелиорации.

В этом контексте имеет смысл говорить не об антропогенных факторах естественных процессов, в том числе эрозионно-гидрологического, а об изменениях, модификации, эволюции ЭГП под влиянием человеческой деятельности, понимая всю ее совокупность как некий специфический антропогенный фактор (наряду с растительным, животным миром и т. д.).

1.2. Общие тенденции антропогенной эволюции эрозионно-гидрологического процесса

В естественно-историческом аспекте антропогенная эволюция ЭГП в ландшафтной оболочке Земли обусловлена эволюцией человеческой цивилизации [53, 63, 317, 351]. Отделение человекообразных обезьян от приматов и становление первых гоминид – австралопитеков – произошло около 5 млн лет назад. В промежутке 5-3 млн лет архантропы обитали в пределах тропического пространства, по образу жизни практически не отличаясь от своих животных предков. И лишь примерно 1 млн лет назад произошел важный перелом – выход во внетропическую зону с присваивающим типом хозяйства, просуществовавшим до конца древнейшего века – палеолита. 9-10 тыс. лет назад (местами около 20 тыс.) произошла неолитическая революция и возникло производящее хозяйство со скотоводством и земледелием, сопровождавшееся общественной самоорганизацией и стремительным ростом населения. Возник феномен эксплуатирующего отношения к природным ресурсам, т. е. положено начало экологических коллизий.

Пастьба скота и земледелие были теми решающими сферами производственной деятельности, которые сначала локально, затем регионально и к XIX-XX вв. глобально видоизменили на огромных пространствах облик естественных ландшафтов, точнее их наиболее чувствительную к внешним воздействиям сферу – растительность. Это было неизбежным следствием, ибо растительность является непо-

средственным источником питания человека и животных. Распашка в первую очередь целинных степей, затем вырубка лесов с последующим обращением их в сенокосы, пастбища и пашни в течение тысяч лет были фактором, почти нацело определяющим антропогенную эволюцию ЭГП. Промышленная и связанная с нею деятельность (шахты, разработка карьеров, прокладка дорог), градостроительство и создание мелиоративных сооружений сельскохозяйственного назначения (плотины, гидроузлы, магистральные каналы), коренным образом перестраивающие литогенную основу ландшафта, стали сильно прогрессировать лишь с началом промышленной революции (XVI-XVII вв.) и особо большие масштабы получили в XIX-XX вв.

Развитие промышленности, в свою очередь, усилило воздействие на сельскохозяйственные и лесные угодья (тракторная обработка, производство древесного угля и стройматериалов, сырья для легкой промышленности и т. д.). Однако, хотя "промсфера" отличается наиболее интенсивным локальным (урбанизированные агломерации), региональным (загрязнение и изменение водного режима больших рек, озер, кислотные дожди) и глобальным (изменение газового состава и запыление атмосферы) действием, для большей части территории суши ЭГП определяется в настоящее время процессами в "агросфере" (скотоводство и растениеводство) и лесном хозяйстве (лесоэксплуатация), т. е. на землях сельско- и лесохозяйственного назначения – основных угодьях суши как в природных, так и в антропогенных ландшафтах.

Обратимся к информации, касающейся ЭГП при антропогенной эволюции ландшафтов.

1.2.1. Эволюция ландшафтов при скотоводстве и земледелии

Общие представления об изменении водного баланса девственных ландшафтов в результате хозяйственной деятельности сложились еще в XIX в. В. В. Докучаев в работе "Наши степи прежде и теперь", подчеркивая особое значение лесной подстилки и степного войлока для формирования "крупичатой" структуры черноземов, их способности в девственном состоянии хорошо поглощать влагу, упоминает о наблюдениях Игнатьева, отметившего, что при снеготаянии "на девственной степи не видно больших потоков, тогда как на старопашных полях они бегут по всем направлениям" [128, с. 472]. Он ссылается

также на мнение Измаильского, что "изменение свойств поверхности прежних степей, благодаря их распашке и уплотнению, вследствие пастьбы стад овец и других домашних животных, могло коренным образом изменить отношение почв к влаге" [128, с. 483]. Измаильский придавал роли степной растительности для природы края не меньшее значение, чем лесной. В. В. Докучаев также отмечал, что в ковыльных степях "промоины и рытвины развиваются очень медленно и обыкновенно с перерывами" [128, с. 483]. А. С. Козменко считал, что распашка территории и уничтожение лесов "повели за собой увеличение интенсивности стока" и "энергии размыва" [205, с. 13].

Количественные оценки гидрологического режима девственных территорий и его изменений под влиянием скотоводства и земледелия до настоящего времени крайне малочисленны. Полученные на обыкновенных черноземах ОПХ НИИСХ ЦЧП им. В. В. Докучаева в Каменной степи характеристики водного баланса на элементарных стоковых площадках позволяют дать количественную оценку эволюции водного баланса территории при ее хозяйственном освоении (табл. 1.1). Они показывают, что запасы снеговой воды $h_{\text{сн}}$ на сельскохозяйственной территории сильно (на 20-40%) уменьшаются. Это является следствием уничтожения пышной целинной растительности с большой долей высокостебельных растений и мощной рыхло сложенной "подушки" отмирающих на зиму трав целины, препятствующих сдуванию снега. На травянистой целине вся влага зимних осадков (в среднем 128 мм) без остатка поглощается (просачивание $W \approx h_{\text{сн}}$) почвой, т. е. поверхностный сток S отсутствует практически полностью (коэффициент стока $K_c \approx 0$). Сенокосение и особенно выпас в три раза уменьшают просачивание влаги – всего до 41-42 мм – и увеличивают сток до 39-56 мм. На пашне уменьшение снегозапасов определяется наличием на поверхности растительных остатков (чем их больше, тем ближе пашня по этому показателю к девственной степи). На стерневом фоне и озимых посевах снегозапасы примерно такие же, как и на сенокосах и пастбищах, а за счет уменьшения просачивания до 43-17 мм сток заметно возрастает – до 58-85 мм, т. е. составляет 58-83% от осадков. Зябь отличается меньшим стоком и меньшей долей потерь осадков на сток, но снегозапасы на ней минимальны и просачивание влаги составляет всего 47 мм, т. е. почти в 3 раза меньше, чем на целине.

Таким образом, скотоводство и земледелие привели к резкому ухудшению водного режима территории. Если на девственной степи

все осадки холодного периода поглощались почвой и поверхностный сток отсутствовал, то на сельскохозяйственной территории потери зимних осадков за счет снеготранспорта и испарения увеличились на 25-50 мм. Просачивание уменьшилось на 80-110 мм и сток соответственно возрос до 30-85 мм. Уменьшение поступления влаги в почву, таким образом, обусловлено в меньшей степени потерями осадков со склонов при снеготранспорте и в большей (главной) – снижением инфильтрационной способности почвы.

Таблица 1.1

**Водный баланс талых вод на склонах в Каменной степи
в среднем за 1950-1958 гг. [376, с. 12]**

Экосистемы: угодья, агрофоны	Водный баланс, мм			K_c
	$h_{сн}$	W	S	
<i>Заповедная территория</i>				
Степь некосимая (целина)	128	128	0,1	0,001
<i>Территория, измененная скотоводством</i>				
Степь выпасаемая	98	42	56,0	0,570
Степь косимая	80	41	39,0	0,490
<i>Территория, измененная земледелием</i>				
Стерня	103	43	60,0	0,580
Многолетние травы (люцерна)	98	40	58,0	0,590
Озимые	102	17	85,0	0,830
Зябь (вспашка)	78	47	31,0	0,400

Существенно дополняют и развивают представление об эволюции естественных ландшафтов уникальные материалы комплексных исследований водного баланса, полученные на Курском стационаре Института географии (ИГ) АН СССР, расположенном на территории Центрально-Черноземного государственного биосферного заповедника им. проф. В. В. Алехина (табл. 1.2). Полученные ИГ материалы обстоятельно проанализированы и обобщены в многочисленных статьях и монографиях [113-115, 213, 215, 216, 217, 254, 255-257 и др.], однако ряд важных моментов гидрологического и эрозионного режимов нуждаются в дополнительной интерпретации.

В заповеднике на склонах имеется та же тенденция к уменьшению снеготранспорта, инфильтрации и возрастанию стока по цепочке естественные угодья – косимые степи – выпасаемые степи – стерня – посевы. На зяби снеготранспорт минимален, а инфильтрация выше, чем

на других агрофонах пашни, но общего вывода о потерях осадков и ухудшении инфильтрационной способности почвы это не меняет.

Таблица 1.2

**Водный баланс талых вод и средний смыв почвы W_s
на Курском стационаре ИГ АН СССР (склоны С,
гидрографическая сеть ГС и лога С+ГС) в среднем за 1962-1970 гг.**

Угодье, агрофон	Часть водосбора	Водный баланс, мм			K_c	W_s , кг/га
		$h_{сн}$	W	S		
<i>Заповедная территория [68]</i>						
Лес дубовый	С	180	174,4	5,6	0,03	0
	С+ГС	180	178	2,4	0,01	0
	Средние ¹⁾	170	170	0	0	0
Степь некосимая (целина)	С	150	131	19	0,13	0 ²⁾
	С+ГС	165	156	9,4	0,06	-
<i>Территория, измененная скотоводством [68]</i>						
Степь выпасаемая	С	135	90	45	0,33	0 ²⁾
	С ³⁾	155	114	41	0,26	0
	С+ГС ³⁾	165	105	60	0,36	-
	ГС ⁴⁾	365	125	240	0,66	-
Степь косимая	С ⁵⁾	120	61	59	0,49	0 ²⁾
	С+ГС	140	95	45	0,32	-
<i>Территория, измененная земледелием (пашня) [400]</i>						
Стерня	С	150	61	89	0,59	210
Озимые	С	130	39	91	0,70	430
Зябь (отвальная вспашка на глубину 20-22 см поперек склона)	С	125	81	44	0,36	790

Примечания: 1) без 1969 г.; 2) без 1962 и 1963 гг. (смыв в 1962-1963 гг. составлял от 3-6 до 35 кг/га на некосимой и косимой целине); 3) средние за 1966-1970 гг.; 4) средние за 1967-1970 гг. для ГС, изолированной от надбровочных склонов; 5) средние для двух стоковых площадок (№ 1 и № 8); тире означает отсутствие данных.

Нуждаются в комментарии данные, полученные в естественном лесу. За период 1962-1970 гг. сток здесь наблюдался только в 1969 г. и составил 48 мм; условия 1969 г. были исключительными для ЦЧО и значительной части ЕТС. Это подтверждается последующими данными: за весь период дальнейших исследований вплоть до настоящего

времени (т. е. в течение 20 лет) сток из леса отмечался всего два раза. Это дает основание считать, что талый сток из естественного леса практически отсутствует.

Сток на целине в 1962-1970 гг. наблюдался почти ежегодно (отсутствовал в 1966 г., при этом его не было нигде, кроме как на стерневом фоне); в 1967, 1968 и 1970 гг. он был очень мал (0,3-3,5 мм), а в остальные годы составлял 19-58 мм. В среднем же сток с целины в сравнении с сельскохозяйственной территорией намного меньше и его следует признать скорее завышенным, поскольку строго заповедный режим установлен сравнительно недавно и, кроме того, склоновый сток не дает полного представления о характеристике водного режима ландшафта. Более репрезентативен сток с включением первичной гидрографической сети – на водосборах ложбин (логов). Для естественных угодий сток с логов устойчиво меньший, чем со склонов, т. е. в гидрографической сети условия просачивания талых вод лучше, чем на прилегающих склонах. Объясняется это, скорее всего, меньшим выхолаживанием здесь почвы за счет затрудненного ветрового перемешивания воздуха (затишковые условия), лучшими почвенными условиями (за счет большего поглощения влаги и лучшего поэтому роста растений), более пышным растительным покровом и более мощными растительными остатками, утепляющими почву. Эта тенденция еще сохраняется на косимой степи, поскольку механизированное сенокошение на склонах сильнее уплотняет почву, чем скашивание на логах вручную или отсутствие кошения вообще.

Ситуация резко меняется при пастбищном использовании логов. Стравливание растительности вследствие воздействия копыт животных приводит к резкому сокращению массы растительных остатков, уничтожению целинного войлока, уплотнению и даже разбиванию почвы. Это уменьшает снегозапасы на склонах, усиливает снос снега в гидрографическую сеть, резко снижает инфильтрационную способность почвы. В результате сток возрастает до огромных величин (240 мм). При большом стоке с пахотных склонов (31-85 мм) и значительной доле гидрографической сети, используемой обычно под выпас или в комбинации с сенокошением, сток с сельскохозяйственной территории возрастает в сравнении со стоком в естественном ландшафте.

Дальнейшие исследования ИГ лишь подтверждают полученные результаты и сделанные на их основе выводы (табл. 1.3, с округлениями). Наиболее полно тенденцию трансформации склонового стока

вследствие земледелия отражают материалы, полученные на основе обобщения оценок стока талых вод на стоковых (воднобалансовых) площадках (табл. 1.4 и рис. 1.1). Оценки выполнялись на европейской территории Северной Евразии в 1948-1985 гг. ВНИАЛМИ, ИГ АН СССР, ВНИИЗиЗПЭ, Курской ЗОМС, НИИСХ ЦЧП им. В. В. Докучаева и другими НИУ РФ, Украины и Белоруссии. Обобщение сделано автором совместно с Г. П. Сурмачем и А. Т. Барабановым [27, 370] с использованием результатов предшествовавшего обобщения Г. П. Сурмача [363]. Параметры кривых вероятности превышения рассчитаны А. Т. Барабановым. Карта построена непосредственно по данным экспериментальных оценок в отличие от известных карт, в том числе построенных с использованием связи речного стока со склоновым и приводящих величины стока к единому почвенному фону [105, 217].

Не вдаваясь в анализ причин, обуславливающих значительные различия в стоке талых вод на зяби (отвальная вспашка и безотвальное рыхление на глубину 20-30 см) и так называемой уплотненной пашне (посевы озимых культур, многолетних трав, стерня), отметим субпараллельный ход изолиний с общим их опусканием в междуречьях Днепра, Дона и Волги, подъемом и сближением к северу в районах восточнее долины Дона. Имеет место убывание величин стока в направлении с севера на юг и с северо-запада на юго-восток. В этом же направлении увеличивается разница в стоке на зяби и уплотненной пашне за счет больших темпов снижения стока с зяби и меньших с уплотненной пашни. В целом эти данные свидетельствуют о значительном возрастании талого стока за счет земледельческого фактора по сравнению со стоком с девственных лесных и целинных угодий.

Таблица 1.3

Весенний водный баланс разных угодий на Курском стационаре в среднем за 11 лет [255]

Угодье, агрофон	Водный баланс, мм			K_c
	$h_{сн}$	W	S	
Дубовый лес	160	157	3,3	0,019
Целина	140	130	10,0	0,071
Степь выпасаемая	120	74	46,0	0,380
Стерня	125	44	81,0	0,360
Озимые	110	29	81,0	0,740
Зябь (отвальная вспашка)	105	69	36,0	0,340

Таблица 1.4

Показатели поверхностного склонового стока талых вод с уплотненной пашни (I) и зяби (II) разной вероятности превышения, мм [27, с сокращениями]

Пункт наблюдений, почва	Агрофон	Сток (с) вероятность превышения, %								C _v	C _s	S
		0,1	1	10	50	60	70	80				
г. Новосиль Орловской обл., серая лесная	I	325	230	130	55	45	40	30	0,73	1,5	67	
	II	265	185	100	35	25	20	12	0,80	1,7	44	
г. Курск, темно-серая лесная	I	305	220	125	50	45	40	30	0,68	1,6	66	
	II	180	130	75	30	25	20	12	0,70	1,5	36	
г. Курск, выщелоченный чернозем	I	300	210	120	50	40	35	25	0,71	1,5	63	
	II	160	110	60	20	15	8	2	0,79	1,6	25	
п. Таловая Воронежской обл., обыкновенный чернозем	I	230	165	90	40	30	25	20	0,70	1,6	47	
	II	100	70	35	10	5	1	0	0,76	1,6	15	
г. Самара, обыкновенный чернозем	I	215	155	90	40	35	30	20	0,66	1,4	49	
	II	100	60	30	4	1	0	0	1,01	2,1	10	
г. Саратов, южный чернозем и темно-каштановая	I	190	135	75	30	20	15	10	0,76	1,6	36	
	II	100	60	25	1	0	0	0	1,02	2,2	8	
г. Камышин Волгоградской обл., каштановая	I	135	95	55	25	20	15	10	0,72	1,4	27	
	II	55	35	15	1	0	0	0	0,93	2,0	6	
г. Волгоград, светло-каштановая	I	130	90	45	15	10	5	2	0,86	1,8	19	
	II	75	50	20	0	0	0	0	1,00	2,2	6	
г. Ростов, североприазовский чернозем	I	125	90	40	10	8	6	2	0,68	2,2	18	
	II	75	50	25	4	0	0	0	0,81	1,7	8	

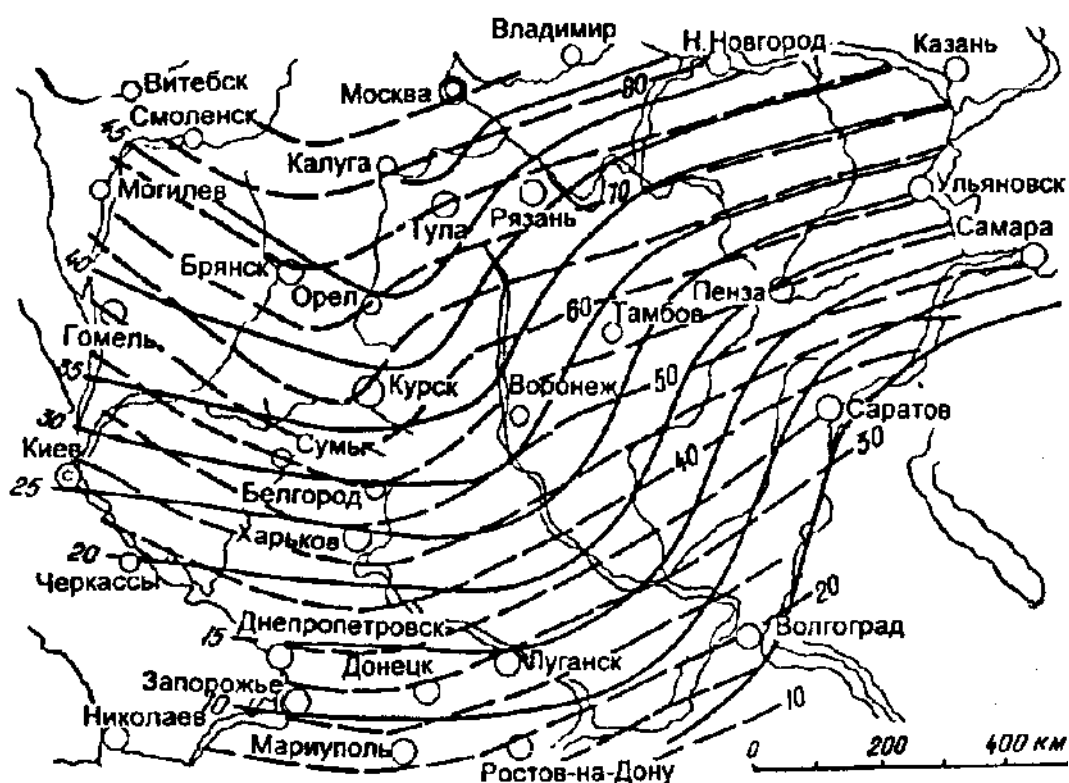


Рис. 1.1. Карта изолиний среднего склонового стока талых вод с зяби (сплошные линии) и уплотненной пашни (штриховые линии), мм [27]

1.2.2. Естественный эрозионный процесс и его антропогенная эволюция

Обратимся к материалам, характеризующим эволюцию эрозии при земельном освоении территории, обусловленную спецификой гидрологического процесса.

Исключительный интерес представляют данные ИГ о смыве почв (см. табл. 1.2). Они приводят к однозначному заключению: смыв почвы на склонах и в гидрографической сети девственных ландшафтов отсутствует полностью. (Незначительный смыв в 1962 и 1963 гг., отмечавшийся на целинных склонах, обусловлен устройством валов ограждения воднобалансовых площадок; после восстановления дернины он прекратился).

Скотоводческое использование территории не изменило ситуации – смыв отсутствует как на склонах, так и в логах. Это заключение выглядит несколько парадоксально, поскольку интенсивное пастбищное использование территории приводит обычно к сильнейшему пе-

ревыпасу, крайнему истощению наземного растительного покрова, его деградации с выпадением ценных видов (особенно злаков), появлению скотобойных троп на берегах и днищах лощин и балок и полностью оголенных участков в местах кучного перемещения животных (днища гидрографических понижений), водопоя и отдыха скота. Полученные ИГ материалы можно объяснить относительно малой пастбищной нагрузкой территории заповедника, что в историческом аспекте соответствует начальной стадии освоения территории, когда скота было еще мало, а угодий для выпаса в достатке. По мере увеличения поголовья нагрузка возрастала, для скотоводства использовались все большие территории (в том числе леса). В конечном итоге на пастбищах возник смыв и размыв (оврагообразование). Очевидно: в первую очередь это происходило в наиболее уязвимых местах – на днищах ГС, берегах и вблизи населенных пунктов с наибольшим сосредоточением животных. О возникновении в первую очередь донных оврагов, большей их плотности у населенных пунктов и уменьшении по мере удаления от них имеются литературные данные [340].

Иная ситуация складывается на пахотных склонах. Здесь смыв достигает ощутимых величин (0,2-0,8, в отдельные годы 5-6 т/га) и проявляется всегда в годы с формированием стока, каким бы ничтожным он ни был. И если смыв с естественных угодий по указанным причинам следует признать завышенным, то с пашни он явно (и сильно) занижен из-за недостаточной длины (200-230 м) воднобалансовых площадок [264, 335, 338]. Кроме того, при этом не учитываются концентрация стока и усиление вследствие этого смыва на ложбинах. Сведения же о смыве с водосборов целых логов обычно отсутствуют.

Данными о водном балансе естественных угодий лесостепи при выпадении дождей, полученными на воднобалансовых стационарах, мы не располагаем. Результаты дождевания выпасаемой целины в Каменной степи выявили отсутствие стока при выпадении 94-143 мм осадков при интенсивности дождя $i_d = 1,8$ и $2,7$ мм/мин, т. е. происходило полное поглощение осадков, близких к наблюдаемому абсолютному максимуму [374].

О водном балансе естественных лесов и целины в других основных почвенно-климатических зонах умеренного пояса – лесной и степной – данных или не имеется, или существуют сомнения в степени их антропогенного изменения. Оставляя этот вопрос открытым до его рассмотрения в последующих разделах, отметим лишь, что зако-

номерности, установленные для условий лесостепи с мощными выщелоченными (Курский стационар, Стрелецкая степь) и обыкновенными (типичными) черноземами (Каменная степь), имеют универсальный характер, обусловленный как естественными факторами, так и логикой исторического антропогенного процесса. О практическом отсутствии поверхностного стока из леса свидетельствуют приводимые далее литературные данные.

Относительно смыва почв в лесной зоне имеются сведения, что в лесу и на многолетней залежи, близкой по характеристикам травостоя к целине, он составил 11-30 кг/га в среднем за 1958-1960 гг. [399], т. е. был ничтожным.

По данным И. И. Хуторцова (1967), в горных заповедных лиственных буковых (X-XIII классы возраста), грабовых (III-IV классы) и хвойных пихтовых (V-VII классы) лесах Кавказского заповедника на высотах от 200 до 500-600 м и при крутизне склонов 22-25° с бурыми горно-лесными и горно-лугово-лесными тяжелыми щелочистыми суглинистыми почвами поверхностный годовой сток в среднем за 1958-1962 гг. составлял 4,5-16,0 мм с колебаниями от 3,5 до 22,0 мм при среднем слое осадков около 1100 мм ($K_c = 0,006-0,014$). Средний смыв колебался в пределах 32-89 кг/га. Лишь в беспокровном букняке без подстилки сток возрастал в среднем до 32 мм (22-42 мм), а смыв – до 330 (26-476) кг/га. При ливне слоем 104 мм (8-9.07.64 года) смыв в лесах на склонах крутизной 22-32° не превышал 13-42 кг/га, возрастая до 23-52 кг/га на сплошной вырубке с разнотравьем, до 13-15 т/га в редком лесу с разрушенными пастьбой скота почвами и до 134-272 т/га на пашне (крутизна склона 16-18°). Аналогичные данные при дождевании имеются у А. П. Казанкина [188, 189], Н. М. Горшенина [111, 112], А. М. Бурыкина [56, 57] и др.

На отсутствие поверхностного стока с лесной территории Тебердинского заповедника указывает В. И. Петров [314], ссылаясь также на данные А. И. Поляковой. О полном отсутствии или ничтожной эрозии в девственных лесах и на целине сообщают также L. Ellison, T. Coaldrake [417], F. Fournier [419], G. W. Musgrave [421]. Рассмотрим более обстоятельно своеобразие проявления эрозионного процесса в связи с гидрологическим режимом девственных ландшафтов.

Интенсивность эрозии определяется, с одной стороны, энергетическими характеристиками водного потока (глубина, уклон, скорость течения, вязкость, турбулентность), а с другой – эрозионной

податливостью субстрата. Поэтому в одних условиях мощные водные потоки эродируют слабо, а в других даже мельчайшие водные струи вызывают сильный смыв и размыв.

Относительно эрозии в естественных условиях существуют две диаметрально противоположные точки зрения. Одна из них, традиционная, разделяется большинством биологов, геоморфологов, почвоведов и эрозионников и состоит в том, что естественный ЭАП ("нормальная", или геологическая, эрозия) протекает постоянно, замедляясь или ускоряясь вместе с вариацией климата и характером растительности. Иными словами, они признают возможность ЭАП на территориях не только с разреженным, но и сомкнутым растительным покровом, в том числе в девственных лесах и на травянистой целине лесной, лесостепной и степной зон [128, 352, 398]. Другая точка зрения высказана еще А. И. Воейковым [71], П. А. Костычевым [221], но впервые обоснована А. С. Козменко [205], поддерживалась Г. П. Сурмачем [359, 361, 363] и в той или иной мере разделяется рядом ученых [14, 106, 348]. Суть ее заключается в тезисе, что на девственных территориях с сомкнутым растительным покровом высокая противоэрозионная стойкость лесной подстилки, степного войлока и дернины не просто ослабляет ЭАП, а исключает его полностью. Эрозия возникает и интенсивно проявляется лишь при сильном разреживании или исчезновении растительного покрова в эпохи четвертичных оледенений при похолоданиях климата, а также вследствие антропогенного вмешательства в природу. Г. П. Сурмач отмечал также, что в межледниковые эпохи, в том числе в голоцене после потепления и восстановления зонального типа растительного покрова, эрозия локализовалась лишь в руслах рек [359]. Следует также признать, что естественный ЭАП протекает в любые климатические эпохи в нивальном поясе высокогорных и полярных пустынь, в экстрааридных условиях с крайне разреженным растительным покровом.

Вопрос имеет принципиальное значение, ибо от правильного его понимания зависит решение проблем генезиса почв и рельефа, формирования толщ геологических субаэральных отложений, гидрологии местности, стратегии и тактики противоэрозионной защиты, определения допустимых темпов эрозии и др.

Следует признать, что обе точки зрения основаны почти исключительно на доводах логики, а не на экспериментальных данных, которые только и могут внести ясность в суть вопроса [318]. Таких данных очень

мало, поскольку заповедных территорий в районах интенсивного земледелия почти не сохранилось, а исследования в Сибири с массивами территорий, еще не затронутых в сильной степени хозяйственной деятельностью, затруднены из-за их практического безлюдья.

Рассмотрим имеющуюся информацию (табл. 1.5).

Часть материалов, представленных в табл. 1.5 (пп. 1-2, 6-7 эрозия в $\text{м}^3/\text{га}\cdot\text{год}$), получены на основе оценок выноса крупными и малыми реками (1, 2, 4, 5, 6, 7), другая – на основе смыва на воднобалансовых площадках и при дождевании (6-8, 10-12), в специальных лотках (9) и по степени уменьшения гумусового горизонта смытых почв за период земледелия (3). Следует отметить, что преобладающая часть имеющихся материалов оценивает не собственно эрозию, а лишь вынос субстрата. Это относится главным образом к данным по рекам. По этим данным построены региональные и глобальные карты процесса денудации [121, 257, 356, 401, 419, 420]. Очевидно: вынос меньше эрозии за счет аккумуляции части материала на путях его транзита. Этим, между прочим, объясняется, почему модули выноса с учетом антропогенного воздействия для больших рек меньше, чем для малых [40, 121, 355].

Обращает на себя внимание ряд важных особенностей эрозии и выноса.

1. Максимальные величины выноса отмечены для гор вообще и особенно высоких. Это, по существу, и есть темпы "нормального", естественного, выноса (пп. 1, 2, 4). На равнине в антропогенных условиях процесс по интенсивности может приближаться к горному (п. 3 в сравнении с п. 4) и даже быть одного порядка с ним (в литературе встречаются сведения о смыве в сотни и даже тысячи $\text{м}^3/\text{га}$ [200], особенно при ливнях).

2. Антропогенный фактор усиливает вынос на равнине сильнее, чем в горах, и, таким образом, "ускоренная" эрозия на равнине не уступает "нормальной" в горах. Это является свидетельством проявления защитных свойств растительности, которая в естественных условиях покрывает равнины сплошь, а в высоких горах частично или вовсе отсутствует. При полном уничтожении растительности на равнине антропогенная эрозия возрастает и практически сравнивается с "нормальной" горной.

3. Имеет место огромный разброс темпов выноса на равнине – от 0,05 до 5-6 т/га (пп. 3, 5, 7), что скорее всего есть следствие различной степени деградации растительности.

Темпы естественной и антропогенной эрозии

Номер пункта	Местность, условия	Интенсивность выноса и эрозии, $t(m^3)/(га \cdot год)$	Автор, источник
1	Гималаи	100-1400	Н. И. Маккавеев [259]
2	Центральный Кавказ, горный пояс	5000-9000	С. А. Ахундов, Г. К. Габриэлян, З. Х. Гаджиева [254]
3	Русская равнина, пахотные склоны антропогенно преобразованных ландшафтов лесостепи	2-3	Г. П. Сурмач [365]
4	Горы в среднем: а) при антропогенном воздействии б) в естественных условиях	2,61 1, 27	А. П. Дедков, В. И. Мозжерин [121]; Е. Ф. Станкевич [355]
5	Равнины в среднем: а) при антропогенном воздействии б) в естественных условиях	1,76 0,13	Те же "-
6	Земная кора в целом	0,78	Н. И. Маккавеев [259]
7	Равнины СНГ	0,05-0,25	"-
8	Кустарники и заросли, $\alpha = 18-20^\circ$: а) сухие субтропики Таджикистана б) влажные субтропики Черноморья в) тропики и субтропики	0,06 0,17 ≈ 0	А. М. Бурыйкин [55] "- Н. А. Денисов [125]
9	Задернованный склон: $\alpha = 12-26,5^\circ$; $L = 30-136$ м (Каршинская степь)	0,0014-0,0064	М. Н. Заславский и др. [157]
10	Лес, задернованная поверхность (Забайкалье, бассейн р. Агуцакан)	$2 \cdot 10^{-3}$	Г. С. Ананьев и др. [6]
11	Дернина, проективное покрытие 100%, $i_d = 2,5$ мм/мин (Азербайджан)	0	Х. М. Мустафаев [283]
12	Лесостепь, Курский стационар ИГАН СССР (1962-1982): а) девственный лес б) травянистая целина в) озимые г) зяблевая вспашка д) территория г. Курска	$0^{x)}$ $0^{x)}$ $0,16^{xx)}$ $1,12^{xx)}$ 2,8	М. И. Львович и др. [256, 257] "- "- "-

Примечание. ^{x)} см. примечание к табл. 1.2; ^{xx)} при длине склонов $L = 200-230$ м; α – крутизна склонов, град.

4. Сомкнутый растительный покров на равнине и в горах независимо от крутизны склонов обладает уникальными защитными свойствами, обеспечивая снижение эрозии до ничтожно малых величин и даже полное ее прекращение в широком диапазоне почвенно-климатических условий (пп. 8-11, 12а, б).

Несмотря на огромную вариацию данных и учет не в полной мере собственно эрозии, а также занижение смыва на стоковых площадках малой длины (п. 12в, г), вся совокупность имеющейся информации о темпах эрозии может быть логично увязана при рассмотрении двух цепочек явлений: 1) естественная растительность ландшафтов – антропогенно (скотоводством, земледелием) преобразованная растительность – лишённые растительности почвы и горные породы и 2) горы в естественном состоянии – горы при антропогенном воздействии – пахотные склоны равнин – речные системы равнин (малые, большие).

В первой цепочке происходит увеличение эрозии от нуля (и около нуля) до максимальных величин, определяемых совокупностью естественных гидрологических (слой и интенсивность стока), орографических (уклон, длина, экспозиция, форма склона) факторов и физико-механических свойств субстрата по мере деградации растительного покрова ("опустынивание") от полностью сомкнутого (лесная зона, лесостепь, степь) до сомкнутого частично (полупустыни, пустыни, пахотные склоны, пастбища) и полного его исчезновения (паровые поля, обнажения горных пород). При этом естественная ("нормальная") эрозия может как отсутствовать полностью (при сомкнутой растительности), так и достигать максимально возможных размеров при отсутствии растительности. В связи с этим антропогенная ("ускоренная") эрозия на равнине при отсутствии растительности и малых уклонах может быть даже больше, чем естественная эрозия в поясе горной луговой или травянистой растительности на склонах крутизной 20-25° и более.

Во второй цепочке происходит уменьшение темпов эрозии от максимальных (в высоких горах выше пояса растительности) до минимальных выносов из устьев крупных равнинных рек. Имеет место максимум эрозии на пахотных склонах и снижение ее к устьям балок и в речных долинах. Отсюда следует, что оценки антропогенной эрозии по выносу из рек, а также на воднобалансовых площадках малой длины сильно занижены. Об этом свидетельствуют и величины мутности талых и дождевых вод на пахотных склонах (по нашим данным, обычно 5-6 г/л весной и до 100 г/л и более при дождевом стоке) и в реках, где

они в среднем составляют доли г/л. Иными словами, при переходе от пахотных склонов к лощинно-суходольной сети, затем к малым, средним и большим рекам имеет место интенсивная аккумуляция продуктов эрозии [204], обуславливающая формирование намывных почв на задернованных присетевых склонах, берегах и днищах лощин и балок, занос мелкоземом пойм, заиление рек. Этот процесс особенно интенсивно идет в верховьях (феномен "заиления" малых рек), постепенно ослабевающая вниз по течению рек. На крупных реках при слабом антропогенном воздействии знак процесса меняется [121, 355].

Интенсивность эрозии следующим образом соотносится с темпами денудации на протяжении 1 млн лет (объемная масса мелкозема принята 1 т/м³):

Эрозия: т(м ³)/(га·год)	0,001	0,1	1	10	100
мм/год	0,0001	0,01	0,1	1	10
Денудация, м/млн лет	0,1	10	100	1000	10000

Если принять, что естественный эрозионный процесс при наличии растительности идет с интенсивностью 0,001-0,2 м³/(га·год) (пп. 7-9 табл. 1.5), то геоморфологический эффект за весь четвертичный период (2-3 млн лет) выразится в величине вреза балочно-долинной сети по отношению к водоразделу всего 0,2-60,0 м. Реально же он намного больше и составляет обычно 100-150 м, т. е. происходил при сомкнутости растительности значительно меньшей, чем в естественных условиях. С другой стороны, при средних темпах эрозии, равных темпам исторического смыва (в год около 5-6 т/га на склонах и 20 т/га в нижних прирвовочных частях склонов), для вреза на 50 м, происшедшего в течение последнего (валдайского) оледенения, потребовалось бы 25000 лет, что по порядку величины сопоставимо с продолжительностью этого ледникового цикла. В действительности врез происходил лишь при таянии ледника особенно в его начале, т. е. интенсивность размыва была намного больше (на зяби в присетевой части крутых выпуклых склонов и в современных оврагах скорость вреза составляет несколько сантиметров в год, т. е. вынос достигает нескольких сот тонн с одного гектара в год). А это значит, что естественный эрозионный процесс шел со значительно большей скоростью, чем современный "ускоренный" на земледельческой территории. Бóльшая же его скорость возможна при значительно худшем состоянии растительности или ее полном отсутствии (как на зяби и в современных оврагах). Таким образом, данные табл. 1.5 и выполнен-

ные на их основе расчеты свидетельствуют о правоте тех ученых, которые отрицают возможность нормальной эрозии, формирующей рельеф в условиях наличия сомкнутого растительного покрова. Об этом же свидетельствует и отсутствие мощных аккумулярованных отложений высокогумусированного мелкозема, который неизбежно откладывался бы на суше, если бы смыв с поверхности почвы в естественных условиях был возможен. Наблюдаемые же в лощинах и балках такие отложения имеют мощность обычно 0,2-0,5 м [153], их возраст измеряется всего сотнями лет [79, 80], т. е. их аккумуляция связана с эрозией в земледельческий период.

1.3. Противоэрозионная лесомелиорация и специфика эрозионно-гидрологического процесса

Сущность стокорегулирующего и противоэрозионного эффекта защитных лесных насаждений (ЗЛН) определяется двумя важными обстоятельствами: а) локальным влиянием ЗЛН на водопоглощение, сток и эрозию непосредственно под пологом насаждений и б) пространственной трансформацией ЭГП в зоне влияния ЗЛН на прилегающую территорию. В первом случае эффект обусловлен теми качествами, которые искусственные ЗЛН наследуют от естественных лесов, а во втором, кроме того и главным образом, ситуацией, определяющей ЭГП на антропогенно преобразованных нелесных (пашня, луг) угодьях. Существенно важна также динамика тех пространственно-временных преобразований территории, которые обуславливаются созданием новых ЗЛН на сельскохозяйственных угодьях.

1.3.1. Эрозионно-гидрологический режим в современных лесных насаждениях

Массивные леса. Современные леса Земли вообще и Северной Евразии в частности антропогенно преобразованы даже в труднодоступных и слабо заселенных местах высокогорий, тайги, тропиков, не исключая и особо охраняемые территории заповедников, заказников, национальных парков. Однако степень этого преобразования различна, что и обуславливает особенности трансформации ЭГП. Особенно сильные изменения происходят при сплошной или частичной вырубке лесов с применением современной лесозаготовительной техники [111,

112, 137], в порослевых насаждениях 2-3-го и т. д. поколений, при пожарах, пастьбе скота, высоких рекреационных нагрузках, прокладке коммуникаций и т. п. Однако и при разумном ("неистоощающем") ведении хозяйства в лесах изменения ЭГП неизбежны. Какого-либо единого показателя, позволяющего судить о степени антропогенного воздействия на леса, не существует. Это, естественно, затрудняет их классификацию по этому признаку и рассмотрение в связи с ним качественной и количественной эволюции ЭГП. Обычно в литературе отсутствуют даже упоминания о характере антропогенной деятельности в лесах за редкими указаниями самого общего характера (пастьба скота, рубки ухода и т. п.). Кроме того, одно и то же воздействие имеет различную степень и направление влияния на ЭГП в разных лесах (например, рыхление или удаление подстилки (см. [95], раздел 2.2.1). На это накладывається и многофакторность ЭГП, поэтому один и тот же уровень того или иного показателя формируется сочетанием самых разнообразных условий. Все это чрезвычайно затрудняет анализ и обобщение явления. Однако неизбежные трудности (и обусловленная ими очевидная неопределенность выводов) не столь непреодолимы, как это представляется на первый взгляд. Дело облегчается наличием бесспорных фактов и очевидных закономерностей, позволяющих вскрыть ведущие тенденции хотя бы в самом общем виде.

По вопросу об ЭГП (в большей степени о ГП) в лесах имеется чрезвычайно обширная отечественная и зарубежная литература начиная с XIX в., когда были организованы систематические стационарные гидрологические наблюдения на реках и отчасти логах. В XX в. они были значительно расширены за счет организации в системе Госкомгидромета СССР специальной речной гидрометрической сети, а также создания специализированных исследовательских воднобалансовых лабораторий и обсерваторий с наблюдениями на малых реках, логах и воднобалансовых площадках. Аналогичные стационары создавались и в других научно-исследовательских учреждениях начиная с 20-30-х и особенно с 50-60-х годов.

Основная масса литературы посвящена вопросу влияния лесов на речной сток и связи его с хозяйственной деятельностью, в первую очередь земледельческой, и особенно с воздействием обработки почвы и биомассы растений на водный баланс речных бассейнов. Этому полностью или в значительной степени посвящены статьи и монографии А. И. Воейкова, В. В. Докучаева, М. А. Великанова, Г. Н. Высоц-

кого, А. Д. Дубаха, Б. Д. Зайкова, П. С. Кузина, М. И. Львовича, А. А. Молчанова, А. В. Огиевского, В. В. Рахманова, А. И. Чеботарева, И. А. Шикломанова, А. И. Миховича, А. И. Субботина, П. Ф. Идзона, М. В. Рубцова, Н. А. Воронкова, В. Е. Водогрещкого и др.

Значительная литература имеется по тем или иным аспектам лесной гидрологии, особенно в связи с влиянием лесов на поверхностный сток; это работы А. А. Измаильского, Ю. Ф. Готшалка, П. В. Отоцкого, Е. В. Оппокова, В. В. Докучаева, П. А. Костычева, Г. Н. Высоцкого, А. П. Бочкова, А. А. Молчанова, С. В. Зонна, М. И. Львовича, А. А. Роде, Н. С. Нестерова, Г. Р. Эйттингена, И. И. Хуторцова, И. С. Шпака, А. И. Миховича, Г. В. Назарова, А. В. Побединского, А. А. Соколова, Н. А. Воронкова и др.

Специальная литература по вопросам гидрологической роли лесной мелиорации также обширна и представлена работами Г. Н. Высоцкого, А. С. Козменко, А. А. Роде, М. Е. Ткаченко, А. А. Молчанова, М. И. Львовича, Г. П. Сурмача, А. М. Бялого, П. Д. Никитина, В. А. Каргова, А. М. Грина, Е. П. Чернышева, В. И. Панова, В. М. Иволина, И. Г. Зыкова, И. А. Кузника, Г. А. Харитоновна, М. Н. Грищенко, Г. Ф. Басова, Н. М. Горшенина, И. П. Сухарева, А. А. Ханазарова и др.

Этим вопросам посвятили многочисленные работы А. Engler [418], G. G. Bates, A. T. Henry [415], G. Burger [416], H. L. Penman [422] и др. Часть работ переведена на русский язык: Э. Анри [10], Х. Х. Беннетт [37], К. Бетс [38], Х. Л. Пенман [310], Д. Китредж [22] и др.

Особое место в литературе отводится стокорегулирующим и противоэрозионным функциям лесных полосных насаждений, рассматриваемым далее.

Основательная проработка в литературе лесогидрологических вопросов избавляет от необходимости повторной сводки имеющейся обширной информации. Остановимся поэтому лишь на констатации известных заключений и обсуждении тех моментов, которые недостаточно ясны и в первую очередь имеют отношение к рассматриваемому вопросу об эволюции ЭГП, особенно поверхностного стока, в лесах и главным образом в пределах Русской равнины.

Анализ карты суммарного среднегодового речного стока [215] выявляет субширотное уменьшение его слоя с севера на юг от 400-300 мм в Мурманской, Архангельской обл. и Республике Коми до 250-200 мм в центральных районах на широте Москвы, 150-100 мм в лесостепи и 50-10 мм в степи, минимум 5 мм в прибрежной части северного Прикаспия

(табл. 1.6). Эта закономерность нарушается на возвышенностях (увеличение слоя на 30-50 мм) и особенно в горах – сток возрастает до 500 мм в Карпатах, до 800 на Урале и 2000 на Кавказе. В общем тенденция изменения стока обусловлена слоем выпадения осадков и увеличением испарения и транспирации с севера на юг [51].

Таблица 1.6

Ориентировочные величины осадков и стока на Русской равнине, мм

Район	Осадки		Средний сток				
	средне-годовые	снегозапасы	суммарный речной	подземный	весеннего половодья	поверхностный	
						с уплотненной пашни	с зяби
Север (Мурманская, Архангельская обл., Республика Коми)	800-500	140-120	400-300	125-100	160-140	не опр.	(100)
Центр (широта Москвы)	600-500	140-120	250-200	100-75	100-80	85	55
Лесостепь	600-400	100-80	150-100	50-25	80-60	60-50	40-35
Степь	400-200	60-40	50-10	10-2	40-10	30-10	15-5
Северный Прикаспий	200-100	40	5	2	5	Около нуля	

Подземный сток в тех же пунктах на равнине составляет 125-100, 100-75, 50-25, 10-2 мм [215], а сток весеннего половодья 50%-ной вероятности превышения соответственно 160-140, 100-80, 80-60, 40-10 мм [181]. Несколько меньше поверхностный сток (см. рис. 1.1).

В целом для стока рек имеет место наиболее общая тенденция убывания с севера на юг доли подземного стока и возрастания доли весеннего поверхностного стока. (На юге в степи речной сток почти полностью определяется поверхностным). Она обусловлена зональной тенденцией изменения годовых осадков, эвапотранспирации и доли осадков холодного периода года.

Другая важная тенденция определяется соотношением двух основных угодий на водосборах – лесных и полевых (пахотных и луговых). Все исследователи практически единодушны в том, что сток весеннего половодья с лесных угодий меньше, чем с полевых, и эта разница тем больше, чем ниже по широте расположен водосбор. (Отно-

сительно суммарного речного стока лесных и полевых бассейнов длительное время с XIX в. идет острая дискуссия. Мы разделяем выводы П. Ф. Идзона и Г. С. Пименовой о многофакторности процесса и наличии общей тенденции некоторого возрастания речного стока и межленного (подземного) питания рек с залесенными водосборами севера европейской территории с ослаблением этой тенденции к югу. Очень важно отмеченное авторами увеличение речного стока при чередовании лесных массивов с полями [173]).

Наиболее разнородный материал имеется по соотношению весеннего поверхностного и подземного (внутрипочвенного и грунтового) стока на лесных и полевых угодьях, особенно в районах избыточного увлажнения. Для них характерно нередко большое участие в весеннем половодье поверхностного стока из леса, сопоставимое с величиной поверхностного стока с полевых угодий [70, 29, 389]. Наряду с этим имеются данные о незначительном поверхностном стоке талых вод из леса и даже о его практическом отсутствии. Многие авторы особо отмечают резкое уменьшение доли участия поверхностного стока в суммарном сразу же после прекращения снеготаяния и особенно в летний период при дождевых осадках [135, 201, 389 и др.], а также при дождевании.

Таким образом, информация о влиянии лесов на поверхностный сток противоречива и нуждается в разъяснении. Высокий сток может быть обусловлен, с одной стороны, низкой инфильтрационной способности лесных почв, а с другой – спецификой гидрологического режима почвогрунтов в лесах, особенно в северной тайге. Низкая инфильтрация может быть объяснена особенностями генезиса лесных почв в этой зоне или антропогенной их деградацией. Возможно и парадоксальное на первый взгляд сочетание высокой инфильтрационной способности лесных почв с повышенным поверхностным стоком, что связано с выклиниванием грунтовых вод при небольшой мощности зоны аэрации. Выклинивание сначала происходит в нижних частях водосбора, а затем на более высоких [201, 357]. Не отрицая роли всех отмеченных факторов, попытаемся сделать заключение о ведущих тенденциях.

Большую роль в формировании поверхностного стока вообще и из леса в частности играет соотношение двух характеристик – дефицита влажности в зоне аэрации и ее мощности. Оно определяется соотношением осадков и степени увлажнения зоны аэрации с глубиной залегания водоупоров. Чем больше выпадает осадков, чем меньше испарение и

транспирация (в сумме эвапотранспирация), а также глубина залегания водоупоров, тем больше вероятность формирования поверхностного стока даже при высокой водопроницаемости лесных почв.

В *таежной зоне* каждый из указанных факторов и в сочетании благоприятствуют формированию стока. Здесь имеет место максимум осадков и минимум эвапотранспирации. Кроме того, на значительной части территории, освободившейся в голоцене от ледника, широко распространены двучленные наносы: верхний относительно более легкий (часто супесчаный и песчаный) слой имеет во многих случаях незначительную мощность (0,3-0,5 м) и подстилается обычно суглинистой и глинистой водоупорной мореной. Кроме того, для почв здесь характерен слабоводопроницаемый иллювиальный горизонт, распространены ортштейны и ортзанды, формируются оглеенные слои. Все эти факторы особенно неблагоприятно сочетаются при значительных здесь объемах талых снеговых вод, поступление которых в почву носит "залповый" характер. Условия летней инфильтрации, несмотря на обычно больший суммарный слой летних осадков, значительно благоприятнее из-за большей эвапотранспирации и меньшей влажности зоны аэрации. Поэтому летний поверхностный сток в лесах здесь формируется незначительный и лишь при сильных дождях [70, 389]. Это является очевидным аргументом в пользу вывода о высокой инфильтрации лесных почв, особенно с учетом высокой интенсивности дождевых осадков. Кроме того, в выделении поверхностного стока как составляющей суммарного играют роль особенности выполнения экспериментов и способа обработки полученных данных. Если в экспериментах на водосборах малых рек, ручьев и логов устройство водомерных сооружений обязательно предполагает врезание их оснований до водоупоров [254, 389] с целью перехвата всего стока (внутрипочвенного и поверхностного), то на воднобалансовых площадках это может серьезно исказить соотношение подземной и поверхностной составляющих [214, 389], что приводит практически к неминуемому завышению поверхностного стока. Очевидно: требуются серьезные коррективы в методике экспериментов. Этими обстоятельствами, на наш взгляд, обусловлен разительный контраст в оценках поверхностного стока на логах и воднобалансовых площадках Валдайской НИГЛ. (Здесь сток с водосбора обычно больше, чем на склоновых площадках. В условиях лесостепи, как отмечалось выше, ситуация прямо противоположная). Так, если на водосборе лога Та-

ежный с супесчаными почвами средние величины весеннего стока из 60-70-летнего елового заповедного леса за 1950-1959 гг. составили 114 мм ($K_c = 0,50$) [357], то на воднобалансовой площадке на водосборе этого же лога талый сток был всего 6 мм ($K_c = 0,03$), а за период 1951-1973 гг. 3,6 мм (0,027) [104], т. е. несопоставимо мал. На водосборе полевого Усадьевского лога весенний сток достигал в среднем 185 мм ($K_c = 0,84$) [357].

По данным Н. И. Костюкевича, на лесных воднобалансовых площадках (свежая рамень, состав 9Е 10с + Б, возраст 45 лет) в 1938 г. талый сток из леса был около 1 мм ($K_c = 0,007$), в 1939 г. при запасах воды 122 мм в лесу $K_c = 0,035$. На залежи сток достигал в 1938 г. 147 мм ($K_c = 0,82$) при запасах воды 180 мм; в 1939 г. $K_c = 0,93$ [222].

На воднобалансовых площадках института "Союзгипролесхоз" [70] в подзоне средней тайги в высокополотных ельниках (8Е1БП+С, О_с; возраст 160-200 лет; IV класс бонитета) на неглубоко-подзолистых и подзолистых супесчаных и суглинистых почвах Княжпогостского р-на Республики Коми с залеганием на глубине 0,4-0,6 м тяжелых суглинков (водоупоры) поверхностный сток талых вод в среднем за 1974-1985 гг. составил в ельнике свежем 56 мм (суммарный 118 мм) при $K_c = 0,29$ (0,63), максимум достигал 67 (178) мм при $K_c = 0,34$ (0,91), минимум 10 (46) мм при $K_c = 0,06$ (0,28) и средних запасах снеговой воды 194 мм. В ельнике влажном соответствующие величины за 1980-1985 гг. составляли 27(77), 36(74), 3(11) мм при K_c 0,14 (0,39); 0,15(0,32); 0,021(0,078) и средних запасах снеговой воды 196 мм. Для лесного лога Никон-Шор суммарный сток весеннего половодья в среднем за 1979-1985 гг. составил соответственно 126, 156 и 102 мм при K_c 0,60; 0,71 и 0,48 и снегозапасах 211, 252 и 180 мм. Для Полевого лога (51% пашня, 45% лес, 3% луг) суммарный весенний сток был в среднем 135, 154, 118 мм при K_c 0,70; 0,86; 0,52 и снегозапасах 193, 225 и 169 мм. Таким образом, здесь при худших условиях просачивания влаги, чем на Валдае, поверхностный сток талых вод из леса был довольно значительным, сток с водосборов логов сильно превышал сток со склонов, а различия в стоке с полевых и лесных логов были относительно невелики как на рассматриваемых, так и на других объектах в подзонах средней и южной тайги. Однако даже для более северных условий Архангельской обл. известны факты очень слабого талого стока или его отсутствия [279].

Следовательно, можно заключить, что в условиях таежной зоны имеет место высокая инфильтрационная способность лесных почв и

при достаточной мощности зоны аэрации поверхностный сток мал или отсутствует. В ситуациях, когда складываются благоприятные условия формирования в лесу поверхностного стока (малая мощность зоны аэрации), он относительно невелик, особенно в сравнении с полевым стоком, а часто отсутствует, преимущественно при дождевых осадках. Таким образом, можно считать, что антропогенный фактор не привел к резкому снижению инфильтрации влаги в лесах.

В *подзоне хвойно-широколиственных лесов* условия инфильтрации талых вод в почву улучшаются вместе с уменьшением выпадающих осадков, потеплением климата, увеличением эвапотранспирации, большим иссушением зоны аэрации и понижением уровня залегания водоупоров на склонах.

Так, на воднобалансовых площадках Подмосковной стоковой станции с березовым лесом (10Б, возраст 45 лет, полнота 0,7-0,8, имеется подрост и подлесок) на тяжелосуглинистых дерново-среднеподзолистых почвах и в смешанном лесу с супесчаными почвами при уровне грунтовых вод ниже 5 м даже при самых благоприятных условиях (сильное увлажнение и глубокое промерзание почвы) поверхностный сток талых вод в 1957-1963 гг. отсутствовал, на суглинистых почвах он наблюдался крайне редко [357]. В то же время с водосбора Лесного лога, покрытого на 100% таким же лесом, слой стока талых вод составил за 1953, 1955-1956, 1958-1959 гг. в среднем 40 мм, максимум 91 и минимум 4 мм при K_c 0,21; 0,35 и 0,02. Для Полевого лога (пашня на 100% водосбора) эти же показатели составили соответственно 113, 177, 80 мм при K_c 0,68; 0,83 и 0,42.

Полное отсутствие поверхностного стока или его незначительные величины в лесах Московской обл. отмечали также В. А. Троицкий и М. Н. Жернова [383].

В то же время данные по Загорскому стационару ИГ свидетельствуют о возможности формирования значительного (12-30 мм в 1960 г.) весеннего стока талых вод в смешанных лесах Подмосковья и даже некоторого превышения стока с лесных логов по сравнению с полевыми: 121 и 107 мм соответственно при K_c 0,63 и 0,58 и запасах снеговой воды 193 и 184 мм в среднем за 1959-1969 гг. [217].

В *лесостепной зоне и северной части степной* на серых лесных почвах, оподзоленных, выщелоченных и обыкновенных черноземах тенденция отсутствия поверхностного стока из леса проявляется еще отчетливей. Рассмотренные ранее данные ИГ о стоке из заповед-

ных лесов дополняются результатами исследований Г. А. Харитоновой: в Шиповом лесу Воронежской обл. в 1938-1940 гг. при снегозапасах 143-166 мм поверхностный сток талых вод составлял 0,2-3,6 мм при K_c 0,001-0,022. В поле соответствующие величины были равны 71-220 мм, 18-71 мм, 0,12-0,56 [393]. А. А. Молчанов, проанализировав материалы собственных исследований и литературные данные, заключает: "В лесостепной и особенно в степной зонах поверхностного стока в лесу почти нет..." [280, с. 19]. К аналогичным выводам приходит и А. И. Субботин [357]. В то же время, согласно исследованиям Н. С. Одинокова, В. В. Смирнова и А. А. Молчанова, за 1951-1956 гг. на темно-серых почвах Теллермановского леса (Воронежская обл.) в дубовых, ясеневых и осиновых насаждениях II класса бонитета в возрасте от 10-40 до 70-220 лет поверхностный сток талых вод достигал в среднем 10-17 мм. С ухудшением почвенных условий (от серых лесных до солонцов) и бонитета (от II до V) в 220-летних дубравах поверхностный сток возрастал в среднем от 15 до 130 мм [279], т. е. в худших условиях приближался к характеристикам таежной зоны.

О полном отсутствии стока талых и дождевых вод свидетельствуют данные Н. Ф. Короткевича за 1937-1939 гг. для естественного леса на Придеснянской станции (Черниговская обл. Украины); однако в отдельные годы сток достигал 64 мм (K_c 0,42) [218].

Согласно данным Г. В. Назарова, в Велико-Анадоле в среднем за 12 лет (1956-1967 гг.) поверхностный сток талых вод с водосбора Дубового лога (24% лес, 67% пашня) составил 1,7 мм при K_c 0,02, лога Сухого (98% пашня) 13,8 мм при K_c 0,02. Очевидно: и здесь сток из леса (если отбросить сток с пахотных склонов лога Дубового) практически отсутствует [285]. Об этом же свидетельствуют данные за 1959-1967 гг. по логу Кашлагачик (лесистость 87%) и Пасечному (98% пашня): в первом случае сток составил 0,1 мм ($K_c = 0,001$), во втором 12,6 мм ($K_c = 0,15$). По данным И. С. Шпака [412], поверхностный сток из леса в Велико-Анадоле на суглинистых почвах меньше по сравнению со стоком с полевых угодий в 175 раз.

А. И. Михович для сухих и свежих дубрав на темно-серых лесных суглинистых почвах бассейна р. Сухого Торца (Донецкая обл. Украины) в среднем за 13 лет (с 1958 г.) приводит величину поверхностного стока талых вод на воднобалансовых лесных площадках 4,4 мм и на безлесных площадях 34 мм [273, 274].

В степной зоне на щебнистых черноземах правобережья Волги (с-з "Вязовский" Татищевского р-на Саратовской обл.) за 18-летний

период (1964-1981 гг.) при среднем весеннем стоке из дубравы 8,2 мм умеренный (31-38 мм) наблюдался 4 года – в 1965, 1969, 1971 и 1977 гг.; 3 года (1970, 1980 и 1981) он был слабый (1,4-6,7 мм), в остальные годы отсутствовал, несмотря на значительный (до 60-84 мм) сток с полевых угодий [190, 191, 234, 248-250, 334]. Здесь также отмечалось уменьшение слоя стока с лесного водосбора в сравнении со склоновым стоком. Таким образом, стокорегулирующий эффект дубравы сопоставим с таковым девственного леса.

По данным В. И. Панова, на обыкновенных черноземах Заволжья Самарской обл. [60, 303, 304] на водосборе с разновозрастным байрачным лесом из дуба, березы, липы, вяза, осины, клена остролистного (79% лес, 21% выгон) при запасах снеговой воды 180 мм поверхностный сток талых вод в среднем за 1971-1975 гг. составил 9 мм (в 1971 г. 27 мм, в 1972-1975 гг. от 0 до 13 мм) при $K_c = 0,05$ и запасах воды 180 мм, а в среднем за 1971-1983 гг. при снегозапасах 233 мм сток составил 24 мм, $K_c = 0,10$ [303, 304]. Поскольку сток с выгонной части водосбора на 20-75 мм (в среднем на 42 мм) больше, чем в целом с балочного [303], то из пропорции $s_{\text{вдсб}} = 0,21s_{\text{выг}} + 0,79s_{\text{лес}}$ следует, что из байрачного леса в среднем за 1971-1983 гг. сток составил $s_{\text{лес}} = (s_{\text{вдсб}} - 0,21s_{\text{выг}})/0,79 = 1,3s_{\text{вдсб}} - 0,3s_{\text{выг}} = 1,3 \cdot 24 - 0,3 \cdot (24 + 42) = 31 - 20 = 11$ мм, т. е. был примерно на уровне стока из девственного леса.

Таким образом, можно считать установленным, что в лесостепи и черноземном поясе степи при обычном для этих условий глубоком залегании грунтовых вод леса в хорошем состоянии имеют высокий уровень инфильтрации почв. Поверхностный сток как талых, так и дождевых вод здесь формируется очень редко и в особо неблагоприятных гидрометеорологических ситуациях. Поверхностный сток может достигать значительных величин, сравнимых с величинами на полевых угодьях, лишь при сильных нарушениях естественного лесного режима, особенно при рубках лесов [111, 112, 137, 189, 245, 342], и на почвах специфического генезиса (солонцы).

Относительно условий формирования поверхностного стока в лесах сухостепной, полупустынной и пустынной зон с каштановыми почвами, буроземами и сероземами данных не имеется. Кроме того, здесь практически исчезли леса, сильно не нарушенные хозяйственной деятельностью. Можно лишь полагать, основываясь на анализе информации по лесной и лесостепной зонам, что даже в этих условиях из лесов в хорошем состоянии поверхностный сток практически отсутствовал.

В общем можно заключить, что во всех почвенно-климатических зонах естественные леса в современном их состоянии при слабом антропогенном воздействии отличаются высокой инфильтрационной способностью почв и являются мощным средством регулирования поверхностного стока.

Данные о смыве мелкозема в лесах крайне скудны и отрывочны, что обусловлено главным образом отсутствием в программе гидрологических экспериментов наблюдений за мутностью воды. А. В. Плещев [316] сообщает, что на Велико-Анадольской стоковой станции в среднем за 1956-1964 гг. мутность воды на лесных водосборах в 11-14 раз ниже по сравнению с полевыми. Ф. Н. Короткевич [218] за период 1937-1939 гг. отмечает полное отсутствие смыва в лесу, хотя сток здесь достигал 19-64 мм при смыве на пашне до 6-7 т/га. А. А. Молчанов на основе обобщения многолетних данных заключает, что "в сомкнутом лесу смыв атмосферными осадками мелкозема практически близок к нулю" [280, с. 11]. К заключению о возможности не принимать в расчет делювиальный снос в лесной, лесостепной и степной зонах при не нарушенном человеком растительном и почвенном покрове на склонах до 15-20° приходит С. С. Воскресенский; лишь в тундре и сухой степи делювиальный процесс начинает играть заметную роль, достигая 1/10 общей денудации [77]. А. П. Казанкин [188] по результатам дождевания интенсивностью 3-4 мм/мин при слое осадков 35-130 мм в горных лесах заключает о незначительном стоке и смыве или их отсутствии. Б. П. Агафонов [2] на залесенных склонах Прибайкалья даже при крутизне склонов 30-40° и длине 300-400 м дает оценку денудации как ничтожную: в среднем $8 \cdot 10^{-4}$ мк с колебаниями от $4 \cdot 10^{-5}$ до $3 \cdot 10^{-3}$. И. А. Кузник и А. В. Лысов [234] за 8 лет (1964-1977 гг.) наблюдений в средневозрастной дубраве на черноземах Приволжской возвышенности отметили наличие ничтожного смыва (0,08 и 0,21 мк) лишь в 1969 и 1970 гг.; в остальные годы смыв отсутствовал, несмотря на значительный (до 54 мм в 1965 г.) поверхностный сток талых вод. Есть основания полагать, что этот лес находится под значительной антропогенной нагрузкой (выпас скота). В среднем для леса на обыкновенных черноземах И. А. Кузник [232] называет величину эрозионного "коэффициента" 0,003 мм при слое стока 1 мм и уклоне 0,001. В. И. Панов [303] на обыкновенных черноземах Самарского Заволжья за период 1971-1975 гг. отмечает полное отсутствие смыва с водосбора, занятого на 79% байрачным лесом.

Наши эксперименты на серых лесных почвах Орловской области обнаружили полное отсутствие смыва в лесных насаждениях при стоке талых вод и дождевании.

Обобщая рассмотренные данные и с учетом информации об эрозии в девственных лесах, можно заключить, что в современных условиях всех почвенно-климатических зон умеренного пояса Северной Евразии из лесов, не испытавших заметного антропогенного воздействия, при полном отсутствии или незначительном поверхностном стоке вынос мелкозема можно принять равным нулю. Смыв в лесах есть следствие антропогенного вмешательства, однако часто даже при заметном нарушении естественного режима смыв незначителен. Смыв в лесу есть следствие не столько увеличения стока, сколько нарушения почвенного покрова. Сильная эрозия в лесах имеет место лишь при очень интенсивном вмешательстве – при чрезмерной пастьбе скота и вырубке лесов, особенно при наземной механизированной трелевке древесины. В этих условиях эрозия в лесах сравнивается с эрозией на пахотных склонах и даже превосходит ее при большой крутизне склонов и чрезмерном уплотнении почвы, особенно по трелевочным волокам, на месте которых часто возникают овраги.

Временная эволюция гидрологического процесса в искусственных лесонасаждениях. Высокая инфильтрационная способность лесных почв, обуславливающая незначительный поверхностный сток из леса или его полное отсутствие, является той основой, на которой в лесной мелиорации строится система стокорегулирующих насаждений. В большинстве случаев они создаются заново на сельскохозяйственных землях, отличающихся низкой водопроницаемостью. Создание на них лесных насаждений дает начало преобразованию почвенного покрова и восстановлению гидрологического режима, присущего лесам. Возрастная динамика этого режима почти не исследована. Поэтому исключительный интерес представляют данные, полученные на Валдайской НИГЛ, где осенью 1950 г. на полевом склоне были заложены куртинные лесные хвойные и лиственные культуры и проводились систематические наблюдения за поверхностным стоком талых вод [389]. Результаты этих наблюдений приведены в работе В. П. Герасименко [104] и в обобщенном виде представлены в табл. 1.7. (Стоковая площадка № 15 расположена на склоне ЮВ экспозиции с уклоном 0,023, подзолистыми почвами и залеганием водоупоров глубже 3 м. Состав насаждения 7СЗЕ; полнота 1,0 (1960 г.).

Слой подстилки 1-2 см (1960 г.), 4-5 см (1973 г.). Стоковая площадка № 16 расположена на слоне ЮВ экспозиции с уклоном 0,028 и такими же, как и на площадке № 15, почвенно-грунтовыми условиями. Состав насаждения 9Б1Ос, ед. ива; полнота 1,0 (1960 г.). Слой подстилки 1-2 см (1960 г.), 4-5 см (1973 г.). Они показывают, что по мере роста насаждений поверхностный сток уменьшался. В первые пять лет он достигал 110-130 мм, несмотря на легкий грансостав почв, т. е. был на уровне стока с полевых склонов. Во втором пятилетии его средняя величина уменьшилась до 5-21 мм, а в последующем снизилась до 2 мм (нарушение этой тенденции имело место в 1971-1972 гг. на площадке № 15 и обусловлено рубками ухода).

Таблица 1.7

**Возрастная динамика весеннего водного баланса лесных насаждений
Валдайской НИГЛ**

Годы	Возраст насаждений, лет	Средние величины, мм		Поверхностный сток, мм (числитель)/ K_c (знаменатель)		
		$h_{сн}$	W_d	максимум	минимум	средние
<i>Стоковая площадка № 15</i>						
1951-1955	1-5	199	122	112/0,67	34/0,085	77/0,39
1956-1960	6-10	273	252	55/0,18	5/0,013	21/0,076
1961-1970	11-20	165	163	4/0,013	0/0	1,9/0,012
1971 ^{х)} -1973	21-23	83	51	64/0,94	1/0,11	32/0,26
Среднее	1-23	185	159	-	-	26/0,14
<i>Стоковая площадка № 16</i>						
1951-1955	1-5	193	114	128/0,74	14/0,037	79/0,41
1956-1960	6-10	253	248	13/0,065	1/0,0047	5,2/0,021
1961-1973	11-23	165	163	5/0,051	0/0	2/0,012
Среднее	1-23	190	170	-	-	20/0,010

Примечание. ^{х)} осенью 1970 г. выполнялось прореживание, удаление и корчевка срубленных деревьев.

Таким образом, можно констатировать, что уже 5-летние культуры сильно преобразовывают гидрологический режим почв, а после 10 лет он практически неотличим от такового в естественном лесу: по данным для площадки № 3 [104], из зрелого елового леса в возрасте 60-70 лет средний слой поверхностного стока за 1951-1973 гг. составил 3,6 мм ($K_c = 0,027$) при средних запасах снеговой воды 134 мм (слой инфильтрации 130 мм).

По данным В. Н. Дьякова, в Карпатах поверхностный сток из букового насаждения в возрасте 150 лет составлял 2,1 мм (K_c 0,03), на лесосеке 7,9 (0,10), на волоках 17-27 (0,3-0,4), в лесных культурах и при естественном возобновлении в 12-летних насаждениях – около 6 мм (0,04-0,14) [137].

Хотя интервал колебаний поверхностного стока как при деградации лесов вследствие антропогенного воздействия, так и при реградации вследствие выполнения лесокультурных работ очень велик (от почти нуля до максимума, близкого к стоку с полевых угодий), важно отметить разную направленность эволюции гидрологического процесса: в первом случае гидрологический режим прогрессивно ухудшается (от естественного леса к деградирующему и к вырубке), во втором – улучшается (в перспективе – до параметров в естественном лесу).

Куртинные и полосные искусственные насаждения. Гидрологический режим в насаждениях, созданных на эродированных почвах, представляет особый интерес, поскольку значительная часть ЗЛН, предназначенных для регулирования стока и защиты почв от эрозии, создается на таких почвах. Обратимся к данным, полученным в ОПХ Новосильской станции в насаждениях ур. Колодезного, заложенных в 1930 г. на сильноэродированных серых лесных почвах (характеристика объекта – в приложении 1). Исследования были начаты Е. А. Гаршиневым в 1964-1971 гг. и продолжены Н. Е. Новиковым в 1972-1975 и 1981-1987 гг., с 1988 г. – В. П. Борцом.

Снегоотложение и снегозапасы. Многолетние данные по ур. Колодезному об изменении высоты снежного покрова по материалам снегосъемок перед началом снеготаяния в поле и насаждениях на разном расстоянии от опушек свидетельствуют о том, что при значительной вариации этой характеристики по годам и в пространстве обнаруживается ряд довольно устойчивых закономерностей. Случайные колебания высот снега в поле на расстоянии более 50-60 м от опушки (4-5 высот насаждения) сменяются закономерным их увеличением до максимума на опушке в ближайшей приопушечной зоне (0-10 м), в поле и под пологом. На расстоянии около 20-30 м от опушки под пологом насаждения колебания высоты снега снова носят случайный характер (табл. 1.8, рис. 1.2). Характерный профиль снегоотложения обусловлен ветровым переносом снега в поле, его аккумуляцией в зоне приопушечного ослабления скорости снеговетрового потока и практическим отсутствием перемещения снега в глубине насаждений.

Таблица 1.8

Высота снежного покрова, см, в урочище Колодезном на различном удалении, м, от опушек насаждений

Год	Полевая часть					Березовое насаждение					Сосново-еловое насаждение					
	140-150	120-140	100-120	80-100	60-80	40-60	20-40	0-20	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	0-20	20-40	40-60
1964	52	51	50	56	54	59	69	85	82	59	74	Не опред.		53	54	52
1965	18	18	17	25	22	22	31	64	78	44	40	44	24	28	31	27
1966	21	24	24	20	23	27	27	27	37	25	27	33	37	31	39	46
1967	56	41	50	48	48	63	78	104	122	46	70	77	64	59	64	60
1968	69	72	70	72	69	74	90	106	109	67	79	81	86	76	77	76
1969	18	17	21	25	26	32	41	60	66	31	38	52	41	33	38	44
1970	49	44	39	40	39	46	59	75	78	46	56	24	22	47	56	58
1971	8	10	9	13	15	32	42	52	58	42	48	50	49	41	41	40
1972	16	11	15	24	15	16	24	17	21	21	24	28	27	27	20	14
1973	21	20	21	21	21	23	30	36	33	27	26	Не опред.		25	25	24
1974	3	7	8	10	11	15	19	22	36	18	20	-"	-"	21	22	22
1975	26	29	29	29	29	32	36	36	44	31	32	-"	-"	29	27	22
1980	42	44	47	50	49	52	54	63	45	51	50	-"	-"	40	38	36
1981	43	47	48	47	44	48	57	57	43	48	45	-"	-"	36	33	35
1982	26	35	30	32	36	32	38	37	40	35	37	-"	-"	45	41	39
1983	40	41	41	42	42	44	50	50	37	43	43	-"	-"	32	36	33
1984	10	10	11	13	10	13	16	22	18	22	22	-"	-"	15	15	15
1985	63	63	64	64	63	66	67	69	59	59	54	-"	-"	54	55	50
1986	38	37	35	32	35	38	42	40	31	40	42	-"	-"	32	32	32
1987	47	51	47	50	47	45	55	54	51	46	43	-"	-"	40	40	40
Средние за 1964-1987 гг.																
	33	34	34	36	35	39	46	54	54	40	44	-"	-"	38	39	38
	34(89)			46(121)			54(142)			42(110)			38(100)			

Примечание. В скобках – % от средней высоты снега в сосново-еловом насаждении.

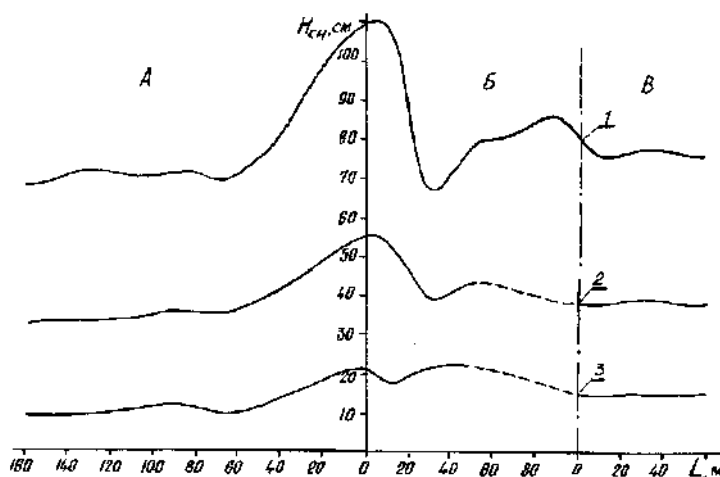


Рис. 1.2. Высота снега $H_{сн}$ в лесных насаждениях и на примыкающем пахотном склоне ур. Колодезного на разном расстоянии от опушек L:

1, 3 — в многоснежном 1968 и малоснежном 1984 годах; 2 — в среднем за 1964-1975, 1980-1987 гг.

Если принять за 100% высоту снега под пологом хвойного насаждения (как слой снега, выпавшего за зиму, без учета задержания в кронах и расхода на испарение), то можно заключить, что в поле сохраняется около 90% осадков зимнего периода, а в шлейфовой зоне накапливается снега в среднем примерно на 20% больше, чем выпадает за зиму; примерно такие же результаты получаются и при рассмотрении снегозапасов (табл. 1.9). Различия обусловлены главным образом несколько повышенной плотностью снега на полевом участке (в среднем $0,29 \text{ г/см}^3$) по сравнению таковой в лесных насаждениях ($0,26-0,27 \text{ г/см}^3$).

Динамика снегоотложения и промерзания почвы. В связи с той ролью, которую играет сам факт замерзания почвы в изменении ее водопроницаемости, особый интерес представляет динамика замерзания почвы на полевых и лесных угодьях, а применительно к задачам противэрозионной лесомелиорации (ПЭЛМ) — влияние лесных насаждений на замерзание почвы на прилегающих склонах. Данные табл. 1.10 (часть их опубликована в работах [82, 102, 371]) позволяют вскрыть ряд важных обстоятельств. Так, общей тенденцией является увеличение глубины промерзания почвы в течение зимы. Эта тенденция нарушается редко — обычно в годы с мягкой зимой и интенсивным накоплением снежного покрова в начале зимы (1965/66 и 1967/68 гг.). В такие зимы почва, промерзшая вначале на небольшую глубину, к весне может оттаивать снизу пятнами или полностью. В других ситуациях при оттепелях оттаивание наблюдается сверху при сходе снега, при этом обычно замедляется темп увеличения глубины промерзания. В целом же почва в условиях Центральной лесостепи промерзает на полях довольно глубоко — в среднем на 85 см, а в особо суровые и бесснежные зимы (1988/89 г.) — почти до 2 м. В лесных насаждениях и зоне снежных

Таблица 1.9
Средние значения средней высоты $H_{сн}$, см, плотности снега ρ , г/см³, и запасов снеговой воды $h_{сн}$, мм, к началу снеготаяния на угодьях урочища Колодезного

Год	Поле на расстоянии от опушки, м						Березовое насаждение (40-80 м от опушки)			Сосново-еловое насаждение		
	150-60		60-0		60-0		$H_{сн}$	ρ	$h_{сн}$	$H_{сн}$	ρ	$h_{сн}$
	$H_{сн}$	ρ	$H_{сн}$	ρ	$H_{сн}$	ρ						
1964	53	0,26	138	0,26	71	0,26	(66)	0,24	(158)	53	0,22	117
1965	20	0,29	58	0,29	39	0,29	42	0,23	97	29	0,25	73
1966	22	0,37	81	0,37	27	0,37	30	0,37	111	39	0,33	129
1967	49	0,27	132	0,27	82	0,27	74	0,23	170	60	0,22	132
1968	70	0,28	196	0,28	90	0,28	80	0,25	200	76	0,23	175
1969	21	0,25	52	0,25	44	0,25	45	0,22	99	38	0,20	76
1970	42	0,31	130	0,31	60	0,31	40	0,27	108	54	0,26	140
1971	11	(0,29)	(32)	(0,29)	42	(0,29)	49	0,28	137	41	0,26	107
1972	16	0,23	37	0,23	19	0,23	26	0,29	75	20	0,34	68
1973	21	0,24	50	0,24	30	0,24	24	0,25	60	24	0,24	58
1974	8	0,32	26	0,32	19	0,32	(22)	0,40	(88)	22	0,35	77
1975	28	0,32	90	0,32	35	0,32	(31)	0,34	(105)	26	0,31	81
Среднее	30	0,29	87	0,29	46	0,29	44	0,27	119	40	0,26	104
	[100]		[100]		[153]		[147]		[137]	[133]		[120]
	75		84		115		110		114	100		100

Примечание. В круглых скобках – ориентировочные величины, в квадратных – % (первая строка – по отношению к полю, вторая – к сосново-еловому насаждению).

Таблица 1.10

Динамика снегоотложения и промерзания почвы на различных угодьях урочища Колодезного (в числителе – высота снега, в знаменателе – глубина промерзания, см)

Год	Число, месяц	Агрофон поля	В поле на расстоянии от опушки березового леса, м				В насаждениях	
			150	50	25	0-10	березовом	сосново-еловом
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1964	15.01	I	Не опр. 50	Не определяли				
	19.02	I	Не опр. 73	"-"				
	25.03	I	$\frac{52}{60}$	$\frac{59}{55}$	47	$\frac{85}{\text{Не опр.}}$	$\frac{59}{8}$	$\frac{54}{35}$
1965	15.03	II	$\frac{18}{65}$	$\frac{22}{\text{Не опр.}}$	97	$\frac{64}{52}$	$\frac{44}{37}$	$\frac{31}{60}$
	24.11	I	Не опр. 30-45		30	Не опр.		2
1966	13.03	I	$\frac{21}{5-10}$	$\frac{27}{0}$	0	$\frac{27}{0}$	$\frac{25}{0}$	$\frac{39}{1-2}$
	26.12	I	Не опр. 57		25	Не опр. "-"		15
1967	6.03	I	$\frac{56}{86}$	$\frac{63}{74}$	$\frac{27}{62}$	$\frac{\text{Не опр.}}{\text{"-"}}$	$\frac{46}{25}$	$\frac{64}{42}$
	2.12	II	$\frac{10-15}{1-2}$	$\frac{10-15}{1-2}$	не опр. "-"		$\frac{10-15}{1-2}$	$\frac{10-15}{1-2}$
1968	4.01	II	$\frac{29}{8}$	$\frac{31}{7}$	"-" "-"		$\frac{27}{\text{Пятнами до 1}}$	$\frac{24}{1,5-2}$
	16.02	II	$\frac{54}{16}$	$\frac{49}{15}$	"-" "-"		$\frac{61}{4}$	$\frac{41}{4}$
	22.03	II	$\frac{65}{\text{Пятнами до 4-5}}$	$\frac{70}{\text{Пятнами до 4-5}}$	$\frac{106}{\text{Не опр.}}$		$\frac{65}{4}$	$\frac{70}{5}$
	25.11	I	$\frac{0}{34}$	$\frac{0}{36}$	"-" "-"		$\frac{0}{18}$	$\frac{0}{22}$
	29.12	I	$\frac{3}{40}$	$\frac{10}{44}$	"-" "-"		$\frac{5}{42}$	$\frac{5}{28}$
1969	29.01	I	$\frac{5}{95}$	$\frac{10}{91}$	"-" "-"		$\frac{12}{75}$	$\frac{8}{68}$

Продолжение табл. 1.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1969	19.03	I	$\frac{25}{170}$	$\frac{29}{164}$	$\frac{60}{\text{Не опр.}}$		$\frac{40}{178}$	$\frac{40}{180}$
	1.12	I	$\frac{0}{6}$	$\frac{0}{7}$	$\frac{-}{-}$		$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
1970	6.01	I	$\frac{10}{62}$	$\frac{7}{62}$	$\frac{\text{Не опр.}}{-}$		$\frac{17}{35}$	$\frac{19}{30}$
	10.02	I	$\frac{23}{75}$	$\frac{20}{75}$	$\frac{-}{-}$		$\frac{41}{65}$	$\frac{38}{45}$
	17.03	I	$\frac{31}{98}$	$\frac{39}{100}$	$\frac{75}{\text{Не опр.}}$		$\frac{45}{35}$	$\frac{44}{40}$
1970	22.12	II	$\frac{6}{25-30}$	$\frac{16}{20-25}$	$\frac{\text{Не опр.}}{-}$		$\frac{17}{5-7}$	$\frac{14}{5-7}$
1971	1.02	II	$\frac{6(10)}{34-40}$	$\frac{17(2)}{31}$	$\frac{-}{-}$		$\frac{16(0,5)}{18}$	$\frac{25}{4}$
	22.03	II	$\frac{7(5)}{120}$	$\frac{17(3)}{75}$	$\frac{30}{50}$	$\frac{50}{50}$	$\frac{40}{40-50}$	$\frac{29}{70}$
	23.11	I	$\frac{5-10}{\text{Около 1}}$	$\frac{5-10}{\text{Около 1}}$	$\frac{5-10}{\text{Около 1}}$	$\frac{15}{\text{Около 1}}$	$\frac{20-25}{0}$	$\frac{15-20}{0}$
	27.12	I	$\frac{17}{25-28}$	$\frac{20}{3-5}$	$\frac{\text{Не опр.}}{\text{опр.}}$	$\frac{43}{1}$	$\frac{26}{1}$	$\frac{25}{1-2}$
1972	26.01	I	$\frac{20}{80-85}$	$\frac{19}{70-75}$	$\frac{-}{-}$	$\frac{42}{35-40}$	$\frac{25}{35-40}$	$\frac{22}{30}$
	16.03	I	$\frac{15}{140}$	$\frac{14}{110}$	$\frac{-}{-}$	$\frac{33}{70}$	$\frac{23}{75}$	$\frac{21}{85}$
	21.12	I	Пятнами до 4-5				$\frac{0}{5-6}$	$\frac{0}{2-3}$
1973	26.01	I	Пятнами до 11				$\frac{10}{60-65}$	$\frac{5}{60-63}$
	11.03	I	$\frac{8-12}{110}$	$\frac{19-21}{90}$	$\frac{30-35}{80-90}$	$\frac{34-40}{50-70}$	$\frac{26}{70}$	$\frac{20}{40-70}$
	24.12	I	$\frac{16-20}{40-45}$	$\frac{27-35}{35-40}$	$\frac{30-35}{30-35}$	$\frac{40-55}{25-30}$	$\frac{30-35}{0}$	$\frac{30-35}{0}$
1974	7.02	I	$\frac{17}{86}$	$\frac{31-41}{65-70}$	$\frac{31-40}{65-70}$	$\frac{35-45}{35-40}$	$\frac{32}{30-35}$	$\frac{31}{45-55}$
	14.03	I	Пятнами до 10		$\frac{17}{90}$	$\frac{28}{50-60}$	$\frac{25}{45-50}$	$\frac{22}{50-55}$
	8.12	I	$\frac{8}{0}$	$\frac{10}{0}$	$\frac{11}{0}$	$\frac{13}{0}$	$\frac{12}{0}$	$\frac{3}{0}$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1974	27.12	I	$\frac{16}{8}$	$\frac{14}{0}$	$\frac{16}{0}$	$\frac{19}{0}$	$\frac{14}{0}$	$\frac{7}{0}$	
1975	12.03	I	$\frac{33}{25}$	$\frac{40}{5-10}$	Не опр. "-"	$\frac{40}{0}$	$\frac{31}{0}$	$\frac{23}{20}$	
	27.11	I	Не определяли						
1976	10.02	I	не определяли						
			100	100	Не опр.	90	50	70	
	12.03	I	46		62		57	44	
			100	95	95	85	55	70	
<i>Средние:</i>									
1964-1976	март	I	$\frac{30}{85}$	$\frac{35}{72}$	$\frac{50}{66}$	$\frac{53}{57}$	$\frac{40}{45}$	$\frac{38}{55}$	

Примечание. В скобках – толщина ледяной корки перед началом весеннего снеготаяния, см; I – зябь, II – озимые.

шлейфов глубина промерзания существенно (на 30-40 см, т. е. почти в 1,5-2 раза) меньше. Характерно, что годы с минимальным и максимальным промерзанием почвы на полевых склонах и в лесных насаждениях совпадают. Это означает, что ведущим фактором промерзания почв как в поле, так и в лесонасаждениях является погодный режим зимнего периода. Таким образом, хотя лесные насаждения и сильно влияют на процесс и глубину промерзания за счет уменьшения скорости ветра и уменьшения теплообмена, большей мощности снежного покрова и его лучшей сохранности при оттепелях, отепляющей роли подстилки и т. п., они, тем не менее, не в состоянии подавить ведущую роль погодного фактора. Иначе говоря, в мягкие зимы почва промерзает на малую глубину как в поле, так и под насаждением, и наоборот, в суровые зимы почва промерзает глубоко не только в поле, но и под насаждением. Это, конечно, несколько не изменяет очевидного обстоятельства – уменьшения глубины промерзания почвы под лесными насаждениями и на полях в зоне их влияния, что положительно сказывается на усвоение мерзлой почвой талых вод.

По мере продвижения от лесостепи на юг и юго-восток глубина промерзания почв уменьшается как на полях, так и в насаждениях, возрастает повторяемость и глубина оттепелей и почва к началу ве-

сеннего снеготаяния часто оказывается совершенно талой или мерзлой пятнами на небольшую глубину [25].

Динамика влажности мерзлой почвы. Согласно современным воззрениям, влажность мерзлых почв играет решающую роль в усвоении ими талых вод. Для понимания природы этого процесса важно знание характера распределения влажности W по глубине h , ее изменения в течение зимы, количественных ее характеристик. В той или иной степени эти вопросы уже рассматривались автором [93, 95, 366, 371], однако и до настоящего времени многое остается неясным вследствие чрезвычайной вариабельности влажности мерзлых почв (табл. 1.11). Численные значения влажности и их амплитуда особенно велики на поверхности почвы и в приповерхностном слое в поле. Они обычно превышают показатели наименьшей (НВ) и даже полной (ПВ) влагоемкости. Книзу обе эти характеристики уменьшаются и относительно стабильными становятся с глубины 40-50 см. Аналогичная ситуация и в лесных насаждениях при меньших значениях влажности и ее амплитуды.

Сильное варьирование зимней влажности обусловлено рядом сложно взаимосвязанных факторов: неустойчивым режимом выпадения жидких и твердых осадков в сочетании со сменой положительных и отрицательных температур воздуха и почвы, чередованием замерзания – разморозания почвы в переходный период от осени к зиме, миграцией влаги в почве к фронту замерзания и оттоком вглубь при разморозании, периодическими оттепелями со снеготаянием вплоть до полного схода снежного покрова и др. Эти процессы затухают по мере установления стабильного зимнего режима и зонально – от низких широт к высоким. В силу этих обстоятельств наибольшие вариации влажности приурочены к границе раздела атмосфера – почва и затухают по мере продвижения в глубь почвы [64].

Вариация зимней влажности почвы имеет, по крайней мере, два важных аспекта: гидрологический и аспект репрезентативности [95, гл. 1]. В гидрологическом плане "пестрополье" означает сильнейшую неоднородность инфильтрационных свойств верхних слоев почвы, что и обуславливает огромный разброс результатов экспериментальных оценок инфильтрации методом рам и колец [95]. Проблема же репрезентативности оценок возникает из-за противоречия между необходимостью увеличения числа повторностей при сильной вариации влажности и исключительной трудоемкостью бурения мерзлых почв. Практически повторность определений и репрезентативность оценок обычно недоста-

Таблица 1.11
 Характеристики вариации влажности почвы Wпч за осенне-зимний период 1963-1971 гг. на полевом склоне ур. Колодезного, %

Глубина, см	Частоты <i>f</i> и их кумуляты Σf	Интервалы Wпч										Весь диапазон Wпч			НВ	ПВ	
		12-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	более 50	макс.	мин.	ср.				
0	<i>f</i>	1	1	6	18	17	16	13	6	22							
	Σf	1	2	8	26	43	59	72	78	100	90	12	39	34	47		
10	<i>f</i>	0	15	28	19	23	6	2	0	7							
	Σf	0	15	43	62	85	91	93	93	100	85	18	27	26	47		
20	<i>f</i>	0	23	38	27	5	4	2	1	0							
	Σf	0	23	61	88	93	97	99	100	100	49	16	24	25	46		
30	<i>f</i>	0	55	49	5	1	2	1	0	-							
	Σf	0	55	94	96	97	99	100	100	100	44	16	21	20	46		
40	<i>f</i>	1	64	33	1	1	1	0	-	-							
	Σf	1	65	97	98	99	100	100	100	100	37	14	20	20	46		
50	<i>f</i>	16	71	12	1	0	-	-	-	-							
	Σf	16	87	99	100	100	-	-	-	-	30	12	19	20	45		
75	<i>f</i>	6	54	39	0	1	0	-	-	-							
	Σf	6	60	99	99	100	100	100	100	100	33	14	20	22	44		
100	<i>f</i>	4	48	47	10	0	-	-	-	-							
	Σf	4	52	99	100	100	100	100	100	100	26	14	20	21	43		
125	<i>f</i>	1	13	77	9	0	-	-	-	-							
	Σf	1	14	91	100	100	100	100	100	100	26	14	25	24	43		
150	<i>f</i>	0	2	68	32	0	-	-	-	-							
	Σf	0	2	70	100	100	100	100	100	100	29	16	25	28	42		

точные. В силу этого любые попытки статистически достоверного описания режима влажности мерзлых почв и его эволюции в зимнее время страдают очевидной и трудно преодолимой субъективностью.

Для уменьшения роли субъективного фактора автором использован прием составления единой совокупности данных о влажности почвы за зимний период из всех индивидуальных определений на каждом угодье и для каждого слоя почвы по каждой скважине и каждому пункту в разных точках полевого склона или насаждения и по отдельным срокам. Иными словами, любое определение влажности почвы на конкретном угодье принималось за отдельную повторность без осреднения по кусту скважин в точке.

При известной условности такого подхода он позволяет получить достаточно надежную статистическую характеристику показателя, если варьирование влажности за зимний период в целом перекрывает вариацию по срокам (чаще всего это так и есть). То же относится и к отдельным пунктам в пределах угодья. С учетом этих ограничений и получены характеристики влажности почвы. Отметим главное: они позволяют получить статистически достоверные послойные определения влажности почвы (ошибки среднего в пределах нескольких процентов для уровней 0 и 10 см и менее одного процента – глубже; точность опыта, как правило, менее 5%) и выявить в целом достаточно устойчивый вид профиля влажности по глубине независимо от вида угодий. Это облегчает выполнение существенно более обоснованного анализа режима зимней влажности почв.

На рис. 1.3 представлены осредненные ежегодные за период 1964-1976 гг. профили влажности почвы W по глубине h для каждого угодья. Их анализ показывает, что, несмотря на очевидную вариацию годовых режимов по общему уровню увлажнения и особенно у поверхности почвы, а также несомненные нарушения хода кривых в отдельных слоях за отдельные годы (поле, 1969 г.), выявляются, несомненно, общие для всех угодий закономерности, особенно при осреднении за весь период исследований. Так, в общем все кривые показывают убывание влажности от поверхности почвы к нижним слоям, относительную стабилизацию влажности с глубины около 30-50 см, близость многолетних средних значений естественной влажности за зимний период к уровню НВ. Различия по угодьям не качественные, а количественные: максимальную влажность имеет почва в поле, меньшую – в березовом насаждении и минимальную – в сосново-еловом, что хорошо объясняется перехватом осадков пологом насаждений и подстилкой.

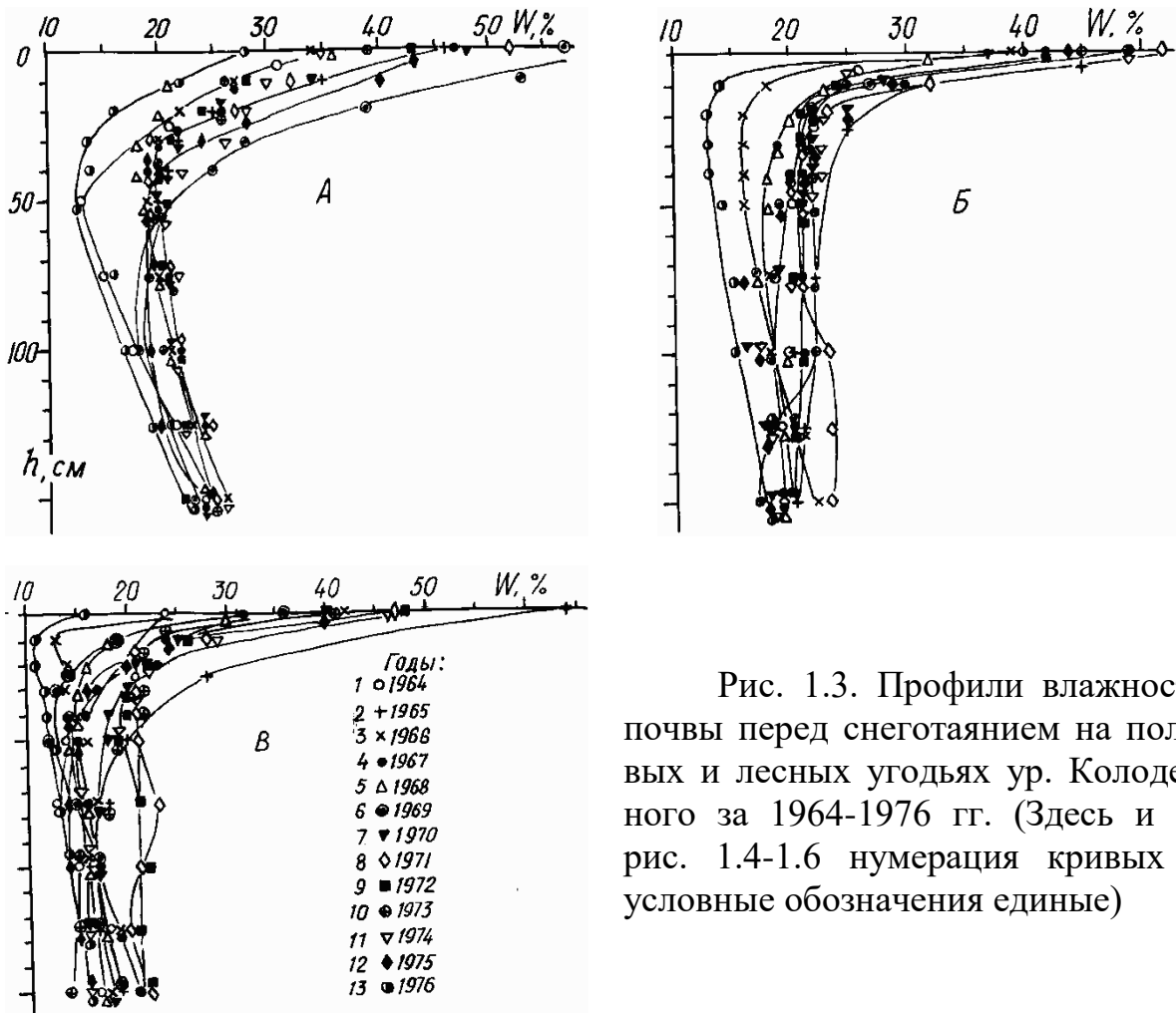


Рис. 1.3. Профили влажности почвы перед снеготаянием на полевых и лесных угодьях ур. Колодезного за 1964-1976 гг. (Здесь и на рис. 1.4-1.6 нумерация кривых и условные обозначения единые)

Довольно правильный ход кривых влажности почвы позволяет решить вопрос о возможности их аналитического представления.

Рис. 1.4-1.6 иллюстрируют, что все кривые независимо от погодных условий года и вида угодий имеют экспоненциальный характер, различаясь лишь параметрами. (В литературе по почвоведению и гидрологии функциональное описание профилей влажности почвы почти не встречается. Тем не менее имеются указания об их экспоненциальном виде. Аналогично описывается профиль НВ и распределения температуры почвы). В полулогарифмическом представлении графики профилей влажности еще более рельефно, чем на рис. 1.3, показывают (по излому отрезков) наличие двух основных зон, различающихся характером функции: в первой зоне обычно до глубины около 30-40 см функция является убывающей (в отдельные годы граница зоны поднимается до 10 см или опускается до 50 см), во второй зоне (глубже 30-40 см) – обычно возрастающей. Особенно хорошо излом кривых, как

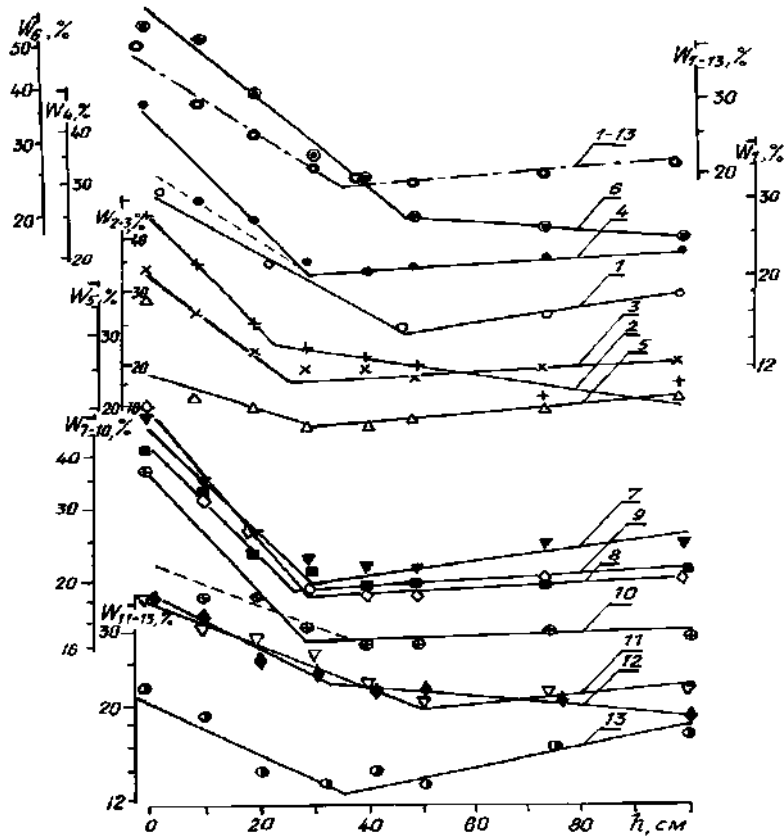


Рис. 1.4. Профили влажности почвы перед весенним снеготаянием на полевом склоне ур. Колодезного в 1964-1976 гг. (полулогарифмический масштаб)

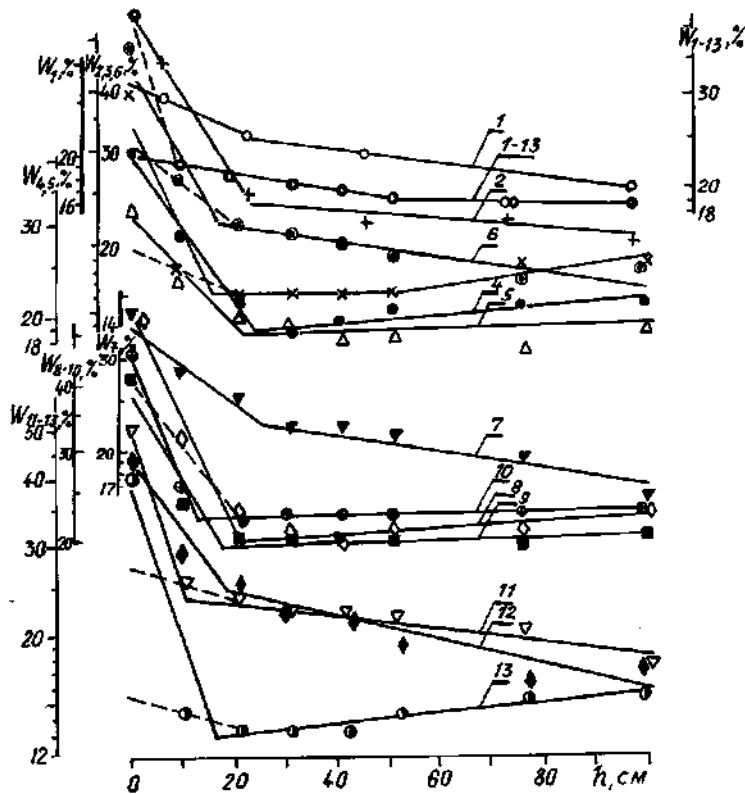


Рис. 1.5. Профили влажности почвы перед весенним снеготаянием в березовом насаждении ур. Колодезного в 1964-1976 гг.

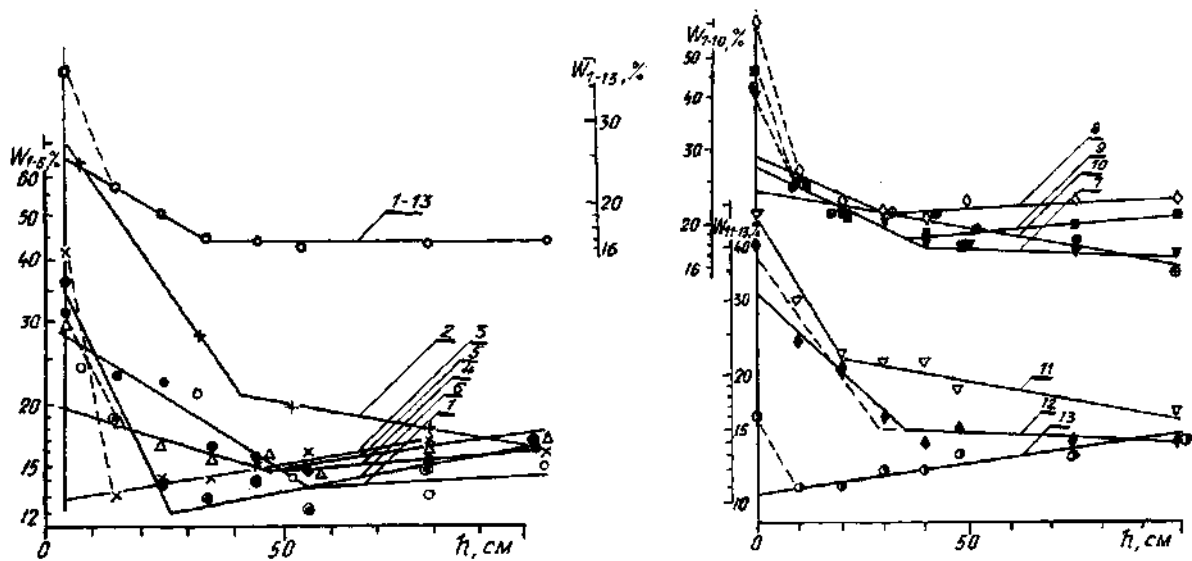


Рис. 1.6. Профили влажности почвы перед весенним снеготаянием в сосново-еловом насаждении ур. Колодезного в 1964-1976 гг.

граница этих зон, виден при осреднении всей совокупности данных по годам (рис. 1.7). В отдельные годы обнаруживается тенденция к появлению второго излома, т. е. дополнительной зоны в слое 0-10 см. Ее появление обусловлено резким контрастом влажности на поверхности почвы и на глубине 10 см (скачок влажности на поверхности). Этот контраст характерен для лесных насаждений с относительно низкой в сравнении с полем влажностью; в поле переход влажности от поверхности к более глубоким слоям обычно плавный. Таким образом, излом (скачок) целиком обусловлен влажностью почвы на поверхности, где она обычно превышает НВ и даже ПВ, что свидетельствует о переувлажнении поверхности. Не вдаваясь пока в детали, констатируем, что приведенные факты дают основание не столько для выделения дополнительной зоны, сколько для признания наличия слоя на границе раздела "атмосфера – почва" с особым режимом влажности ($W_{пч} > НВ$). Факты превышения здесь ПВ обусловлены не столько методическими погрешностями (почва, по определению, не может иметь влажность выше ПВ), сколько неопределенностью самого понятия "поверхность почвы", наличием ледяной корки и заполнением крупных пустот льдом. В этих обстоятельствах отделение образца почвы от конгломерата льда и почвенного субстрата практически неосуществимо. В силу недостаточной изученности вопроса мы в дальнейшем, не выделяя слой 0-10 см в особую зону, тем не менее будем учитывать его специфический режим.

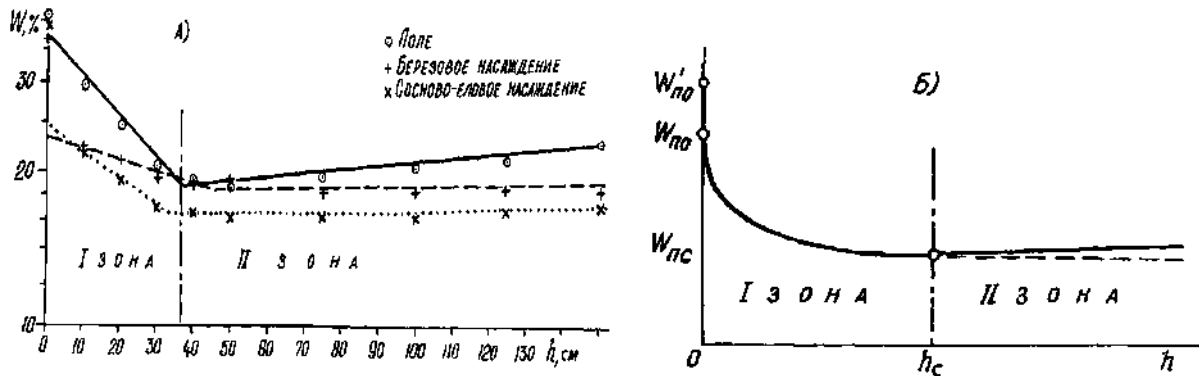


Рис. 1.7. Зоны с разными режимами влажности мерзлой почвы перед весенним снеготаянием на угодьях ур. Колодезного в среднем за 1964-1976 гг. (А), идеальная модель (Б)

Итак, рассмотренные материалы позволяют заключить, что профиль влажности имеет вид, изображенный на рис. 1.7Б. Полагая величины влажности ниже границы зоны I относительно стабильными, представим экспоненциальную зависимость для этой зоны в абсолютных единицах измерения влажности (% , мм) и глубины (см, м)

$$W_{пт} - W_{пс} = a e^{bh} = (W_{по} - W_{пс}) e^{-bh} \quad (1.1)$$

или в относительных с максимальными значениями абсцисс и ординат, равными единице

$$W_{п\Delta} = (W_{пт} - W_{пс}) / (W_{по} - W_{пс}) = e^{-bh/h_c} = e^{-bh_{\Delta}}, \quad (1.1a)$$

где $W_{пт}$, $W_{по}$ и $W_{пс}$ – соответственно текущее, "нулевое" (на поверхности почвы) и стабилизировавшееся на некоторой глубине h_c значение влажности почвы.

Уравнения (1.1, 1.1a) являются интегралами дифференциального уравнения вида $dW_{пт}/dh = -kW_{пт}$, т. е. соответствуют допущению, что приращение влажности почвы по глубине обратно пропорционально ее влажности.

Регрессионный анализ показал, что параметр в уравнении (1.1) лежит в интервале значений 0,8-5,6 без заметных различий по угодьям. Наиболее тесная связь $W_{пт}(h)$ в поле, несколько слабее – в березовом и еще слабее – в сосново-еловом насаждении. Установлено также, что между параметрами $(W_{по} - W_{пс})$ и b имеется связь (рис. 1.8). Это позволяет упростить уравнение и для поля оно принимает вид

$$W_{п\Delta} = (W_{пт} - W_{пс}) / (W_{по} - W_{пс}) = \exp\{-[0,19 + 0,0034(W_{по} - W_{пс})]h\} = \quad (1.16)$$

$$= 0,83 \exp[-0,17 (W_{по} - W_{пс})h_{\Delta}] \approx \quad (1.1b)$$

$$\approx \exp[-0,17(W_{\text{по}} - \text{НВ}_{50})h_{\Delta}] \approx \quad (1.1\text{г})$$

$$\approx \exp[-0,17(W_{\text{по}} - 20)h_{\Delta}], \quad (1.1\text{д})$$

где НВ_{50} – наименьшая влагоемкость почвы на глубине 50 см ($\text{НВ}_{50} = 20\%$); в переменной $h_{\Delta} = h/h_c$ величина h_c принята равной 50 см.

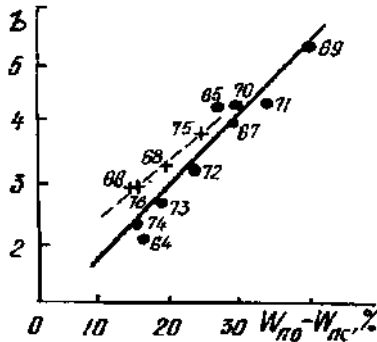
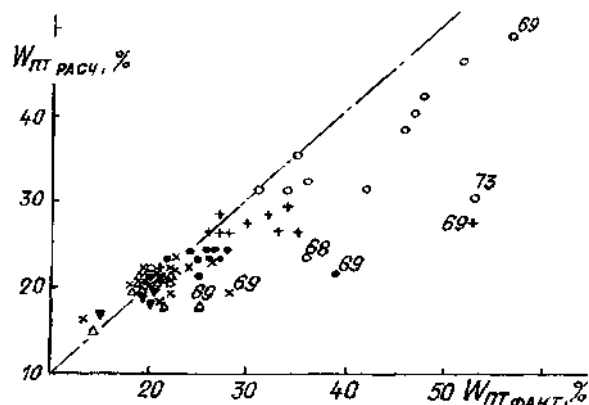


Рис. 1.8. Связь параметра b уравнения (1.1а) с диапазоном изменения влажности верхнего слоя мерзлой почвы $W_{\text{по}} - W_{\text{пс}}$ на полевом склоне ур. Колодезного. Здесь и на рис. 1.9, 1.10 – числа у точек – последние цифры годов (1964 - 64, 1965 - 65 и т.д.); + – – – точки и линия связи в маловодные и бессточные годы

Несмотря на довольно значительные округления параметров, уравнение связи дает достаточно хорошие результаты расчетов (рис. 1.9). Отклонения расчетных величин от фактических обычно не превышают $\pm 10\%$, увеличиваясь к верхним уровням 0 и 10 см до $\pm 15-20\%$, и лишь для 1969 г. со специфическим профилем влажности и некоторых других лет выходят за этот предел. Таковую точность уравнения с учетом естественной неустранимой вариации влажности и величины НВ следует признать вполне приемлемой, особенно для ориентировочных оценок.

Рис. 1.9. Соотношение фактических и расчетных величин влажности почвы по уравнению (1.1б) на глубинах:

○ 0, + 10, ● 20, × 30, Δ 40, ▼ 50, см



Полученная точность уравнения не является предельной ввиду очевидного систематического сдвига расчетных значений для верхних уровней. Этот сдвиг обусловлен высокими значениями поверхностной влажности и погрешностями ее определения по причинам, рассмотренным выше. Поскольку величины влажности поверхности почвы максимальны, то они заметно влияют на положения расчетных то-

чек и в нижележащих слоях, особенно на глубинах 10 и 20 см. Выполнение регрессионного анализа без учета поверхностной влажности уменьшит общую ошибку уравнения и приблизит расчетные величины к фактическим для всех слоев, кроме поверхности почвы.

Конечно, фиксированное значение h_c , принятое в уравнениях (1.1-1.1д), является довольно грубым приближением. В действительности эта характеристика меняется в достаточно широком диапазоне: 30-100 см (в среднем 55 см) в поле, 20-100 (60) см в березовом, 10-150 (70) см в сосново-еловом насаждении. Важно наличие связи между величиной h_c и влажностью почвы на поверхности $W_{по}$ (рис. 1.10): чем влажнее поверхность почвы, тем больше величина h_c – глубина стабилизации влажности (по существу, глубина промачивания). Характерно, что при $h_c = 0$ $W_{по} \approx 13-15\% \approx 1,5МГ \approx ВЗ$. Увеличение контраста увлажнения, т. е. разности $W_{по} - W_{пс}$, также увеличивает h_c . Имеется также слабая связь величин $W_{по}$ и $W_{пс}$ с тенденцией к затуханию на уровне примерно НВ, что в целом согласуется с режимом увлажнения почвы с поверхности.

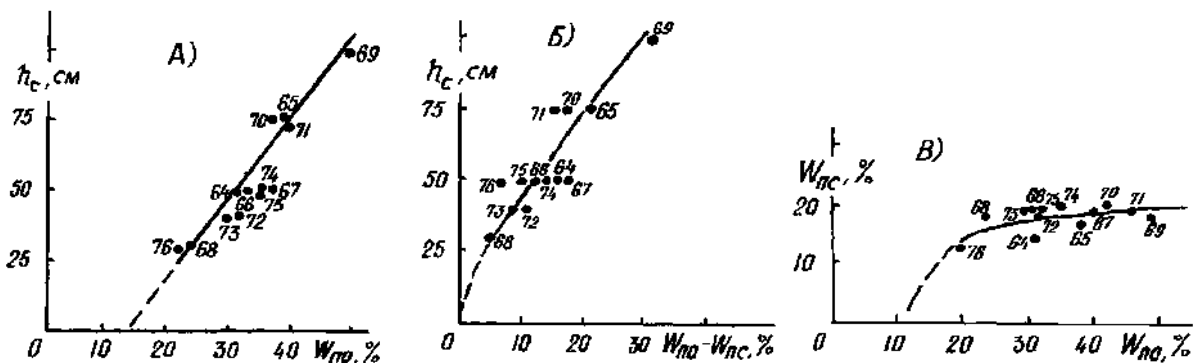


Рис. 1.10. Связи поверхностной $W_{по}$ (А), разности поверхностной и установившейся $W_{по} - W_{пс}$ (Б) влажности с глубиной уровня ее стабилизации h_c , а также между поверхностной и установившейся влажностью (В) мерзлой почвы в поле ур. Колодезного

Запись уравнений в виде (1.1а-д) с учетом связи $h_c(W_{по})$ означает, по существу, что профиль влажности верхнего слоя почвы нацело определяется единственной характеристикой – влажностью поверхности почвы. Это, кроме важности самого по себе факта обусловленности влажности почвы в любой точке профиля (до 50 см) только степенью ее увлажнения с поверхности, может иметь и важное прикладное значение. Определяя влажность поверхности почвы наземными или дистанционными

[411] методами, можно, уменьшив существенно трудоемкость операции (исключив бурение), получить надежные территориальные оценки влажности и влагозапасов всего верхнего мерзлого слоя почвы, необходимые для прогноза склонового стока на водосборах суходолов и рек.

Инфильтрация и сток талых вод. Данные о водном балансе куртинных насаждений в ур. Колодезном, приведенные в табл. 1.12, свидетельствуют, что в целом сток из лесных насаждений меньше, чем с пашни, особенно в сравнении с озимыми и посевами многолетних трав, однако эта разница невелика. В отдельные годы с особо неблагоприятными условиями (сильное переувлажнение мерзлой почвы в лесу и поле) сток из лесных насаждений по величине не уступает стоку с полей и даже превосходит его (1969 и 1970 гг.). В мягкие зимы при талой почве и слабом ее промерзании как в поле, так и в лесу сток мал или отсутствует вовсе (1966, 1968, 1975, 1980-1988 гг.). Однако ход гидрометеорологических процессов в осенне-зимний период в поле и лесу не всегда совпадает, что приводит к резким контрастам в величинах стока. Так, в 1967 г. при неблагоприятных условиях просачивания влаги в поле (сильное переувлажнение мерзлой почвы) сток достигал огромной величины (145 мм), а в лесу он был существенно меньше (20-50 мм). В целом из хвойного леса при меньших снеготаяниях сток выше, чем из лиственного, однако с 1984 г. закономерность нарушается и причины ее неясны. Наблюдениями установлено, что в начале снеготаяния при поступлении талой воды на поверхность почвы и подстилки в хвойном лесу формируется ледяная корка, особенно в приствольной части, где снега меньше. Это ухудшает инфильтрацию влаги в почву и усиливает сток, что в целом согласуется с заключением о низкой водопроницаемости хвойной подстилки [95, раздел 2.2.1]. Поэтому улучшение просачивания влаги в хвойном насаждении в сравнении с лиственным в последние годы, скорее всего, обусловлено изменениями свойств подстилки, а ухудшение связано и со сдвигом снеготаяния здесь на более поздние сроки в связи с более высокой температурой, что объясняется отеняющим эффектом хвойного полога. В результате в лесу интенсивность снеготаяния в весны с солярным режимом оказывается даже больше, чем в поле [371]. На это обстоятельство указывают также Н. Ф. Созыкин [353], И. П. Сухарев [373], А. В. Лысов [248].

Отмеченные особенности инфильтрации влаги в почву и формирования стока в лесу лишь подчеркивают, что создание лесных насаж-

дений на сильно смытых почвах, хотя и улучшает гидрологический режим почв, но для его радикального преобразования и приближения к режиму естественных лесов требуется значительное время (более 30-60 лет). Остановимся на данных других авторов о стоке талых вод из искусственных куртинных насаждений (табл. 1.13).

Таблица 1.12

Водный баланс куртинных лесных насаждений урочища Колодезного в период весеннего снеготаяния на серых лесных почвах Орловской обл.

Годы	$h_{сн}$		$W_{л}$		$S_{л}$		K_c	
	1964	244	187	241	172	3(52)	15	0,012
1965	124	79	104	45	20(58)	34	0,16	0,43
1966	137	154	137	154	0(1)	0	0	0
1967	219	182	199	132	20(145)	50	0,091	0,27
1968	212	191	212	191	0(1)	0	0	0
1969	111	98	5	0	106(37)	98	0,95	1,0
1970	280	234	165	102	115(104)	132	0,41	0,56
1971	189	135	136	111	53(80)	24	0,28	0,18
1972	96	104	63	77	33(19)	27	0,34	0,26
1973	83	65	35	48	48(32)	17	0,58	0,26
1974	109	88	73	72	36(31)	16	0,33	0,18
1975	128	87	128	87	0(0)	0	0	0
1976	190	146	187	146	3(0)	0	0,02	0
1977 ^{x)}	200	180	200	180	0(12)	0	0	0
1978 ^{x)}	130	110	130	110	0(0)	0	0	0
1979 ^{x)}	175	155	150	130	25(44)	25	0,14	0,14
1980	159	125	147	125	12(0)	0	0,08	0
1981	164	122	164	122	0(0)	0	0	0
1982	111	112	111	112	0(0)	0	0	0
1983	125	105	125	105	0(0)	0	0	0
1984	78	57	64	51	14(15)	6	0,18	0,10
1985	159	143	125	143	34(40)	0	0,21	0
1986	143	99	64	99	79(58)	0	0,55	0
1987	146	132	94	132	52(22)	0	0,36	0
1988	171	162	165	162	6	0	0,04	0
Средние	155	130	129	112	26	18	0,17	0,14

Примечание. В скобках – сток с полевого склона; ^{x)} восстановленные величины для лесных насаждений; в графах 2 и 3, 4 и 5 и т. д. приведены характеристики для стоковых площадок б (четные графы – лиственное насаждение, 10Б) и 7 (нечетные – хвойное насаждение, 5Е5С), см. приложение 1.

**Характеристики водного баланса лесных полос
в период весеннего снеготаяния**

Годы	Водный баланс, мм			K_c	Автор, источник
	$h_{сн}$	$W_{лп}$	$S_{лп}$		
1	2	3	4	5	6
1. Серые лесные почвы					
<i>1.1. Молодые ЛП (7-25 лет), европейская территория (ЕТ) РФ</i>					
1959	124	118	6	0,05	А. М. Грин [113, 114]
1960 ^{x)}	257	229	28	0,11	"-"
1961	62	61	1	0,02	"-"
1972	119	77	42	0,35	Е. А. Гаршинев ^{xx)}
1973	73	42	31	0,42	Н. Е. Новиков ^{xx)}
1973, 12-28. II	68	68	0,3	0,004	В. Н. Дьяков [136]
1973, 23/ III-I.IV	60	47	13	0,22	"-"
1974	79	43	36	0,46	Н. Е. Новиков ^{xx)}
1974	121	106	15	0,12	В. Н. Дьяков [136]
1975	130	130	0	0	Н. Е. Новиков ^{xx)}
<i>1.2. Средневозрастные ЛП (более 25 лет), ЕТ РФ</i>					
1980	174	174	0	0	В. П. Борец, Е. Я. Тубольцев [49]
1980	140	140	0	0	"-"
1981	144	144	0	0	"-"
1981	77	77	0	0	"-"
1982	144	144	0	0	"-"
1982	105	105	0	0	"-"
1983	115	115	0	0	"-"
1983	78	78	0	0	"-"
1984	88	88	0	0	"-"
1984	57	57	0	0	"-"
1985	156	156	0	0	"-"
1985	123	123	0	0	"-"
1986	125	125	0	0	"-"
1986	96	93	3	0,03	"-"
1987	177	172	4	0,02	Е. Я. Тубольцев [385, 386]
1987	142	142	0	0	"-"
1987	129	24	25	0,19	Н. Е. Новиков [291]
1988	197	197	0	0	Е. Я. Тубольцев [291]
1988	190	190	0	0	"-"
1994	54	10	44	0,81	Н. Е. Новиков ^{xx)}

Продолжение табл. 1.13

1	2	3	4	5	6
<i>1.3. Средневозрастные ЛП, Алтай^{xxx)}</i>					
1979	435	200	235	0,54	В. М. Ивонин [166]
1979	314	304	10	0,03	-"
1980	156	139	17	0,11	-"
1980	107	102	5	0,05	-"
1981	352	224	128	0,36	-"
1981	219	202	17	0,08	-"
1982	236	170	66	0,28	В. М. Ивонин
1982	164	122	22	0,16	-"
1983	247	247	0	0	-"
1983	202	202	0	0	-"
Средние	285	196	89	0,31	
	201	190	11	0,05	
2. Черноземы					
<i>2.1. Молодые ЛП (2-25 лет), ЕТ РФ</i>					
1956	265	119	146	0,55	А. В. Рудометов [342, 343]
1957	336	167	169	0,50	-"
1958	497	453	44	0,09	-"
1965	333	310	23	0,07	В. И. Панов [371]
1966	371	344	27	0,07	В. И. Панов [371]
1967	202	189	13	0,06	-"
1967	150	134	16	0,011	-"
1967	(110)	85	25	0,23	-"
1967	(204)	119	85	0,42	-"
1968	715	651	64	0,09	-"
1968	(805)	780	(25)	0,03	-"
1968	(580)	544	(36)	0,06	-"
1969	195	192	(3)	0,02	-"
1969	240	234	(6)	0,02	-"
1975	218	218	0	0	С. И. Шкулев ^{xxxx)}
1975	282	282	0	0	-"
1976	147	147	0	0	-"
1976	278	278	0	0	-"
<i>2.2. Молодые ЛП, Алтай</i>					
1988	115	29	94	0,82	В. М. Лешин
1989	81	37	44	0,54	-"
1990	143	75	68	0,48	-"

1	2	3	4	5	6
Средние	113	51	62	0,55	-"
<i>2.3. Средневозрастные и взрослые ЛП (более 25 лет), ЕТ РФ</i>					
1951	112	112	0	0	А. М. Грин [375]
1952	101	95	6	0,06	А. В. Рудометов [342, 343]
1953	197	193	4	0,02	-"
1954	64	63	1	0,02	-"
1955	81	17	64	0,79	-"
1956	200	199	1	0	-"
1957	118	117	1	0,01	-"
1958	230	230	0	0	-"
1959	122	122	0	0	-"
1960	83	80	3	0,04	А. М. Грин [113, 114]
1976	261	261	0	0	Е. А. Гаршинев, В. Н. Дьяков
1976	288	288	0	0	-"
1977	256	256	0,2	0,001	-"
1978	227	227	0	0	-"
1978	226	224	2	0,001	В. В. Демидов [122]
1979	227	227	0	0	Е. А. Гаршинев, В. Н. Дьяков
1979	227	224	3	0,01	В. В. Демидов [122]
1980	131	126	5	0,04	-"
1981	142	142	0	0	-"
Средние за 12 лет (часть периода 1963-1981 гг.)	155	153	2	0,01	П.Н. Проездов [334], А. В. Лысов, П. Н. Проездов [250]
<i>3. Почвы каштанового типа, средневозрастные и взрослые ЛП, ЕТ РФ</i>					
1966	232	232	0	0	Г. П. Сурмач, Г. А. Мальков [371]
1967	377	377	0	0	-"
1967	174	174	0	0	А. В. Котов [371]
1968	140(203)	203	0	0	Г. П. Сурмач [371]
1968	224	224	0	0	А. В. Котов [371]
1969	18(66)	66	0	0	Г. П. Сурмач [371]
1969	142	142	0	0	А. В. Котов [371]
1969	17	17	0	0	В. Е. Величкин [62]
1970	227(297)	297	0	0	В. В. Воронов [76]
1970	332	332	0	0	-"

1	2	3	4	5	6
1970	306	306	0	0	А. В. Котов [371]
1971	214	214	0	0	В. В. Воронов [76]
1971	459	391	68	0,15	В. В. Воронов [76]
1971	158	158	0	0	В. Е. Величкин [62]
1972	123	103	20	0,16	В. В. Воронов [76]
1972	29	23	6	0,21	В. В. Воронов [76]
1972	36	36	0	0	В. Е. Величкин [62]
1973	116	116	0	0	Е. И. Куницкий [236]
1973	98	98	0	0	В. Е. Величкин [62]
1974	73	73	0	0	Е. И. Куницкий [236]
1974	50	47	3	0,06	В. Е. Величкин [62]
1975	34	34	0	0	Е. И. Куницкий [236]
1976	57	50	7	0,12	-"

Примечание. В скобках (графа 2) – осадки холодного периода года (по осадкомеру); ^{x)} K_c принят по лесному массиву; ^{xx)} данные отчетов; ^{xxx)} первая строка по годам – ЛП, вторая – массив леса; ^{xxxx)} первая строка – прочищенная ЛП (продуваемая), вторая – ажурная ЛП; неопубликованные материалы приведены без ссылки на источник.

На обыкновенных тяжелосуглинистых и глинистых черноземах правобережья Волги в Самарской обл. многолетние (с 1971 г.) исследования В. И. Панова [303] выявили, что в лиственничном насаждении в возрасте 20-25 лет талый сток в 1971-1975 гг. составлял 7-9 мм (15 мм в 1974 г.) при средних снегозапасах 180 мм и $K_c = 0,08$. В старовозрастной (70-90 лет) широкой (640 м) водораздельной хвойно-лиственничной полосе (сосна, вяз, дуб, береза, клен), созданной Н. К. Генко, сток талых вод отсутствует полностью при снегозапасах 111-176 мм (146 мм в среднем).

В 63-65-летнем (1903 г. посадки) сосновом насаждении Камышинского опорного пункта ВНИАЛМИ на каштановых суглинистых почвах, погребенных слоем песка мощностью 0,4-0,5 м, в 1969-1970 гг. сток отсутствовал полностью при снегозапасах 93-159 мм [371].

Переходя к анализу данных водного баланса (см. табл. 1.13) в лесополосах (ЛП), следует отметить их фрагментарность и большую разнородность по породному составу, ширине, конструкции насаждений, почвенным разностям, экспозиции склона и т. п. (приложение 1),

что обуславливает огромную многофакторность гидрологического процесса и затрудняет обобщение информации. Тем не менее имеющиеся данные позволяют сделать ряд важных обобщений.

1. Лесополосы, преимущественно в молодом возрасте, а также непродуваемые и слабо продуваемые отличаются значительными снегозапасами в сравнении с полевыми и даже лесными угодьями.

2. На динамику гидрологического процесса сильное влияние оказывает возрастной фактор, особенно в первые годы жизни ЛП. В первые 5-10 лет в ЛП часто формируется значительный сток при высоких значениях K_c . К 15-25-летнему возрасту он заметно уменьшается, а после 25 лет сток из ЛП обычно отсутствует, иногда бывает слабым и редко сильным на всех типах почв без заметных различий. Динамика гидрологического процесса является очевидным следствием восстановления под ЛП в ходе их роста режима инфильтрации, присущего почвам под естественными лесами. Имеется слабая тенденция к уменьшению стока из ЛП в каштановой зоне. Для Алтая же характерны экстремально высокие величины стока из ЛП, что обусловлено, видимо, сильным охлаждением почвы и большими снегозапасами.

3. Сток из ЛП, особенно молодых, может намного превышать сток с полевых угодий при значительно меньших различиях в K_c . Это значит, что в определенных условиях ЛП могут быть источником повышенного стока и усиления эрозии, особенно при их размещении вдоль склона.

4. Максимумы и минимумы стока из ЛП необязательно соответствуют экстремальным снегозапасам в ЛП и величинам стока на полевых угодьях.

Отмеченные особенности гидрологических характеристик ЛП позволяют определить их как мощный азональный локальный фактор стокорегулирования, обусловленный, бесспорно, высокими инфильтрационными способностями почвы под ЛП. Таким образом, обобщенный материал подтверждает экспериментально идею использования ЗЛН в целях регулирования поверхностного стока, выдвинутую В. В. Докучаевым более 100 лет назад.

Вместе с тем при всей значимости местного, локального, стокорегулирующего эффекта ЗЛН непосредственно на месте их произрастания, что важно при проведении облесительных работ на более или менее обширных участках, наиболее существенно стокорегулирующее влияние ЛП и куртинных насаждений при подтоке воды с вышележащих полевых склонов. При этом неизбежно следует считаться с особен-

ностями проявления на них гидрологического процесса, обусловленного антропогенным фактором. Этому посвящен следующий раздел.

Относительно эрозии под пологом ЛП можно сказать, что ее практически нет при горизонтальном размещении ЛП и отсутствии транзитного прохождения стока сквозь насаждение. Эрозия, отмечающаяся при дождевании под пологом ЛП, не отражает сути процесса, ибо при естественных дождях сказывается защитное действие полога насаждения. В экспериментах В. М. Лешина на Алтае при размещении ЛП вдоль склона незначительный смыв (около 0,2 т/га) наблюдался за счет собственных снегозапасов при длине стоковых площадок 200 м. Впрочем там же на Алтае и в других местах РФ автор наблюдал даже оврагообразование в ЛП при перехвате ими значительных масс стока и сбросе его на участках, расположенных вдоль склона.

1.3.2. Локальная стокорегулирующая функция полосных лесонасаждений при подтоке

Подток и водопоглощение. Стокорегулирующая и противоэрозионная функции лесных насаждений являются ведущими в ПЭЛМ. Они тесно взаимосвязаны и определяют понятия эрозионно-гидрологического локального и пространственного процессов. Наиболее существенным обстоятельством, характеризующим эти процессы и отличающим их от ЭГП под пологом покрывающих весь водосбор насаждений, является так называемый подток вод склонового стока. Суть его заключается в поступлении поверхностного стока на приопушечную часть и под полог насаждения с вышележащих склонов. Часть водной массы подтока при этом поглощается, а непоглощенная часть сбрасывается на нижележащий склон. Соотношение подтока и водопоглощения и определяет стокорегулирующую функцию насаждения. Условимся считать стокорегулирующим эффектом абсолютную массу (объем, слой) водопоглощения, а эффективностью – относительное водопоглощение, т. е. отношение водопоглощения к подтоку. В соответствии с воднобалансовыми статьями [95, разд. 2.2.1] различается подток с полевого склона $P_{\text{п}}$ и суммарный $P_{\text{с}} = P_{\text{п}} + h_{\text{л}}$ и соответственно водопоглощение $W_{\text{п}}$, $W_{\text{л}}$, $W_{\text{с}} = W_{\text{п}} + W_{\text{л}}$ и коэффициенты водопоглощения $K_{W_{\text{п}}} = W_{\text{п}}/P_{\text{п}}$ и $K_{W_{\text{с}}} = W_{\text{с}}/P_{\text{с}}$.

Наиболее адекватной оценкой характеристик ЭГП являются экспериментальные данные, полученные с применением метода сто-

ковых элементарных (поле, насаждение) и комбинированных (поле + шлейф, поле + насаждение, поле + шлейф + насаждение) площадок для исследования преимущественно стока талых вод. Информация о максимальной впитывающей способности почв, полученная методом сплошного затопления поверхности, не дает полного представления о стокорегулирующих функциях насаждений [95, разд. 2.2.1].

Общий обзор экспериментальных данных. Размещение экспериментальных объектов на территории бывшего СССР иллюстрируется рис. 1.11; таксационные показатели насаждений помещены в приложении 1.

На рис. 1.11 указаны все организации, НИУ и объекты, на которых имелись воднобалансовые и эрозионные стационары. Материалы экспериментальных исследований опубликованы в работах ученых НИИСХ ЦЧП и гидрометеорологической обсерватории "Каменная степь" – Г. Ф. Басова [33], И. П. Сухарева [373-375], А. В. Рудометова [342, 343], В. Н. Каулина [197, 198], М. А. Шевченко [408] и др.; ВНИИЛХ – Г. А. Харитонова [392, 393]; Лаборатории лесоведения – А. А. Молчанова [276-278]; Придеснянской стоковой станции – Л. Г. Онуфриенко [114, 296]; Института географии АН СССР – А. М. Грина [113, 114] и др.; ВНИАЛМИ – Х. М. Мустафаева [282], Г. П. Сурмача, Г. С. Боброва, В. Л. Сухова, Г. А. Малькова [360, 362, 363, 365 и др.], В. И. Панова и Г. П. Сурмача [305], Е. А. Гаршинева [81, 82], Е. А. Гаршинева и Г. П. Сурмача [102], В. В. Воронова [76], Г. П. Сурмача и В. Е. Величкина [368], Г. П. Сурмача, Е. А. Гаршинева, В. И. Панова, А. В. Котова [371], А. В. Котова [224], В. Е. Величкина [61, 62], Е. И. Куницкого [236, 237], В. М. Ивонина [165-170, 172 и др.], Н. М. Пынзарю [336], Ю. В. Бондаренко [45, 239], Ю. В. Бондаренко и И. Г. Зыкова [46], А. И. Петелько [312, 313], Е. Я. Тубольцева [385, 386], В. П. Борца и Е. Я. Тубольцева [49], В. И. Антонова [12], И. Г. Зыкова и В. И. Антонова [162, 163], Н. Е. Новикова [291, 292], В. П. Борца и Н. Е. Новикова [48], А. Т. Барабанова и П. Т. Петрова [31], А. Т. Барабанова, Г. П. Сурмача, Г. А. Малькова [32] и др.; ВНИИВиВ – Я. И. Потапенко, Н. Р. Толокова и др. [330], В. И. Манченко [260] и др.; Донского СХИ – В. М. Ивонина [164], В. М. Ивонина и Ф. А. Миронченко [171]; ДЗНИИСХ – Е. В. Полуэктова [321, 322], Е. В. Полуэктова, Г. Б. Музыченко, С. Ф. Скрипанева [323], Е. В. Полуэктова и С. Ф. Скрипанева [324], Г. Б. Музыченко [281] – совместно с ВНИАЛМИ и др.; Союзгипролесхоза – В. Т. Николаенко

[289], А. П. Никитина [286], А. П. Никитина и А. Г. Спиркиной [287]; АНИИЗиС – В. Г. Ткаченко [381], В. Г. Ткаченко и др. [211], в том числе с участием ВНИАЛМИ – В. М. Уварова [388]; ВНИИЗиЗПЭ – В. Н. Дьякова [136-149 и др.], В. В. Демидова [122-124], Е. А. Гаршичева [86, 219], Е. А. Гаршичева и Т. Я. Зарудной [98-100], Я. К. Заруд-

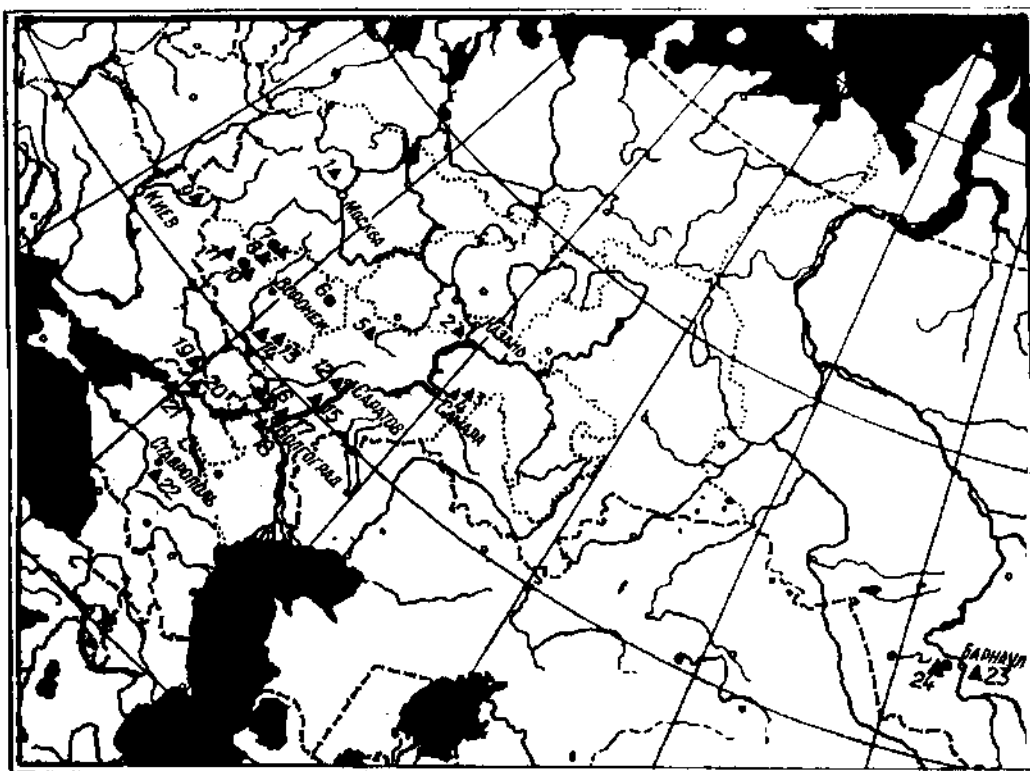


Рис. 1.11. Карта-схема расположения гидрологических стационаров для оценки водопоглощения в лесных насаждениях (кружками обозначены стационары автора):

1 – с. Жуковка, Волоколамский р-н, Московская обл.; 2 – Татария, Верхнеуслонский р-н.; 3 – Тимашевский оп. пункт ВНИАЛМИ, 4 – Поволжская АГЛОС, Самарская обл.; 5 – учхоз Пензенского СХИ; 6 – к-з им. Ленина, Сосновский р-н, Тамбовская обл.; 7 – Новосильская ЗАГЛОС, 8 – Моховое, Орловская обл.; 9 – Придеснянская стоковая станция, Черниговская обл. Украины; 10 – колхозы Курской обл., ОПХ ВНИИЗиЗПЭ; 11 – ИГ АН СССР, Курская обл.; 12 – Саратовская обл., объекты СарСХИ, НИИСХ ЮВ; 13 – Теллерманов лес, 14 – Каменная степь, Воронежская обл.; 15 – Камышинский оп. пункт ВНИАЛМИ; 16 – Клетский оп. пункт ВНИАЛМИ; 17 – с-з "Балыклейский", Волгоградская обл.; 18 – ОПХ ВНИАЛМИ, г. Волгоград; 19 – УкрНИИЗПЭ, г. Луганск; 20 – учхоз Донского СХИ, 21 – ДЗНИИСХЗ, Ростовская обл.; 22 – Ставропольский НИИСХ; 23 – к-з "Красное Знамя", Первомайский р-н, 24 – АНИИЗиС, с-з "Прутской", Павловский р-н, Алтайский край

ного [154], Г. П. Сурмача и др. [267], И. П. Здоровцова и В. И. Векленко [158], С. С. Мясоедова и И. П. Здоровцова [284], И. П. Здоровцова и др. [210, 339], А. И. Крупчатникова и В. С. Ананьева [228, 229], А. И. Крупчатникова и др. [230, 231] и др.; Ставропольского НИИСХ – А. Ю. Ракова [337]; НИИСХ ЮВ – А. И. Шабаева [403, 404], А. И. Шабаева и А. П. Тюкова [406] и др.; УкрНИИЗПЭ – А. Р. Зубова [159], А. Р. Зубова и Н. М. Шелякина [160], Н. М. Шелякина и др. [409], В. И. Тарасова [377] и др.

Сведения из отчетов и других рукописных источников (главным образом ВНИАЛМИ) составляют около 10-15% всего массива информации. Они принимались во внимание, но за редким исключением не использованы в обобщении.

В дальнейшем как эквивалент гидрологических характеристик на одной воднобалансовой площадке за один весенний паводок употребляется понятие годоплощадка (годовариант); годоопыт – совокупность данных по всем вариантам стационара за один весенний паводок.

Таким образом, для анализа и обобщения привлечены данные за 1938-1994 гг. примерно по 500 годоплощадкам почти 30 пунктов; на каждом пункте имелось от одного до 2-3, редко 4-5 стационаров. Пики поступления информации (10-15 годоопытов) отмечались в 1953-1959, 1972-1974, 1980-1981 гг. После 1988 г. объем исследований резко пошел на убыль и проводились они только во ВНИАЛМИ и ВНИИЗиЗПЭ (частично в УкрНИИЗПЭ) на малом числе стационаров. Наибольшая информация имеется по насаждениям шириной 10, 20, 30 м; более узкие и широкие изучены слабее. Вся совокупная информация неоднородна из-за различий в происхождении насаждений (естественные и искусственные), их состоянии, возрасте (от 1-2 до 50-60 лет и более), составе, полноте, бонитете, ширине (от 2,5-3,0 до 450 м), местоположении (приводораздельные, присетевые и балочные склоны), крутизне склонов (от 1,5-2,0 до 15-20°), почвогрунтовых условий, прохождения весенних паводков и т. п. Неоднородность условий затрудняет анализ и обобщение материалов, особенно построение гидрологических рядов, для которых необходимы продолжительные (20-30 лет и более) непрерывные оценки. Последнему условию удовлетворяют данные лишь по Каменной степи (1948-1963 гг.) и Новосильской ЗАГЛОС (1964-1987 гг. с перерывами в 1 и 3 года), где имеются наблюдения на одном и том же стационаре. По другим объектам – в ОПХ ВНИАЛМИ в г. Волгограде (1961-1980 гг.), Курской обл. (1959-1991 гг. с перерывами), на Придеснянской

стоковой станции (1951-1960 гг.), Поволжской АГЛОС и Тимашевском оп. пункте (1954-1973 гг. с перерывами), Клетском оп. пункте (1969-1973 гг.) – имеются более короткие ряды наблюдений (обычно 3-5-10 лет) для разных стационаров с различными насаждениями.

К истории создания моделей водопоглощения при подтоке в насаждение. Идея создания стокорегулирующих насаждений относится к периоду начала работ (1892 г.) докучаевской экспедиции Лесного департамента [128]. Водопоглощающие "губки" как специальный вид лесонасаждений создаются и исследуются на Новосильской опытно-овражной станции с 30-х годов XX в. Г. А. Харитоновым в 1935 г. получены первые оценки водопоглощения в лесонасаждениях при искусственном напуске воды [391]. Им же разработана одна из первых формул для расчета ширины стокорегулирующей лесополосы по величине максимальной инфильтрации почвы с учетом ширины промерзающей (здесь почва принималась водонепроницаемой) опушки [391]. Первые экспериментальные оценки водопоглощения с применением метода стоковых площадок выполнены в 1938 г. Г. А. Харитоновым в Моховом Орловской обл. [392, 393] и Г. Ф. Басовым в Каменной степи [33]. Они подтвердили идею о высокой стокорегулирующей эффективности лесных насаждений. Дальнейшие послевоенные многолетние исследования И. П. Сухарева, А. В. Рудометова, В. Н. Каулина, Л. Г. Онуфриенко, Г. П. Сурмача (и сотрудников под его руководством) и других исследователей в НИИСХ ЦЧП, ГМО "Каменная степь", на Придеснянской стоковой станции, во ВНИАЛМИ, ВНИИЗиЗПЭ существенно дополнили информацию по этому вопросу. Обобщения А. А. Молчанова [277], А. В. Рудометова [342, 343], Г. А. Харитонova [392, 393], Д. Л. Арманда [16], М. И. Львовича [254], Г. Ф. Басова [33], А. М. Грина [114], И. П. Сухарева [373], Г. П. Сурмача [359, 362], Г. П. Сурмача, Е. А. Гаршинева, В. И. Панова, А. В. Котова [371] позволили получить в той или иной мере обоснованные средние величины суммарного водопоглощения в лесных полосах и массивах разной ширины с выводом соответствующих эмпирических расчетных формул, учитывающих интенсивность поступления стока, уклон, ширину насаждений и их возраст [5]. В 1968 г. автором была предпринята попытка обобщения данных по суммарному водопоглощению в лесополосах на основе связи его с подтоком. В первом приближении эта связь принималась линейной вида $W_c = W_{\Pi} + K_{W\Pi}P_{\Pi}$ [81]. Позднее было установлено, что связь $W(P)$ существенно

криволинейна и описывается показательными (экспоненциальными) и иными зависимостями [86, 99, 100]. Автором было высказано предположение [100], что процесс водопоглощения в лесных насаждениях может быть описан теоретической моделью инфильтрационного процесса в рамках подхода, предложенного Ю. Б. Виноградовым [67] для описания модели инфильтрации (водопоглощения). На этой основе была разработана соответствующая модель [92, 95]:

$$W = W_m[1 - \exp(-P/W_m)], \quad (1.2)$$

где W_m – максимальное (потенциальное) водопоглощение, мм.

Оценка факторов водопоглощения при подтоке в лесонасаждение. Исходные данные для оценки инфильтрационной способности водопоглощения почвы лесных насаждений в реальных условиях поступления дождевых осадков и воды тающего снега получены в ходе экспериментов с дождеванием и стоковыми площадками, а также наблюдений за влажностью почвы и грунтовыми водами [59]. О характере получаемых в этих экспериментах данных можно судить по рис. 1.12 и 1.13. Определяемая температурным режимом весеннего снеготаяния и инфильтрационной способностью почвы масса воды полевого стока, регистрируемого на полевой (контрольной) площадке как масса подтока, подается с полевой части комбинированной (поле + лесное насаждение) площадки в лесное насаждение и регистрируется после его прохождения как масса непоглощенной части подтока (рис. 1.12, гидрографы 1-6 вариантов опыта). Уже по виду гидрографов обычно можно судить о водопоглощающей роли насаждения: по мере увеличения его ширины модули стока закономерно уменьшаются (рис. 1.12 и 1.13 б-д). Однако имеют место случаи, когда сток с комбинированных площадок в отдельные дни снеготаяния или часы суток превышает сток с полевых площадок (рис. 1.12). Это можно принимать как ухудшение инфильтрации в насаждении по сравнению с полем. Причин этому несколько: асинхронность снеготаяния на полевых и лесных частях площадок (обычно запаздывание пиков в лесу), неодинаковые условия снеготаяния и снеготаяния на контрольных полевых площадках и полевых частях комбинированных, суточные и по дням паводка вариации замерзания – размерзания почвы в поле и лесу и т. п. При этом если сток учитывается не на отдельной полевой площадке (рис. 1.12 и 1.13а), а на полевой части комбинированной площадки непосредственно перед ее лесной частью (рис. 1.13б) и особенно в опытах с искусственным подтоком (рис. 1.13 в-д),

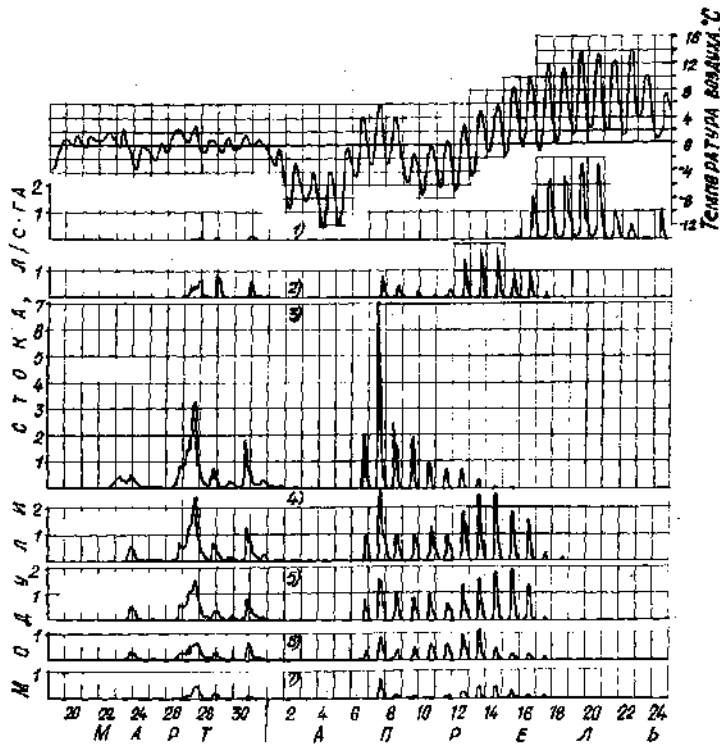


Рис. 1.12. Ход температуры и гидрографы модулей стока в ур. Колодезном за период весеннего снеготаяния 1965 г.

Варианты опыта:
 1) сосново-еловый лес;
 2) – березовый лес; 3) – поле (озимые); поле + полоса березового леса шириной, м: 4) 12,5; 5) 13,7 (в сочетании с прерывистыми бороздами); 6) 27,0; 7) 44,0

то гидрографы подтока и оттока (стока), за редким исключением, свидетельствуют о непрерывной инфильтрации воды в насаждении. Учет же суммарного соотношения прихода – расхода осадков за весь цикл снеготаяния и стока обычно обнаруживает высокое водопоглощение в насаждении, значительно превышающее водопоглощение на полевых угодьях, особенно в сочетании с приемами его повышения в насаждениях.

Отмеченные обстоятельства осложняют оценку водопоглощения в насаждении и в еще большей степени – построение его модели, особенно с учетом динамики процесса. Тем не менее, несмотря на большое разнообразие условий, устойчиво обнаруживается отчетливая положительная связь инфильтрации в насаждении с приходом (подтоком) в него воды (рис. 1.13 б-в): чем больше подток, тем больше инфильтрация, – что в целом отвечает модели Ю. Б. Виноградова. Рассмотрим связи подтока и инфильтрации по данным единичных гидрографов (рис. 1.14 а, б). Эта связь довольно динамична и сложна. Это определяется многими обстоятельствами, в том числе сильной вариацией (в десятки, сотни и даже тысячи раз) интенсивности подтока и инфильтрации как в течение суток, так и по дням наблюдений, что обусловлено ходом гидрологических характеристик (температуры, снеготаяния, замерзания – размерзания и др.).

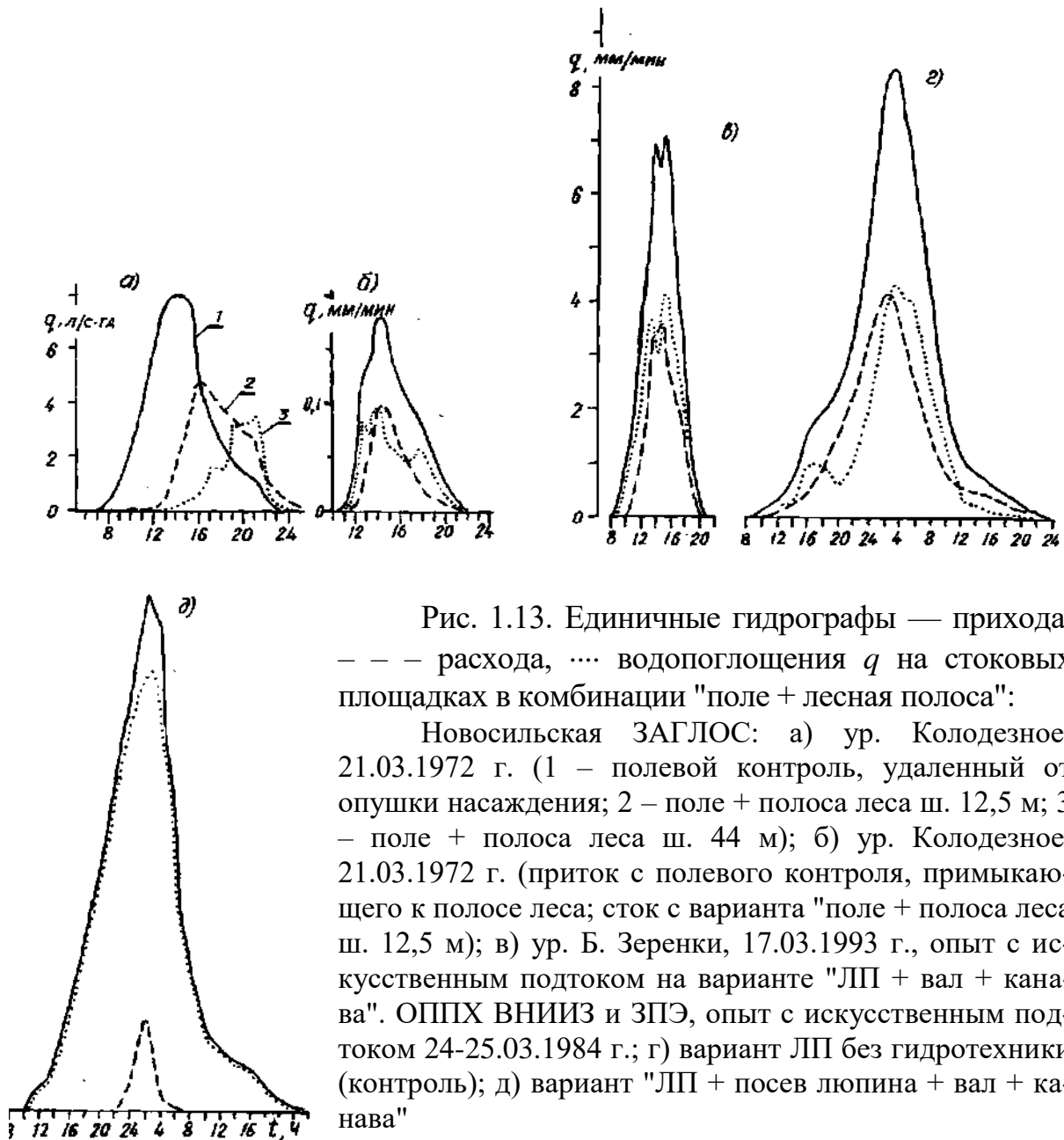


Рис. 1.13. Единичные гидрографы — прихода, — — — расхода, ... водопоглощения q на стоковых площадках в комбинации "поле + лесная полоса":

Новосильская ЗАГЛОС: а) ур. Колодезное, 21.03.1972 г. (1 — полевой контроль, удаленный от опушки насаждения; 2 — поле + полоса леса ш. 12,5 м; 3 — поле + полоса леса ш. 44 м); б) ур. Колодезное, 21.03.1972 г. (приток с полевого контроля, примыкающего к полосе леса; сток с варианта "поле + полоса леса ш. 12,5 м); в) ур. Б. Зеренки, 17.03.1993 г., опыт с искусственным подтоком на варианте "ЛП + вал + канава". ОППХ ВНИИЗ и ЗПЭ, опыт с искусственным подтоком 24-25.03.1984 г.; г) вариант ЛП без гидротехники (контроль); д) вариант "ЛП + посев люпина + вал + канава"

Однако имеются и некоторые более или менее стабильные закономерные особенности процесса. Такой закономерностью связи $w(p)$ является ее положительный знак, т. е. возрастание интенсивности инфильтрации w с увеличением интенсивности подтока p . При этом темп возрастания во времени убывает, т. е. кривая связи на графиках все больше отходит книзу от линии равных значений (рис. 1.14 а, б). Это является признаком стремления кривой $w(p)$ к некоторому предельному значению w_m . Другая закономерность проявляется менее отчетливо — лишь как тенденция к уменьшению и стабилизации ин-

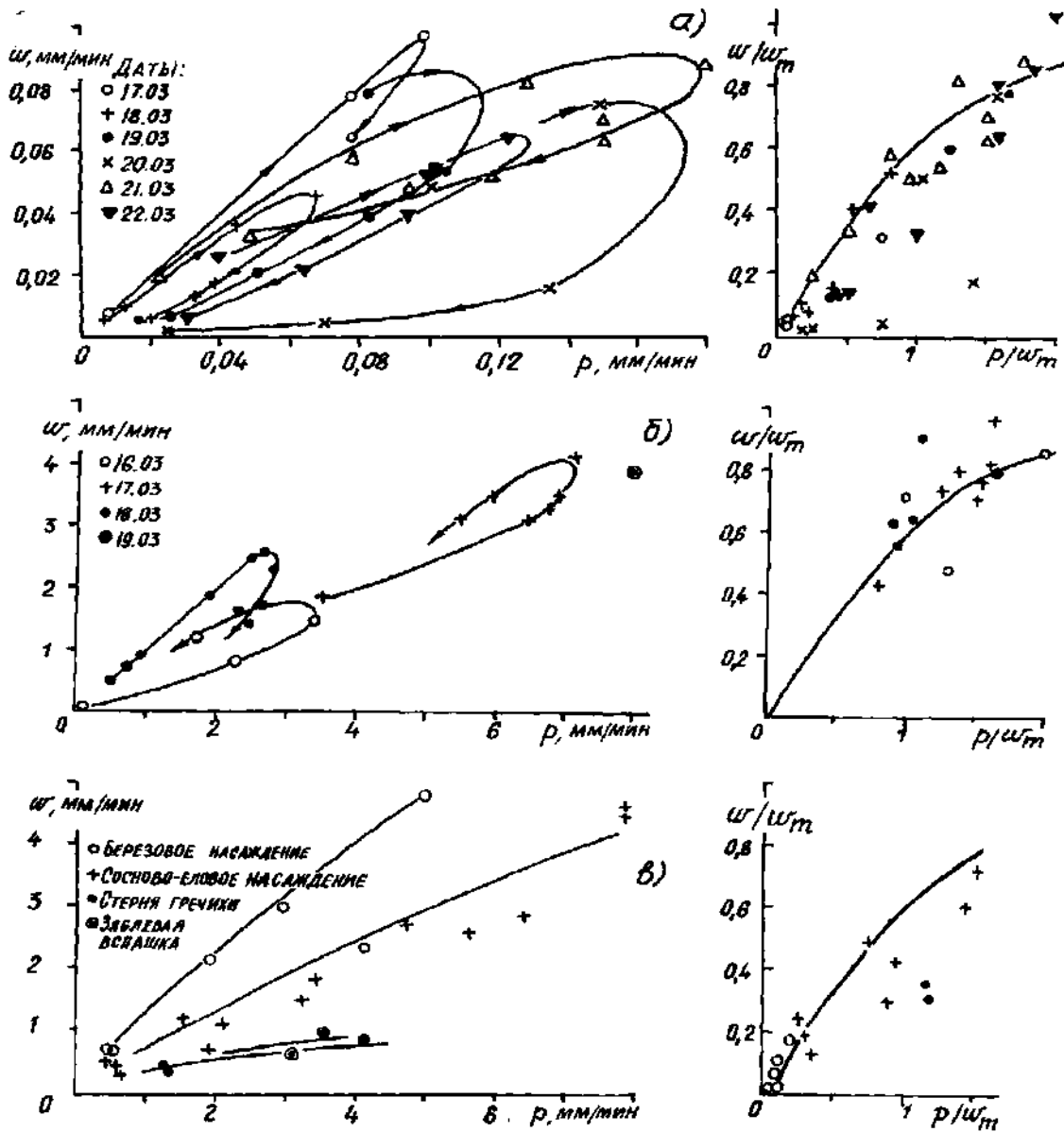


Рис. 1.14. Связь интенсивности поступления осадков (подтока) в абсолютных (p) и относительных (p/w_m) величинах с интенсивностью инфильтрации (соответственно w и w/w_m):

а) – комбинированная стоковая площадка с полосой леса шириной 12,5 м весной 1972 г. в ур. Колодезном; б) – опытная делянка с лесополосой шириной 4 м + вал + канава весной 1993 г. в ур. Б. Зеренки; в) – опытные делянки при дождевании летом 1966 г. в ур. Колодезном. Стрелками на графиках показана последовательность точек во времени

фильтрационной способности почвы в течение суток и по ходу паводка. Это обусловлено суточной периодичностью снеготаяния и поступления воды в насаждение и связанного с этим насыщения почвы

влажностью и ее оттока вглубь. Об этом же свидетельствует и гистерезис кривой $w(p)$. Явление гистерезиса гидравлических характеристик широко известно [44, 325, 380 и др.], хотя природа его не вполне ясна. В рассматриваемом случае он свидетельствует о том, что если влага в ночные часы успела просочиться в более глубокие слои почвы, освободив часть порового пространства, то в фазе возрастания подтока инфильтрация увеличивается, а в фазе уменьшения подтока падает (рис. 1.14а). Если же за ночные часы почва переохладилась, то инфильтрация на подъеме подтока будет ниже (рис. 1.14б). Впрочем, скорее всего, здесь работает какой-то другой эффект, ибо расщепление кривой происходит сразу же после прохождения пика подтока.

И, наконец, важна оценка порядка величины инфильтрации талой воды в насаждении. Данные рис. 1.14а относятся к году с пиками подтока до 3-4 л/с·га. В отдельные годы они возрастали до 10 л/с·га (1967 г.). Это соответствует интенсивности подтока в насаждение шириной 10-12 м на уровне десятых и сотых долей мм/мин. До- и послеполивный подток намного меньше. Лишь для узких лесополос шириной 2-3 м и при специальных средствах усиления подтока его величина возрастает до 3-4 мм/мин и более (рис. 1.14б). Таким образом, насаждения без приемов увеличения водопоглощения в весенний период работают при интенсивности подтока во много раз меньшей в сравнении с интенсивностью подтока в летний период при ливнях интенсивностью 1-2 мм/мин и более (рис. 1.14в).

Выявленные закономерности связи инфильтрации с подтоком позволяют высказать предположение о качественном их соответствии обоснованной в работах [92, 95] модели водопоглощения – см. уравнение (1.2). Регрессионный анализ представленных на рис. 1.14 данных с определением параметра w_m для каждого суток позволил свести все это многообразие к единой довольно тесной зависимости $w/w_m = f(p/w_m)$, случайные большие отклонения от которой единичны. Эти же данные показывают, что модель водопоглощения может применяться для обобщения данных как для летнего периода при дождях (рис. 1.14в), так и для весеннего периода в лесных полосах с усилением их средствами гидротехники (рис. 1.14б) и без них. Это позволяет утверждать, что теоретически функция водопоглощения достаточно обоснована и может применяться во всех случаях, когда речь идет о поступлении осадков на инфильтрующую почву.

В дальнейшем при обобщении экспериментальных данных будет использоваться преимущественно зависимость

$$W_c = W_m[1 - \exp(-P_c/W_m)], \quad (1.3)$$

поскольку литературные данные представлены почти исключительно суммарными величинами подтока P_c и водопоглощения W_c .

В относительных величинах, в виде коэффициента водопоглощения, функция принимает вид

$$K_w = W/P = W_m[1 - \exp(-P/W_m)]/P. \quad (1.3a)$$

Из выражения (1.3) следует, что при $W_m = \text{const}$ величина W_c зависит только от подтока P_c . Для условий летнего периода величина W_m при данной продолжительности эксперимента есть не что иное, как максимальная интегральная величина инфильтрации, определяемая свойствами почвы лесного насаждения, т. е., по сути, она является такой же константой, как и другие почвенные водно-физические константы. (Об относительности величины W_m как константы см. далее). Для периода весеннего снеготаяния величина W_m зависит от увлажнения, промерзания и температуры воды. Она будет близка к величине W_m в летний период, если к моменту снеготаяния почва под насаждением талая, и наоборот: чем сильнее увлажнена и промерзла почва, тем ниже ее водопроницаемость и тем меньше величина W_m . Очевидно: $W_m = \text{const}$ и связь $W_c(P_c)$ наиболее отчетливо проявляется при проведении экспериментов в условиях, когда все прочие факторы, кроме изучаемого (в данном случае P_c), находятся на одном уровне. Этому требованию в наибольшей степени отвечают эксперименты, выполненные в периоды с разной водностью (подтоком) или в течение одного весеннего паводка на разных уровнях P_c , при которых различия в оценках W_m определяются лишь ее естественной вариацией. В табл. 1.14 приведены данные за периоды с разной величиной P_c , а в табл. 1.15 и на рис. 1.15А, Б – результаты регрессионного анализа данных В. Н. Дьякова (1977 г.), Я. К. и Т. Я. Зарудных для прибалочных лесополос шириной соответственно 10 и 18 м посадки 1951 и 1979 гг. при длине полевого склона 150 и 500 м.

Данные табл. 1.14 показывают, что при почти одинаковых условиях впитывания за оба периода (1951-1956 и 1957-1960 гг.), т. е. при почти равных K_{w_c} , первый период отличался в 2,5-2,8 раза большим средним водопоглощением при большем в 2,25-2,6 раза подтоке. Уменьшение подтока было обусловлено как меньшей водностью второго периода (S_n 79 и 43 мм), так и длиной полевого склона L_n , с которого поступала вода в насаждение. Таким образом, налицо связь водопоглощения с подтоком.

Таблица 1.14

Зависимость суммарного водопоглощения в лесном насаждении от величины подтока талых вод, мм. Придеснянская стоковая станция, серые лесные почвы [114, 296]

Годы	S_{Π}	Ширина насаждения, м					
		20			40		
		P_c	W_c	K_{Wc}	P_c	W_c	K_{Wc}
<i>Повышенный подток ($L_n = 120$ м)</i>							
1951	47	340	0	0	220	0	0
1952	34	356	354	0,99	238	236	0,99
1953	98	670	60	0,99	400	340	0,85
1954	90	700	410	0,59	400	360	0,90
1955	45	404	400	0,99	280	279	0,99
1956	159	1240	630	0,51	610	570	0,93
Среднее	79	620	310	0,50	360	300	0,83
<i>Пониженный подток ($L_n = 75$ м)</i>							
1957	10	56	52	0,93	47	43	0,92
1958	18	210	200	0,95	180	170	0,94
1959	41	240	210	0,88	156	155	0,99
1960	113	470	40	0,09	250	120	0,48
Среднее	43	240	110	0,46	160	120	0,75

Данные табл. 1.15 и графики на рис. 1.15А, Б свидетельствуют об удовлетворительной адекватности функции $W_c(P_c)$: относительные ошибки ε для групповых величин (по всей совокупности данных за любой год) чаще всего находятся в пределах 10-20% и реже – больше 30%. Для всей совокупности данных по ОПШХ ВНИИЗиЗПЭ Таким образом, рассмотренные данные позволяют констатировать: 1) возрастание величин водопоглощения W_c с увеличением подтока P_c , 2) тесную связь между W_c и P_c . Это означает, что естественная вариация не может повлиять на характер связи $W(P)$ или, иначе говоря, варьирующие величины принадлежат одной и той же зависимости. Это, во-первых, подтверждает правильность теоретической модели, а во-вторых, позволяет определять W_m в каждом отдельном случае, т. е. для любых единичных индивидуальных пар W и P , и получать единую функцию для любого информационного массива, что подтверждается данными рис. 1.15Г.

Таблица 1.15

Фактические и расчетные индивидуальные величины W_c , индивидуальные $W_{инд}$ (по годовариантам), групповые W_m групп (для совокупности данных за год) величины, ошибки уравнений m_{yx} , мм, и расчетов ε , %, ОПХ ВНИИЗиЗПЭ

Фактические данные			Расчетные		
P_c	W_c	K_{Wc}	W_c	$\varepsilon, \%$	$W_{m инд}$
<i>1977 г.</i>					
210	200	0,95	182	-8,6	2130
220	190	0,86	190	0,2	730
230	210	0,91	197	-5,8	1240
240	180	0,75	206	14,0	400
280	230	0,82	233	1,4	690
300	250	0,83	246	-1,3	800
$W_{m групп} = 740; m_{yx} = 17$					
<i>1981 г.</i>					
220	140	0,64	155	11,0	220
230	150	0,65	160	7,1	250
230	150	0,65	160	7,1	250
510	210	0,41	245	17,0	240
660	260	0,39	266	2,6	290
$W_{m групп} = 300; m_{yx} = 24$					
<i>1982 г.</i>					
240	140	0,58	143	2,2	200
270	150	0,56	151	1,3	200
270	160	0,59	151	-5,0	230
280	150	0,54	154	3,1	200
$W_{m групп} = 210; m_{yx} = 7$					
<i>1983 г.</i>					
800	600	0,75	568	-5,3	1320
870	670	0,77	601	-10,0	1590
910	530	0,58	619	17,0	760
$W_{m групп} = 1100; m_{yx} = 177$					
<i>1985 г.</i>					
270	170	0,63	196	15,0	270
320	230	0,72	220	-4,2	460
340	240	0,71	229	4,6	460
350	200	0,57	233	17,0	280
$W_{m групп} = 400; m_{yx} = 32$					
<i>1986 г.</i>					
200	60	0,30	106	77,0	60
270	140	0,52	119	-15,0	180
280	130	0,46	121	-6,9	160
$W_{m групп} = 140; m_{yx} = 51$					

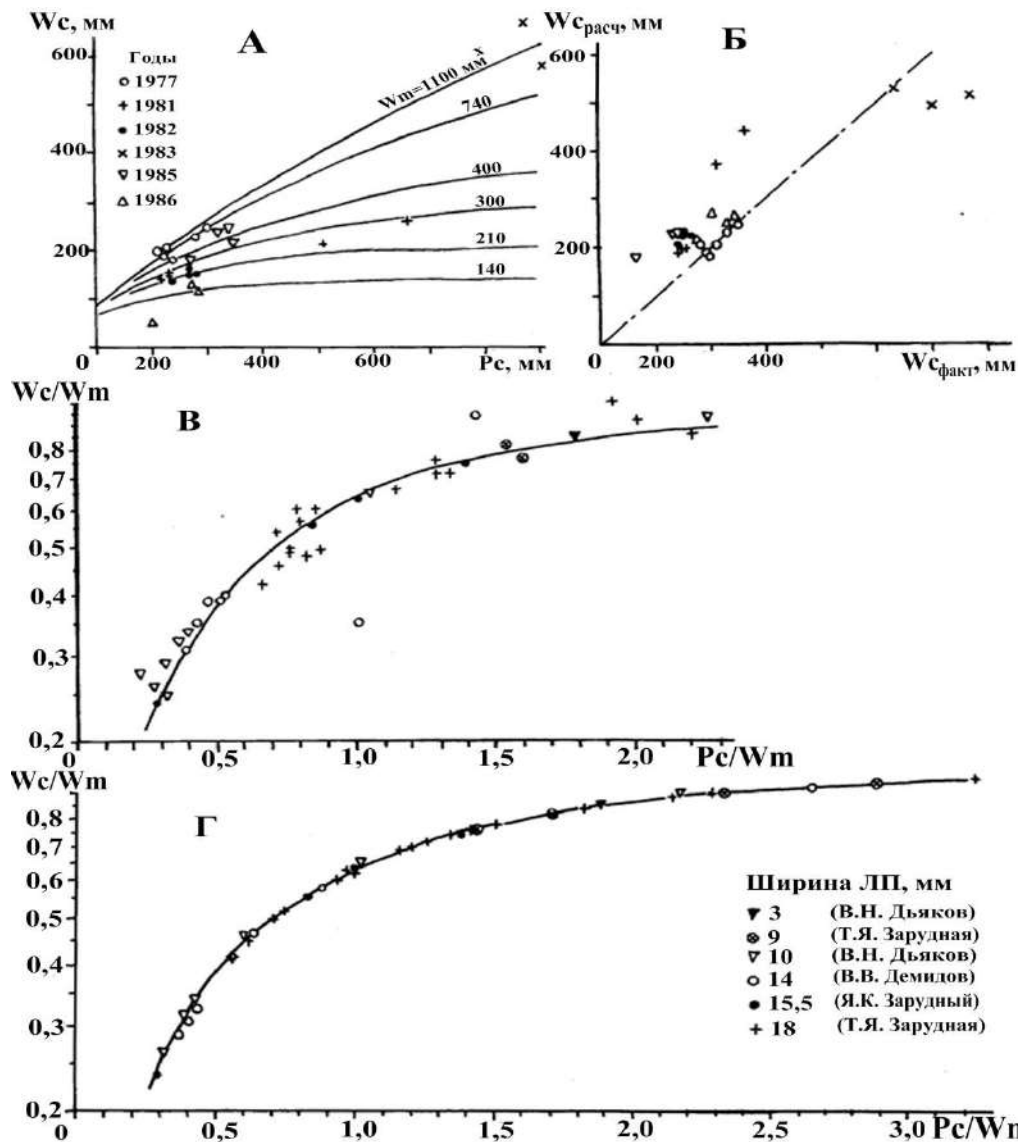


Рис. 1.15. Связь водопоглощения в лесных полосах W_c с подтоком P_c (ОППХ ВНИИЗиЗПЭ, 1977-1991 гг.):

А – абсолютные индивидуальные и групповые величины (из табл. 1.15); Б – то же, расчетные и фактические; В – групповые, Г – индивидуальные относительные величины (рис. 1.15В) эта связь еще теснее, несмотря на большой диапазон ширины (3-18 м) и возраста (3-25-30 лет) ЛП

Изложенные соображения и заключения не отменяют факта варьирования W_m , что может быть учтено путем представления функции (1.2) и величины W_m в виде какой-либо функции распределения (см. далее).

Ширина и длина насаждения как фактор водопоглощения. Вопрос о влиянии ширины $B_{л}$ и длины (протяженности по трассе) $L_{л}$ насаждения на водопоглощение достаточно сложен и не вполне ясен.

Теоретически при ограниченной ширине и избыточном подтоке, обеспечивающем сплошное затопление почвы водой под пологом, а также при одинаковой водопроницаемости в любой точке водопоглощение должно быть постоянным. При ручьевом (струйном) подтоке водопоглощение происходит лишь на части поверхности, тем меньшей, чем больше протяженность лесополосы и уже стокоударный, по К. Л. Холупяку [394, 395], участок лесонасаждения. При этом поскольку по мере прохождения воды подтока через насаждение часть ее безвозвратно теряется, просачиваясь в почву, то каждый нижележащий участок получает все меньше и меньше воды и потому водопоглощение должно уменьшаться.

Экспериментальная оценка связи водопоглощения W_{Π} с подтоком с поля P_{Π} при разной ширине B_{Π} и длине L_{Π} ЛП выполнялась в ОПХ ВНИИиЗПЭ в опыте, заложенном по методу рационального планирования (табл. 1.16). Регрессионным анализом выявлены параметры уравнения связи

$$W_n = 0,14P_n^{1,05} B_n^{0,8} L_n^{-0,4}, m_{\text{xyz}} = 0,068. \quad (1.4)$$

Вид связи иллюстрируется рис. 1.16.

Таблица 1.16

**Фактические и расчетные величины водопоглощения W_{Π} за счет подтока с полевого склона P_{Π} и в зависимости от ширины B_{Π} насаждения протяженности его вдоль опушки L_{Π} , м.
ОПХ ВНИИиЗПЭ, 27-28.03.1982 г.**

Фактические данные				Расчетные данные	
W_{Π}	P_{Π}	B_{Π}	L_{Π}	W_{Π}	$\varepsilon, \%$
0,18	0,35	11,8	5,5	0,16	-11
0,22	0,90	4,1	21,1	0,11	-49
0,29	0,94	5,8	3,0	0,33	15
(0,15) ^{x)}	0,42	8,0	9,8	0,12	-24
(0,11) ^{x)}	0,38	9,8	9,9	0,12	9
0,04	0,65	4,9	20,7	0,09	132
0,12	0,32	7,4	3,2	0,13	5
0,05	0,24	4,2	5,5	0,05	-6

Примечание: x) восстановленные путем интерполяции данные.

Таким образом, водопоглощение возрастает в зависимости от подтока и ширины насаждения почти прямо пропорционально и сильно уменьшается с увеличением длины насаждения.

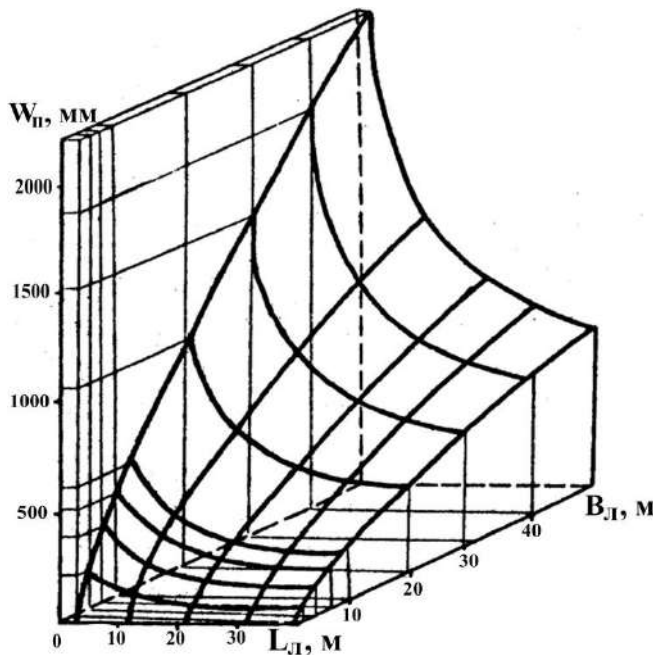


Рис. 1.16. Поверхность отклика уравнения (1.4) при $P_{п} = 1000$ мм

Влияние длины насаждения в целом согласуется с известным положением [362], что при струйном прохождении стока через насаждение воду поглощает лишь незначительная его часть на площади контакта струй с почвой, а потому потенциальные стокорегулирующие функции насаждения реализуются в незначительной степени. Зависимость $W_{п}$ от $B_{л}$ (рис. 1.16) внешне весьма схожа с функцией водопоглощения (1.2) – см. рис. 1.15, что не случайно, как будет показано ниже.

Кроме рассмотренных данных специального опыта, имеет-

ся значительная информация по разным почвенным зонам о влиянии ширины полосы насаждения на водопоглощение при врезе в него полевых площадок на разную глубину. Эффективность водопоглощения в связи с шириной насаждения иллюстрируется данными табл. 1.17 и

Таблица 1.17

Коэффициенты суммарного водопоглощения (числитель) и слоя максимального водопоглощения (знаменатель, мм) в зависимости от ширины насаждения $B_{л}$ в различных почвенных зонах

$B_{л}, м$	Почвенные зоны		
	нечерноземная	черноземная	каштановая
1	2	3	4
2,5		$\frac{0,37}{1790}$ I	-
4,0	$\frac{0,097}{740}$ IV	-	-
6,0	$\frac{0,60}{2230}$ V	-	-
8,0			$\frac{0,68}{250}$ IV
9,0		$\frac{0,43}{2060}$ IV	$\frac{0,43}{240}$ III

Продолжение табл. 1.17.

1	2		3			4	
10,0	$\frac{0,20}{110}$ IV;	$\frac{0,67}{1360}$ VII	$\frac{0,32}{725}$ I;	$\frac{0,36}{610}$ II;	$\frac{0,44}{1170}$ V	$\frac{0,65}{310}$	II
12,5	$\frac{0,31}{620}$ III						
16,5						$\frac{0,50}{190}$	III
18,0						$\frac{0,58}{430}$	IV
20,0; 22,0	$\frac{0,55}{390}$ VI;	$\frac{0,74}{950}$ VII;	$\frac{0,55}{610}$ III;	$\frac{0,48}{1225}$ II;	$\frac{0,70}{1620}$ V	$\frac{0,39}{120}$ IV;	$\frac{0,74}{1165}$ V
24,0	$\frac{0,41}{260}$ V						
27,0	$\frac{0,40}{590}$ III						
30,0	$\frac{0,77}{690}$ VII;	$\frac{0,81}{2020}$ I	$\frac{0,46}{1040}$ II		$\frac{0,68}{200}$ I		
40,0	$\frac{0,72}{1360}$ VI;	$\frac{0,82}{910}$ VII	$\frac{0,65}{820}$ III		$\frac{0,88}{3020}$ V		
44,0; 45,0	$\frac{0,45}{450}$ III;	$\frac{0,91}{3300}$ I					
60,0	$\frac{0,19}{320}$ II	$\frac{0,74}{1220}$ III;		$\frac{0,95}{5750}$ V			
70,0	$\frac{0,38}{400}$ II						
80,0; 82,0	$\frac{0,55}{630}$ II;	$\frac{0,95}{4270}$ I					
110,0	$\frac{0,13}{230}$ II						
145,0	$\frac{0,36}{280}$ II						
450,0	$\frac{0,72}{650}$ II						

Примечание. Нечерноземная зона – I(ПН) – [289]; II(Л) – [286]; III(ПН) – [102]; IV(ПН) – [50, 386]; VI(ПН) – [296]; VII(ПН) – [136]; черноземная – I(ПН) – [373]; II(ПН) – [373]; III(ПН) – [343]; IV(ЛП) – [100]; V(ПН) – [280]; каштановая – I(ЛП) – [262]; II(ЛП) – [236]; III(ЛП) – [45, 46]; IV(ЛП) – [62]; V(ЛП) – [76]. Римскими цифрами обозначены стационары (см. рис. 1.17), арабскими – литературный источник. В круглых скобках ПН – полоса насаждения; ЛП, Л – лесополоса, лесной массив. Прочерки означают отсутствие данных.

и рис. 1.17. Здесь, кроме того, приведена часть данных по опытам с отдельными лесополосами, включенными в комбинацию поле + ЛП, поле + лес на всю ширину насаждения.

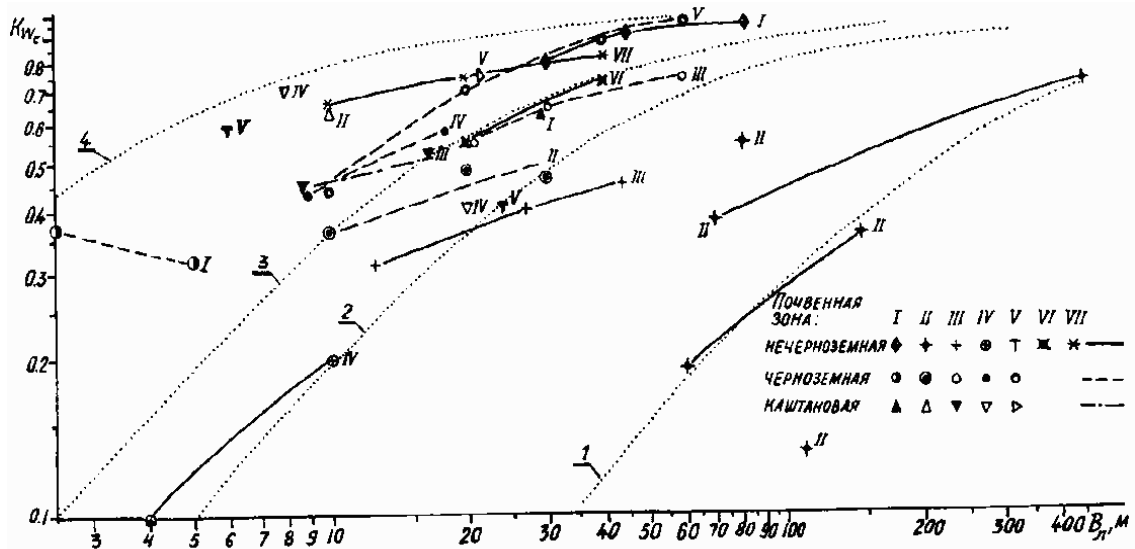


Рис. 1.17. Изменение K_{Wc} в зависимости от ширины лесного насаждения $B_{л.}$ (римские цифры соответствуют стационарам, указанным в примечании к табл. 1.17. Пунктиром изображены кривые, рассчитанные по уравнению (1.2) при $S_{п} = 50$ мм, $L_{п} = 500$ м, $W_{м} = 75$ (1), 500(2), 1000(3), 5000 (4) мм)

Эти данные, за исключением относящихся к одному из объектов Каменной степи (в среднем за 1955-1958 гг.), свидетельствуют о возрастании стокорегулирующей эффективности (коэффициента суммарного водопоглощения K_{Wc}) при увеличении ширины насаждения, что отмечалось в работе [81]. Они обобщаются функцией (1.3а); после подстановки выражения

$$P_c = h_{п} + S_{п} \cdot L_{п}/B_{л} \approx S_{п} \cdot L_{п}/B_{л} = C \quad (1.5)$$

она принимает вид

$$K_{Wc} = (W_{м}/S_{п}L_{п}) \cdot B_{л} [1 - \exp(-(S_{п}L_{п}/W_{м}) \cdot 1/B_{л})] = (1/C) \cdot B_{л} [1 - \exp(-C/B_{л})]. \quad (1.6)$$

Расчет по этому выражению при $C = 1$ дает следующие результаты:

$B_{л}, м$	1	2,5	5	10	20	25	50
K_{Wc}	0,63	0,82	0,91	0,95	0,98	0,98	0,99

Каких-либо устойчивых зональных различий в изменении величины K_{Wc} не обнаруживается: большие и малые его значения при одной и той же ширине насаждения встречаются как в нечерноземной зоне, так и в черноземной и каштановой. Это важное обстоятельство означа-

ет, что стокорегулирующая эффективность насаждения определяется его состоянием и обусловленной этим максимальной впитывающей способностью W_m . Из этого следует, что в любых почвенных условиях может быть выращено высокоэффективное насаждение, и наоборот, в благоприятных лесорастительных условиях насаждение может быть в плохом состоянии. Это также означает, что величина W_m имеет тенденцию быть предельно высокой независимо от ширины насаждения и почвенно-зональных условий, т. е. имеет явные черты азональности и гомеостатичности, что в прикладном аспекте нецеликом важно, ибо обеспечивает высокую буферность лесомелиорации в любых условиях.

Влияние на водопоглощение почвенных условий и состояния насаждений. Для окончательного суждения о связи $W_c(P_c)$ рассмотрим совокупность всей имеющейся информации по всем стационарам. Для иллюстрации на рис. 1.18 представлена часть данных только для насаждений шириной 20-30 м. Совокупность представленных на рис. 1.18 и всех данных, несмотря на их вариабельность вследствие различий зональных, лесотаксационных, погодных и иных условий, имеет и ряд общих закономерностей.

Рассмотрим их.

1. Связь $W_c(P_c)$ положительная, т. е. W_c возрастает при увеличении P_c с тенденцией к стабилизации, особенно при малой ширине насаждения.

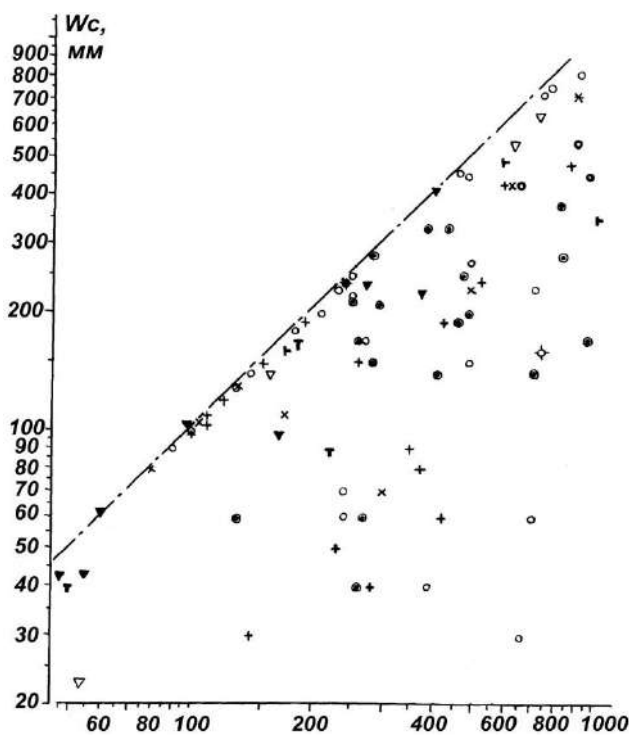


Рис. 1.18. Зависимость суммарного водопоглощения W_c от суммарного подтока P_c в лесных насаждениях шириной 20-30 м. $B_{л}$, м: * 30 (с. Жуковка, Волоколамский р-н Московской обл.); ⊙ 24 (Поволжская АГЛОС); ● 25 (Каменная степь, ЛП120); ○ 30 (Там же, ЛП72); ✧ 30 (Теллерманов лес); × 24 (Новосильская ЗАГЛОС, ур. Слобода); + 27 (Там же, ур. Колодезное); ■ 30 ("Коллективист", Львовский р-н Курской обл.); ▴ 30 (к-з им. Дзержинского, Курский р-н Курской обл.); ▽ 22 (Горный Балыклей, Волгоградская обл.); ▼ 30 (ОПХ ВНИАЛМИ, г. Волгоград)

2. При любой ширине насаждения выделяются три основные области группировки данных: 1) область с $W_c = P_c$ по линии равных значений, которая соответствует ситуации, когда вся поступающая в насаждение вода подтока и собственные снегозапасы в насаждении поглощаются полностью; 2) область с $P_c > W_c > 0$, которая соответствует частичному поглощению суммарных влагозапасов (подток + собственные снегозапасы) в насаждении; 3) область с $W_c \approx 0$, когда насаждение почти не поглощает талую воду (может быть даже так, что сток в комбинации поле + ЛП оказывается больше, чем сток с поля, за счет дополнительного стока из насаждения).

Возможна и более дробная группировка данных с подразделением области 2 на две подобласти: а) с величинами W_c , расположенными ближе к линии равных значений (подобласть повышенного стокорегулирующего эффекта), и б) с величинами W_c , приближающимися к третьей области с $W_c \approx 0$ (подобласть пониженного стокорегулирующего эффекта).

По мере увеличения ширины насаждения подобласть $W_c = 0$ и прилегающая к ней подобласть малых значений W_c уменьшаются, область с $W_c = P_c$ и близкая к ней подобласть с высокими значениями W_c увеличиваются, а для зависимости $W_c(P_c)$ точки на графике стягиваются в более плотный пучок. Последнее свидетельствует об уменьшении случайной вариации величины W_c .

Отмеченные общие тенденции могут быть объяснены улучшением условий водопоглощения с увеличением ширины насаждения. Это является следствием не увеличения просачивания воды в почву по мере движения водного потока в насаждении, а скорее всего ослабления краевого опушечного эффекта.

Этот эффект проявляется в уменьшении W_m обычно из-за большего задержания приопушечных междурядий и часто большего здесь промерзания почвы, особенно в продуваемых ЛП. В более широком насаждении W_m возрастает за счет усиления эффекта "лесной обстановки".

Увеличение суммарного водопоглощения с возрастанием ширины насаждения целиком согласуется с теоретическими обоснованиями функции водопоглощения, особенно при ее представлении в относительном (безразмерном, рис. 1.19 и 1.20) виде. Вся совокупность данных достаточно тесно укладывается в единую зависимость (несмотря на очевидную естественную вариацию) как в разных почвенно-климатических зонах (рис. 1.19), так и при любой ширине насаждения (рис. 1.20).

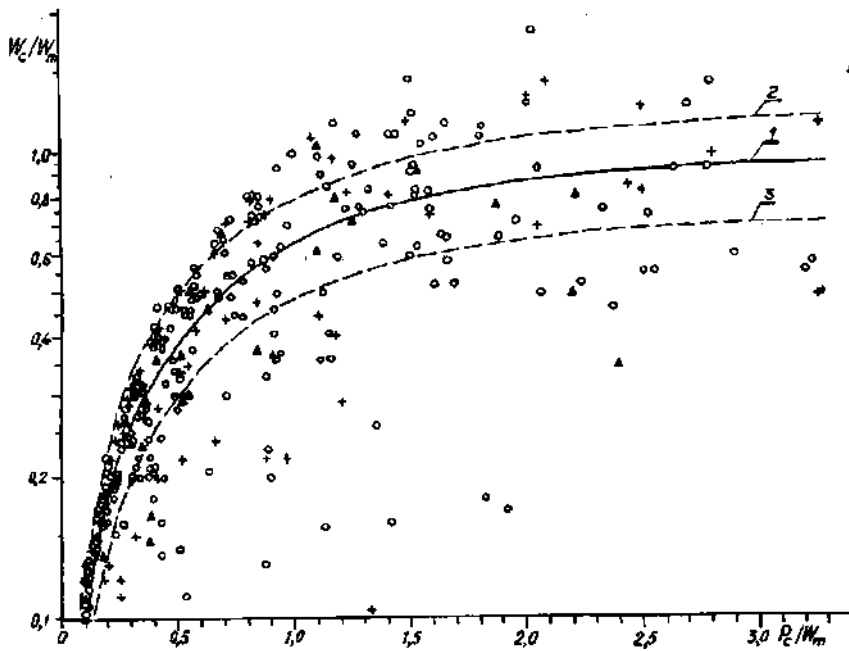
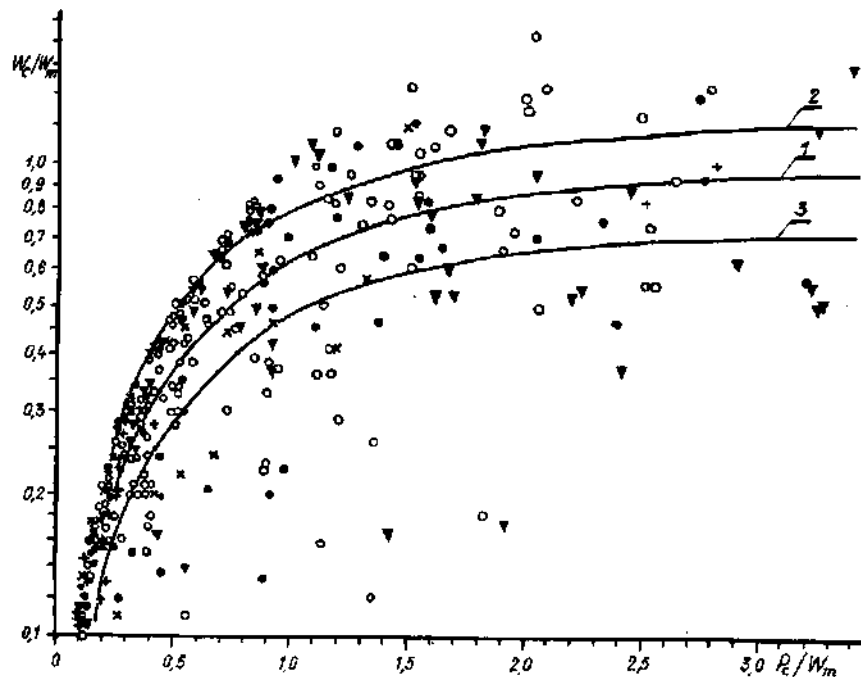


Рис. 1.19. Зависимость водопоглощения (фактические групповые относительные величины) от подтока в разных почвенных зонах:

+ нечерноземная; ○ черноземная; ▼ каштановая

Рис. 1.20. Зависимость водопоглощения (фактические групповые относительные величины) от подтока при разной ширине насаждения:

▼ до 10; ○ 11-20; ● 21-30; + 31-40; × более 40 м



Интересные результаты дает анализ связи эффективности водопоглощения (коэффициента водопоглощения $K_{Wc} = W_c/P_c$) с величинами P_c и W_m для насаждений разной ширины в разных почвенно-климатических условиях. Какого-либо четкого влияния ширины насаждения и почвенно-климатических условий на величину K_{Wc} не обнаруживается (приложение 1): малые и большие значения K_{Wc} встречаются во всех географических пунктах и при разной ширине

насаждений. Отсутствие оценок K_{wc} при величинах подтока более 700-800 мм в каштановой зоне не является прямым следствием влияния зональных условий. Оно объясняется тем, что меньшие объемы стока талых вод в этой зоне затрудняют получение больших величин подтока при традиционных размерах стоковых площадок ($L_{\Pi} = 100-200$ м). Большой подток здесь может обеспечить лишь метод напуска.

Распределение частот f коэффициента водопоглощения по всему диапазону величин подтока P_c и параметра W_m дает следующую картину:

K_{wc}	0-	0,11-	0,21-	0,31-	0,41-	0,51-	0,61-	0,71-	0,81-	0,91-
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
f : случаи	37	31	34	33	35	35	35	32	45	161
%	8	6	7	7	7	7	7	7	9	36
Σf : случаи	37	68	102	135	153	205	240	272	317	478
%	8	14	21	28	35	42	49	56	64	100

Таким образом, частоты K_{wc} несколько неожиданно распределены довольно равномерно с некоторым уменьшением для малых и заметным увеличением для больших значений K_{wc} (в последнем случае они возрастают за счет лет с полным водопоглощением, т. е. при $K_{wc} = 1$ ($\Sigma f = 23\%$), в том числе в бессточные годы, когда стокорегулирующий эффект не проявляется). Такое распределение K_{wc} , скорее всего, связано с распределением P_c и W_m :

P_c	0-	101-	201-	301-	401-	501-	600-	801-	1001-	2001-	5001-
	100	200	300	400	500	600	800	1000	2000	5000	10000
$f, \%$	4	11	17	12	11	5	16	8	9	6	1
W_m	0-	26-	51-	101-	201-	301-	401-	501-	1001-	2001-	5001-
	25	50	100	200	300	400	500	1000	2000	5000	10000
$f, \%$	2	7	9	11	16	6	5	17	12	10	4

Распределения обнаруживают наличие максимума частот P_c и W_m в области 100-500 мм и в общем сначала возрастание, а затем убывание их от малых величин к большим, что характерно для многих гидрологических характеристик. Значительную частоту имеют значения $W_m > 500-1000$ мм.

В целом величина K_{wc} варьирует довольно случайно при любом уровне W_m . Вместе с тем при очень малых W_m (25-200 мм) вероятность появления малых значений K_{wc} возрастает, а при очень больших W_m (10000-50000 мм), наоборот, уменьшается. Регрессионный анализ групповых связей $W_c(P_c)$, выполненный по грациям величины K_{wc} в разных зонах по каждому объекту для всех ступеней ширины насаждений

(приложение 2), обнаруживает достаточно устойчивую положительную связь величины K_{wc} с параметром W_m : величина K_{wc} тем больше, чем больше W_m . Четких зональных различий в связи величин K_{wc} и W_m не обнаруживается, диапазон вариации W_m велик во всех зонах: от 0-100 до 6000-7000 мм и более. Лишь в каштановой зоне величины W_m явно меньше в сравнении с черноземной и нечерноземной зонами. Довольно стабильно и распределение величины K_{wc} : на диапазон значений 0-0,33 и 0,34-0,66 приходится примерно по 25%, а на диапазон 0,67-1,00 – около 50%. В каштановой зоне намечается тенденция к возрастанию частот повышенных величин K_{wc} (при меньшей величине W_m). В целом же средневзвешенная величина K_{wc} почти не варьирует по зонам, составляя 0,60; 0,61 и 0,74 соответственно для нечерноземной, черноземной и каштановой зон (табл. 1.18). Таким образом, повторяемость K_{wc} и W_m смещена в область повышенных значений этих характеристик, что является еще одним аргументом в пользу вывода о стремлении водопоглощения в насаждениях к гомеостазу. С увеличением ширины насаждения K_{wc} возрастает.

Завершая рассмотрение факторов водопоглощения, остановимся кратко на роли состава, состояния насаждений и погодных условий.

В литературе имеется достаточно много сообщений о влиянии породного состава, лесоводственно-таксационных характеристик, возраста насаждений и т. п. на водопроницаемость почвы. Большинство этих сведений получены при сплошном затоплении поверхности почвы водой, при дождевании или напуске воды в теплое время года. Для весеннего периода также имеются сведения о максимальной водопроницаемости (определенной методом рам и колец) мерзлых почв под лесными насаждениями разного состава и состояния. В то же время оценка влияния на стокорегулирующие функции состава и состояния насаждений при стоке талых вод с применением метода стоковых площадок не проводилась. Рассмотренные выше материалы позволили сделать предварительное заключение о том, что этот фактор маскируется естественной вариацией погодных и почвенных условий, причем почвенный фактор, хотя и оказывает определенное влияние на водопоглощение, но не является решающим. Погодные условия сильно влияют на водопоглощение, снижая его в отдельные годы до нуля (при оттепелях зимой с переувлажнением почвы и образованием ледяной корки) или повышая до "провальных" значений при талой почве. В целом же водопоглощение в насаждениях варьирует вследствие естественной случайной вариации погодных условий.

Таблица 1.18

Распределение частот f (I) и их кумулят Σf (II) по диапазону величин K_{wc} в зависимости от ширины насаждения и почвенной зоны, %

Ширина насаждения $B_{лп}$, м	Частоты и кумуляты	Интервалы величины K_{wc}							Средневзвешенные значения K_{wc}
		0	0-0,20	0,21-0,40	0,41-0,60	0,61-0,80	0,81-1,0	1,0	
<i>Все зоны</i>									
До 10	I	7	23	19	16	13	29	10	0,51
	II	-	23	42	58	71	100	-	
11-20	I	3	12	14	13	21	40	21	0,63
	II	-	12	26	39	60	100	-	
21-30	I	2	10	15	17	9	49	21	0,64
	II	-	10	25	42	51	100	-	
31-40	I	2	5	5	9	9	72	49	0,78
	II	-	5	10	19	28	100	-	
> 40	I	1	14	14	14	10	48	31	0,59
	II	-	14	28	42	52	100	-	
<i>Нечерноземная зона</i>									
Весь диапазон	I	3	18	14	13	10	45	26	0,60
	II	-	18	32	45	55	100	-	
<i>Черноземная зона</i>									
"-"	I	4	13	16	14	16	41	20	0,61
	II	-	13	29	43	59	100	-	
<i>Капитановая зона</i>									
"-"	I	0	4	6	23	19	48	26	0,74
Весь диапазон	II	-	4	10	33	52	100	-	
<i>Все зоны</i>									
"-"	I	3	14	15	14	14	43	23	0,61
	II	-	14	29	43	57	100	-	

Функция распределения максимального водопоглощения. Рассмотренные в предыдущем разделе материалы показывают, что вопрос о связи W_m с шириной насаждения и почвенным фактором остается открытым и общих соображений относительно возможного влияния опушки и лесной обстановки на величину W_m недостаточно.

Обратимся к экспериментальным данным, характеризующим вариацию W_m по ширине насаждения (рис. 1.21). Их анализ показыва-

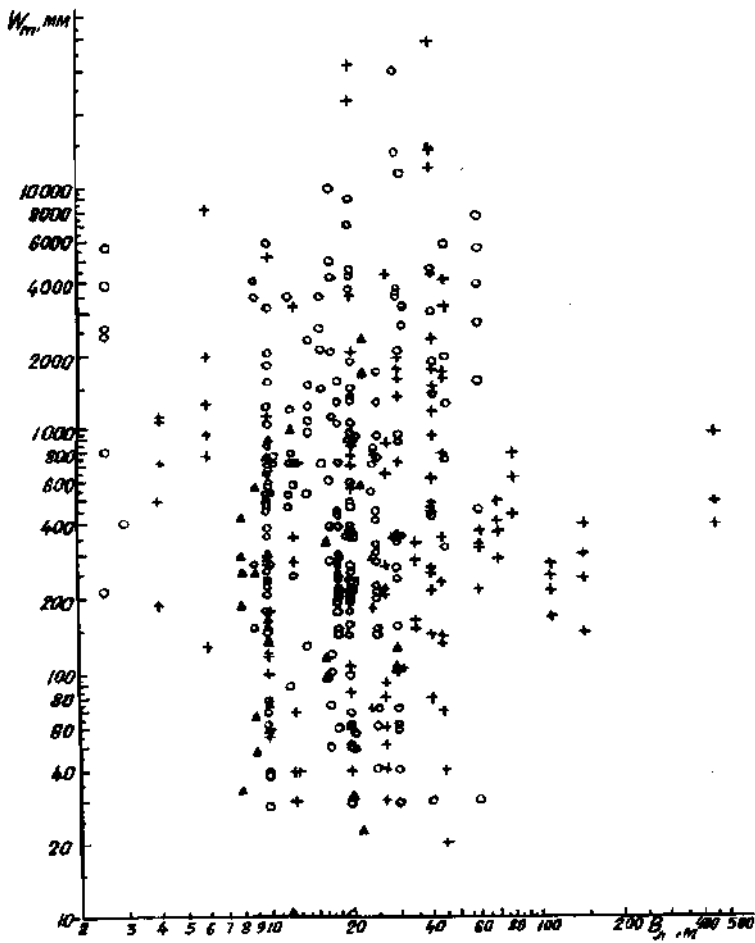


Рис. 1.21. Зависимость индивидуальных величин максимального водопоглощения W_m от ширины насаждения $B_{л}$. Условные обозначения см. на рис. 1.19

(примерно до 5000 мм). При этом каких-либо четких закономерных зависимостей W_m от $B_{лп}$ или почвенных условий не обнаруживается. Имеется лишь некоторая тенденция к сужению интервала варьирования для очень узких (менее 8-10 м) и очень широких (более 60 м) насаждений, что может быть обусловлено малым числом годовариантов.

Таким образом, предварительно можно заключить, что влияние ширины насаждения на параметр W_m не исключается, хотя и не четко выражено, W_m может быть большим и малым как в широких, так и в узких насаждениях, т. е. определяется в большей степени не шириной насаждения, а его состоянием.

Отмеченные обстоятельства и изложенные соображения диктуют необходимость нахождения параметров функции распределения

ет, что случаи с очень большими величинами W_m (более 10000 мм) единичны. Они относятся только к тем годовариантам, когда при значительном подтоке в насаждение сток из него был очень мал и поэтому $W_c \approx P_c$. Расчет W_m для таких случаев мало обоснован, и при очень малых различиях между W_c и P_c величина $W_m \rightarrow \infty$, что физически абсурдно. С другой стороны, даже очень небольшое увеличение разности между W_c и P_c резко уменьшает расчетное значение W_m . Случаи со значениями $W_m \leq 100$ мм также редки. Наиболее часто величины W_m находятся в диапазоне 100-2000

W_m для индивидуальных и групповых (по повторностям за год для каждого варианта) величин по зонам для разной ширины насаждений. С учетом довольно большой неоднородности исходной информации эти параметры оценивались в трех вариантах группировки данных: по минимальным, максимальным значениям W_m и для всей совокупности данных для любого объекта за конкретный год. Полученные параметры кривых распределения (табл. 1.19) показывают, что статистические оценки на всем интервале значений W_m обычно занимают промежуточное положение между оценками по верхней и нижней границам интервалов. При этом хотя крайние оценки величин W_m разной вероятности превышения сильно отличаются от оценок по всей совокупности данных, но соотношения W_m , коэффициентов вариации C_v и асимметрии C_s по зонам и грациям ширины насаждений $B_{л}$ сохраняются при любом из трех способов оценки параметров. Это повышает надежность оценок по всей совокупности данных и является косвенным подтверждением их относительной однородности; об этом же свидетельствует и большинство значений C_v и C_s .

Данные табл. 1.19 и рис. 1.22 позволяют вскрыть основные закономерности функции распределения $W_m(p\%)$. Величина W_m слабо зависит от ширины насаждения с некоторой тенденцией к возрастанию с увеличением $B_{л}$. В зональном плане, особенно по всей совокупности данных, величина W_m возрастает от нечерноземной зоны к черноземной и уменьшается к каштановой, что в целом согласуется с результатами обобщения Г. П. Сурмача [359]. Однако если учесть, что кривая вероятности превышения на черноземах при $B_{л} = 31-60$ м резко выделяется из всей совокупности кривых (скорее всего это обусловлено исключительно хорошим состоянием насаждений в опытах Г. Ф. Басова, И. П. Сухарева и А. А. Молчанова), то следует признать, что различия в функциях распределения W_m для нечерноземной и черноземной зон не столь существенны в сравнении с каштановой зоной. Однако и для нее кривая распределения при $B_{л} = 10-20$ м достаточно близка к кривым для Нечерноземья, особенно при значениях p более 10-30%.

Необходимо учесть, что средние величины W_m в пределах одной зоны, но для разных объектов варьируют сильнее, чем в среднем по зонам, и что эта вариация обусловлена главным образом состоянием насаждений. Отсюда следует, что создание хорошего насаждения и поддержание его в надлежащем состоянии обеспечивают высокие стокорегулирующие функции практически независимо от его ширины и специфики местных условий, что имеет огромное практическое значение.

Таблица 1.19

Параметры и величины разной вероятности функции превышения максимального водопоглощения W_m в лесных полосных насаждениях при подтоке талых вод

$B_{лп}, M$	Область значений	Показатели при вероятности превышения, %							C_v	C_s	\bar{W}_m
		0,1	1	10	50	60	70	75			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Нечерноземная зона</i>											
4-10	Н	15800	9400	3600	200	-	-	-	2,1	2,8	1000
	В	14600	9700	4600	940	470	100	-	1,5	1,8	1600
	НВ	14200	8600	3500	400	150	-	-	1,7	2,6	1100
12,5-20	Н	10600	6500	2700	320	110	-	-	1,7	1,5	850
	В	10300	6600	3000	520	240	10	-	1,6	2,0	1000
	НВ	10200	6500	2800	400	160	-	-	1,7	2,2	900
24-30	Н	7400	4700	2100	380	190	30	-	1,5	2,1	730
	В	7400	4800	2200	460	280	120	50	1,3	2,1	810
	НВ	7000	4400	1900	330	180	50	-	1,5	2,3	670
35-45	Н	7000	4400	2000	340	190	60	4	1,5	2,3	680
	В	6900	4700	2400	660	420	200	100	1,2	1,5	930
	НВ	6900	4600	2200	500	290	120	30	1,3	1,8	810
4-45	НВ	10700	6400	2500	320	170	60	20	1,6	2,8	860
<i>Черноземная зона</i>											
2,5-10	Н	7600	5000	2300	390	160	-	-	1,6	1,9	740
	В	15500	10400	5100	1100	640	220	20	1,4	1,7	1800
	НВ	8900	6000	3000	710	400	140	6	1,4	1,6	1100
12-20	Н	8200	5000	2100	290	150	40	-	1,6	2,6	710
	В	15500	10500	5400	1400	840	380	160	1,3	1,6	2000
	НВ	13000	8200	3600	680	400	160	50	1,4	2,3	1300
24-30	Н	6000	3800	1600	310	180	80	50	1,4	2,4	600
	В	23700	14200	5500	390	4	-	-	2,0	2,7	1600
	НВ	11400	7000	2900	340	120	-	-	1,7	2,5	910
31-60	Н	17800	12400	6600	1700	930	250	-	1,4	1,2	2300
	В	13700	11700	8700	5200	4500	3700	3300	0,5	0,04	5200
	НВ	14700	10900	6500	2500	1900	1200	910	0,9	0,9	2900
2,5-60	НВ	13800	8900	4100	780	430	120	-	1,4	2,1	1400
<i>Капитановая зона</i>											
8-10	Н	1700	1200	600	180	130	80	60	1,1	1,7	250
	В	1900	1400	880	340	260	170	120	0,9	0,8	390
	НВ	1800	1300	810	320	250	170	130	0,9	0,9	370

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
11-30	н	3800	2400	1100	160	80	-	-	1,6	2,2	350
	в	4700	3400	1200	620	390	180	60	1,3	0,8	740
	нв	4400	3100	1600	450	270	100	20	1,3	1,2	550
8-30	нв	4000	2700	1400	370	230	120	60	1,2	1,6	530
<i>Все зоны</i>											
2,5-60	нв	12800	7800	3300	480	250	80	5	1,6	2,6	1100

Примечание. В графе 2 – "н", "в" и "нв" соответствуют распределениям по нижнему, верхнему пределам и по всей совокупности данных для величины W_m .

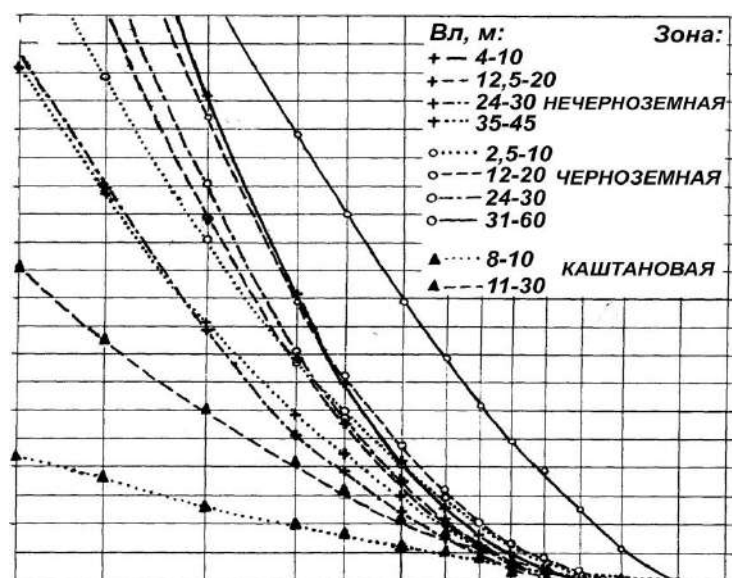


Рис. 1.22. Кривые вероятности превышения максимального водопоглощения p при подтоке в насаждения в зависимости от почвенных условий и ширины насаждения $B_{л}$

Полученные параметры кривых распределения W_m могут использоваться для расчета величин суммарного водопоглощения и сокращения слоя стока разной вероятности превышения в зависимости от величины слоя стока талых вод, длины полевого склона до насаждения и его ширины с учетом состояния насаждения. Облегчает нахождение всех этих показателей использование номограммы (рис. 1.23).

Следует отметить, что практическое использование вероятностных оценок водопоглощения в лесных насаждениях, особенно при малых значениях вероятности превышения (5-20 % и менее), имеет свою специфику в сравнении, скажем, с гидротехническими сооружениями. Для последних на стадии проектирования такие оценки важны для выбора регулирования экстремальных объемов и расходов, сильно

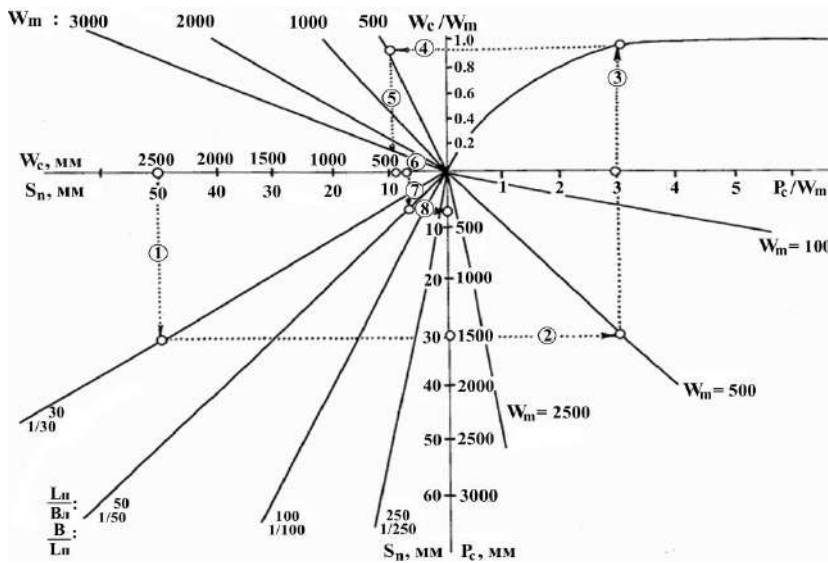


Рис. 1.23. Номограмма для определения основных характеристик гидрологического режима лесных насаждений при подтоке талых вод

влияющих на параметры сооружений (особенно гидравлических плотин) в аварийных ситуациях. Занижение их сопряжено с риском разрушения сооружений, завышение же сильно снижает их регулируемую эффективность и окупаемость. Защитные насаждения в силу специфики их функционирования как долгоживущих биологических систем с большим запасом "прочности" обычно не разрушаются даже при экстремальных нагрузках. Поэтому нецелесообразно создавать их в расчете на аварийные ситуации, что приведет к неоправданному изъятию земли в расчетах на работу в критических условиях, скажем, один раз в 100 лет. Более разумно рассчитывать их на "средние" условия работы, поэтому средние величины W_m и являются наиболее приемлемыми для оценок. Они же наиболее обоснованы.

В силу отмеченных обстоятельств вероятностные оценки нужны не столько для проектирования параметров ЛП, сколько для разного рода гидрологических расчетов эффекта водопоглощения в годы разной водности, т. е. в целях прогноза.

В заключение остановимся на некоторых моментах, имеющих принципиальное значение при использовании обоснованного и изложенного подхода к обобщению экспериментальных данных в сравнении с результатами ранее выполненных обобщений И. П. Сухарева [353] и Г. П. Сурмача [359, 362, 363].

В табл. 1.20 приводятся данные для этого сопоставления. В ней расчетные величины W_c получены из выражений

$$W_c = W_{m(p\%)} \{ [1 - \exp\{(-S_{n(p\%)}) \cdot \frac{L_n}{B_l} / W_m(p\%)\}] \} \quad (1.7)$$

и

$$\Delta S_n = [W_{c(p\%)} - h_n] \cdot B_n / L_n, \quad (1.8)$$

в которых соответствующие статистические характеристики для заданной величины вероятности превышения $p\%$ приняты по данным табл. 1.18 и работы [27].

Первое, что следует из данных табл. 1.20, – это весьма близкое совпадение величин W_c , обобщенных Г. П. Сурмачем (графа 5) и рассчитанных автором (гр. 6) для нечерноземной и черноземной зон, несмотря на принятые ориентировочные величины S_{II} (гр. 2) и L_{II}/B_{II} (гр. 3), поскольку по конкретным объектам за периоды наблюдений эти характеристики значительно варьировали. Значительные расхождения в каштановой зоне обусловлены, скорее всего, тем, что Г. П. Сурмач учитывал величины водопоглощения для бессточных весен, а также прибавлял к ним осадки холодного периода года (100-150 мм), поглощенные почвой при оттепелях без стока. Близкие результаты обоих обобщений являются определенным аргументом в пользу принятых нами расчетного метода и соответствующей теоретической модели водопоглощения.

Второе. Каким бы методом ни обобщались величины W_c , они могут быть лишь относительной характеристикой водопоглощающей способности насаждений, так как зависят от слоя полевого стока и соотношения длины полевого склона и ширины насаждений. Если принять более реальную длину полевого склона $L_{II} = 500$ м (вместо обычной в экспериментах 100-200 м), то расчетные величины W_c сильно отличаются (гр. 8, 10, 12) от полученных Г. П. Сурмачем, хотя расчетные величины сокращения слоя полевого стока различаются мало (гр. 7, 9, 11, 13). Тем не менее в литературе бытует мнение, что при средних величинах водопоглощения $W_c = 300-500$ мм лесные полосы регулируют всего 5-6 мм стока талых вод. Действительно, за вычетом собственных снегозапасов (100-150 мм) при длине полевого склона 500 м и ширине лесополосы 10 м величина $W_c = (150-350) \cdot 10 : 500 = 3-7$ мм. Недостаток расчета состоит в игнорировании увеличения в несколько раз величины W_c с возрастанием длины склона, что, естественно, в несколько раз занижает слой регулируемого стока (по данным табл. 1.20 она изменяется в среднем от 3-4 мм в каштановой зоне до 15-20 мм и более в черноземной и нечерноземной). Таким образом, новый метод обобщения данных существенно изменяет оценку стоко-регулирующего эффекта.

Третье. Считается, что узкие лесные полосы гидрологически более эффективны, чем широкие [98-100, 363, 373]. Анализ данных при-

Таблица 1.20

Сопоставление обобщенных средних величин суммарного водопоглощения W_c и сокращения слоя полевого стока ΔS_n , мм, в насаждениях различных почвенных зон ($h_n = 100$ мм) в зависимости от слоя полевого стока S_n , мм, и соотношения длины полевого склона L_n и ширины насаждения $B_{лп}$, м

Почвенная зона	S_n [27]	$L_n/B_{лп}$ в экспериментах	W_m по таблице 1.19	Значения W_c при $L_n/B_{лп}$, как в экспериментах		Значения в расчетах по уравнению (1.6) при $L_n/B_{лп}$						
				по обобщению Г. П. Сурмача [363]	по уравнению (1.6)	500/20		500/10		500/5		
						ΔS_n	W_c	ΔS_n	W_c	ΔS_n	W_c	
Нечерноземная	50	150/20	900	326(425)	310	28	680	23	840	15	900	8
Черноземная	35	200/20	1300	346(500)	310	21	640	21	960	17	1210	11
Каштановая	12	100/10	370	240(430)	100	0,2	210	4	300	4	360	3
Все зоны	32	150/20	1100	-	220	570	19	15	840	15	1040	9

ложения 2 показывает, что потенциальная величина водопоглощения W_m для узких полос не всегда наибольшая и в целом мало зависит от ширины лесополосы с некоторой тенденцией к увеличению при возрастании ширины насаждения (см. табл. 1.19, рис. 1.21). В то же время суммарный расчетный подток и водопоглощение возрастают при уменьшении ширины лесополосы (см. рис. 1.21, табл. 1.20). При этом, однако, слой сокращения полевого стока уменьшается всегда вместе с уменьшением коэффициента водопоглощения, что обусловлено самим характером функции $W_c(P_c)$.

Четвертое. Сами по себе величины максимального потенциального водопоглощения W_m , хотя и велики, сильно отличаются от определяемых экспериментально полученных величин суммарного (реального) водопоглощения W_c и являются универсальной константой функции водопоглощения $W_c(P_c)$, но реальный стокорегулирующий эффект лесных насаждений, выражаемый в сокращении слоя полевого стока, обуславливается множеством факторов (водность весны, ширина насаждения, длина полевого склона, характер поступления стока талых вод под полог и т. п.). Лишь учет всех этих факторов может обеспечить создание и функционирование эффективных стокорегулирующих насаждений.

Анализ рассмотренных экспериментальных данных по водопоглощению в лесных полосах и литературных данных, особенно обобщенных в работах Г. П. Сурмача [359, 362, 363], выявляет, во-первых, сильную вариацию величины водопоглощения по годам (от 0 до 1500-2000 мм и более) и, во-вторых, неполное использование потенциально высокой водопоглощающей способности насаждений, поскольку реальные величины W_c всегда намного меньше потенциальных W_m (за исключением лет с низким водопоглощением). При средних значениях $W_m = 500-1000$ мм его величина в отдельные годы может достигать 10-15 тыс. мм. Таким образом, остается неиспользованным большой резерв повышения стокорегулирующих функций лесных полос.

Модель водопоглощения: пути совершенствования. Рассмотренная обширная информация об экспериментальной оценке водопоглощения в лесных насаждениях подтвердила высокую адекватность функции водопоглощения $W_c(P_c)$. Это означает, что теоретические положения, на которых основан ее вывод Ю. Б. Виноградовым, с нашей адаптацией применительно к ситуации подтока являются достаточно обоснованными в качестве модели процесса водопоглощения.

Однако очевидные отклонения экспериментальных данных от расчетных не исчерпываются только случайными вариациями условий, определяющих величину параметра W_m . Так, на рис. 1.24а, б даже на глаз заметно суточное расслоение точек. Кроме того, на рис. 1.24в обнаруживается возрастание максимального водопоглощения W_m при подтоке, что не укладывается в теоретическую схему.

Рассмотрим дополнительную информацию для ситуаций, не учтенных моделью водопоглощения в ее начальной трактовке.

На рис. 1.24 и 1.25 представлены данные экспериментов с летним дождеванием на разных угодьях (без подтока) и с подтоком талых вод как в зону снежных шлейфов, так и в ЛП в сочетании с гидротехническими средствами. При всем разнообразии объектов, показателей и ситуаций общим является изменчивость величин w_m и W_m в зависимости от интенсивности и слоя осадков. Таким образом, величина максимального водопоглощения не является константой, что противоречит основному положению исходной модели и нуждается в объяснении.

Характер изменения $w_m(t, p)$ на рис. 1.24а, б в опытах Ю. М. Суковатова напоминает хорошо известную зависимость водопроницае-

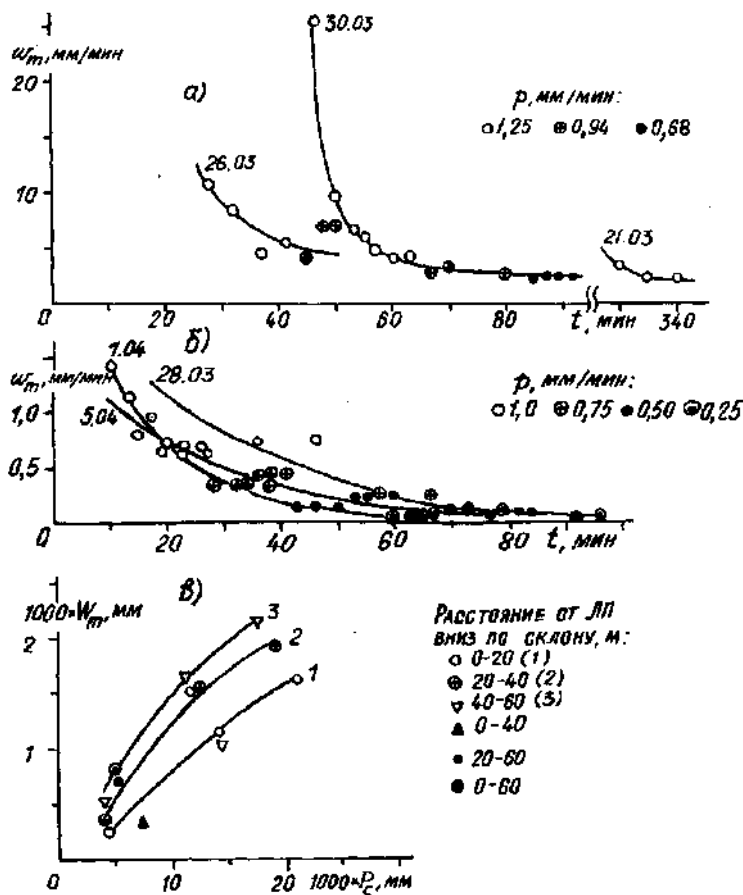


Рис. 1.24. Зависимости максимальной интенсивности поглощения талых вод w_m от времени t , интенсивности подтока p и даты паводка (а, б), а также интегрального максимального водопоглощения W_m от суммарного подтока P_c в зоне снежных шлейфов ЛП (в). К-з "Красный Октябрь" Клетского р-на Волгоградской обл. (а – зяблевая вспашка, 1993 г.; б) – озимые, 1994 г.) и ОПХ Новосильской ЗАГЛОС (в – зяблевая вспашка, 1994 г.)

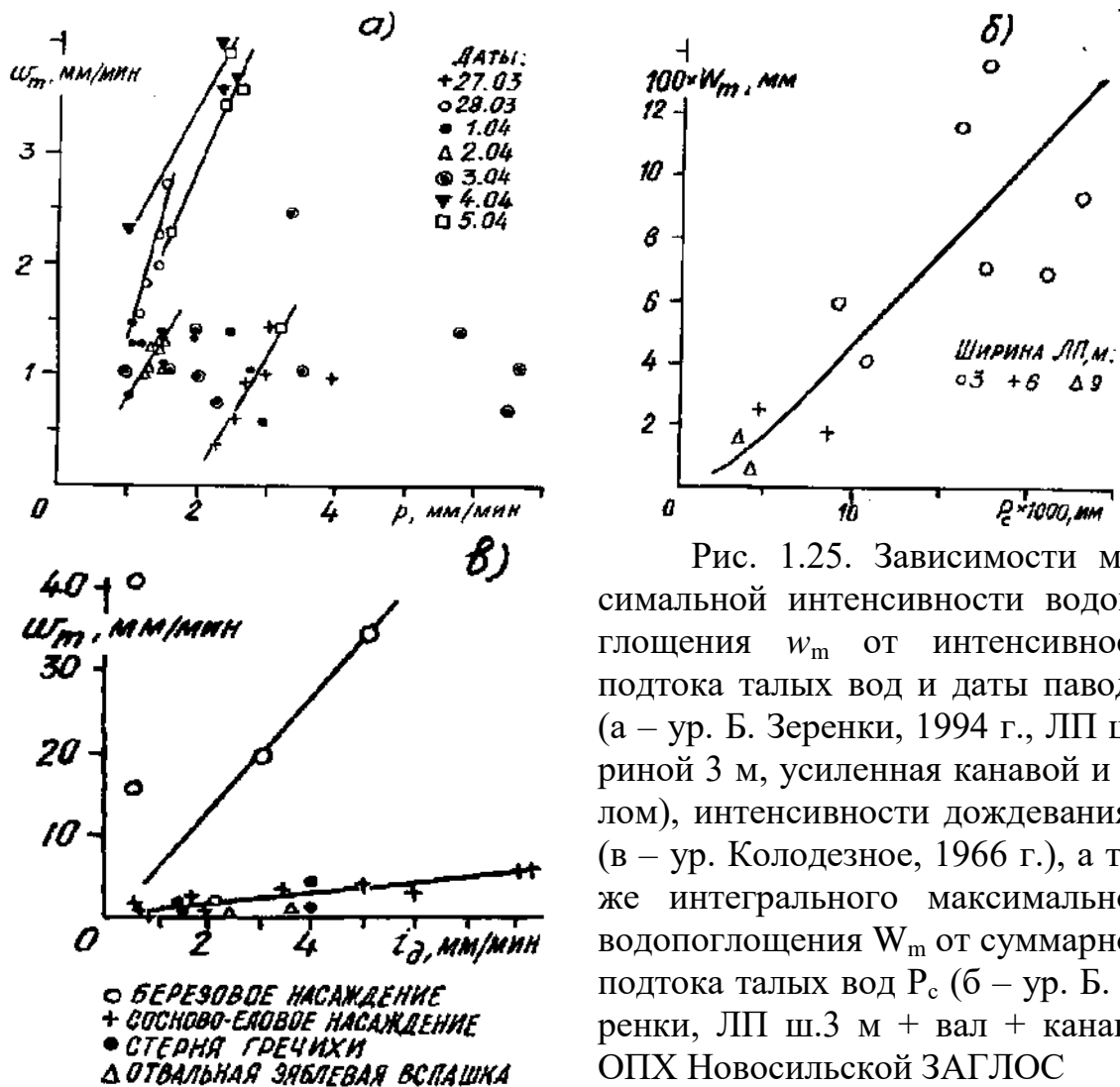


Рис. 1.25. Зависимости максимальной интенсивности водопоглощения w_m от интенсивности подтока талых вод и даты паводка (а – ур. Б. Зеренки, 1994 г., ЛП шириной 3 м, усиленная канавой и валом), интенсивности дождевания i_d (в – ур. Колодезное, 1966 г.), а также интегрального максимального водопоглощения W_m от суммарного подтока талых вод P_c (б – ур. Б. Зеренки, ЛП ш.3 м + вал + канава). ОПХ Новосильской ЗАГЛОС

мости почвы во времени, описываемую уравнениями А. Н. Костякова, Р. Хортон, Дж. Филипа и др. [95, глава 2]; она является убывающей во времени функцией, асимптотически стремящейся к пределу. То же имеет место и при дождевании [95, рис. 2.3 и 2.5 в главе 2]. Именно это предельное или подобное ему значение и принималось Ю. Б. Виноградовым за параметр максимальной инфильтрационной способности почвы. (Следует заметить, что Ю. Б. Виноградов исходил из некоторых осредненных характеристик водопроницаемости, пренебрегая их динамикой во времени).

Временная динамика w_m обнаруживается и в экспериментах Н. Е. Новикова (рис. 1.25а), поскольку возрастание и убывание интенсивности подтока обусловлено ходом температуры и снеготаяния. Зависимость w_m от i_d имеет место и в данных автора на рис. 1.25 в.

И, наконец, модель Ю. В. Виноградова не учитывает нижний предел интенсивности поступления осадков (и соответственно слоя осадков), при котором интенсивность инфильтрационной способности почвы всегда выше, чем интенсивность поступления осадков. При этом вся поступающая вода поглощается и сток не формируется.

Таким образом, экспериментальные данные свидетельствуют о динамичном характере параметров w_m и W_m : 1) уменьшение во времени по мере поступления осадков на поверхности почвы и 2) возрастание с увеличением интенсивности слоя осадков и по ходу весеннего паводка.

Установление фактов динамичности максимальной инфильтрационной способности почвы и ее возрастания или уменьшения выглядит парадоксально и находится в видимом противоречии с самим ее определением в трактовке Г. П. Сурмача и Ю. Б. Виноградова. Тем не менее это обстоятельство, на наш взгляд, может иметь непротиворечивое объяснение в рамках единого подхода к явлению инфильтрации. Уменьшение во времени w_m и W_m имеет ту же природу, что и в экспериментах по определению водопроницаемости почвы при сплошном затоплении ее поверхности водой: главным является уменьшение с глубиной исходной влажности и скважности почвы. По достижении фронтом инфильтрирующей влаги слоев почвы с относительно стабильной влажностью и скважностью или наименее водопроницаемого слоя почвы (плужной подошвы, иллювиальных и т. п. горизонтов, в слоистых почвах с малопроницаемыми слоями) процесс стабилизируется.

Возрастание же w_m и W_m с увеличением интенсивности и слоя осадков, особенно при наличии снега и подпора воды гидротехническими устройствами, обусловлено увеличением гидростатического напора и площади затопления поверхности почвы водой. Кроме того, для мерзлых почв в ходе паводка их инфильтрационная способность возрастает как по мере оттаивания почвы, так и повышения температуры воды и обусловленного этим уменьшения ее вязкости. Вариации и инверсии гидротермического режима в течение суток и в ходе паводка естественно усложняют наблюдаемую картину, но могут быть учтены соответствующими измерениями.

Изложенные факты, соображения и вероятные объяснения природы инфильтрации позволяют наметить пути совершенствования модели. Это может быть выполнено путем представления параметров w_m и W_m в виде функций, введением начальной величины максимального водопоглощения, при котором вся поступающая вода поглоща-

ется без остатка и т. д. Однако для этого требуются дальнейшие исследования, в том числе для обобщения функции Ю. Б. Виноградова [67] и моделирования талого стока [35, 220, 270-272]. Вместе с тем очевидно, что этим не исключается использование интегральных характеристик как констант (при отсутствии данных о динамике процесса), а лишь определяются допустимые границы их применения, что достаточно подтверждается всей совокупностью рассмотренных экспериментальных материалов.

Приемы повышения водопоглощения в лесных насаждениях.

Г. П. Сурмачем и под его руководством многими сотрудниками на опытной сети ВНИАЛМИ начиная с конца 50-х годов выполнены разработка и оценка приемов повышения водопоглощения в лесных полосах. Аналогичные исследования выполнялись и в других НИУ: ВНИИВиВ по оригинальным разработкам Я. И. Потапенко, АНИИЗиС, ВНИИЗиЗПЭ (в т. ч. под руководством Г. П. Сурмача), НИИСХ ЮВ, Ставропольском НИИСХ, УкрНИИЗПЭ (позже – Институт охраны почв Украинской академии аграрных наук), ДЗНИИСХ (авторы и литературные источники приведены в 1.3.2).

Согласно концепции Г. П. Сурмача, как логического следствия его понимания природы максимальной и реальной водопроницаемости, повышение водопоглощения в лесных полосах должно осуществляться в направлении повышения водопроницаемости почвы (влагопроводности), площади контакта с водой поверхности почвы, увеличения объема физического задержания воды. Первые два направления считались главными, третье – вспомогательным, в том числе обеспечивающим затопление поверхности почвы водой и увеличение площади ее контакта с почвой.

Среди приемов повышения водопроницаемости почвы предлагались и оценивались те, которые могли воздействовать на ее скважность, увеличивая ее или возвращая порам влагопроницаемость, снижавшуюся при замерзании почвенной влаги. Сюда относятся все методы накопления лесной подстилки, мульчирование поверхности, снегонакопление для отепления почвы и уменьшения промерзания, рыхление и щелевание почвы (в том числе с наполнителями), устройство канав с непромерзающим дном, оструктуривание (в том числе структурообразователями), инокуляция почвенной мезофауны (главным образом дождевых червей) и т. п.

Увеличение контакта поверхности почвы с водой достигается, с одной стороны, за счет рассеянного поступления воды под полог

устройством распылителей стока, разрушением напашей, организацией стокоприемных горизонтальных приопушечных участков [395], устройством водозадерживающих препятствий внутри насаждения (земляных напашных или насыпаемых бульдозером валов, плетневых и иных запруд и т. д.). Предложение о сочетании насаждений с земляными валами было впервые сделано Докучаевской экспедицией Лесного департамента [129], а позже в несколько иной модификации А. С. Козменко [206]. Физическое задержание воды в насаждениях обеспечивается устройством запруд, земляных валов, канав и их сочетаний, созданием шурфов и лунок [305].

Из всех перечисленных приемов повышения водопоглощения в насаждениях наиболее эффективными признаны гидротехнические: земляные валы, канавы и их сочетания, устраиваемые, как правило, по нижним опушкам насаждений и реже – внутри их и по верхним опушкам. К последним относятся и прием обустройства напашей, защищенный авторским свидетельством [20].

Наиболее обстоятельная сводка материалов по применению средств усиления водопоглощения в ЛП за период 1959-1970 гг. выполнена Г. П. Сурмачем [362] и в соавторстве с ним Е. А. Гаршиным, В.И. Пановым, А. В. Котовым [371]. Материалы этих обобщений использованы в методических рекомендациях [268].

Основной вывод, который следует из обобщения имеющихся материалов по эффективности гидротехнических средств усиления водопоглощения, сводится к тому, что водопоглощение в лесополосах увеличивается в среднем до 1000-1200 мм, что при длине склона 500 м и ширине лесополосы 20 м обеспечивает, за вычетом примерно 150 мм собственных снегозапасов, сокращение слоя полевого стока на $[(850-1050) \cdot 20:500] = 34-42$ мм. В отдельные годы при водопоглощении 2000-5000 мм эта величина может быть намного больше (100 мм и более). Это означает, что для условий лесостепи при $W_c = 1000-1200$ мм регулируется средний слой стока примерно 30-50%-ной вероятности превышения; при $W_c = 2000-5000$ мм примерно 5-10%-ной, а в степной зоне на черноземах и каштановых почвах около 0,1-1%-ной вероятности превышения. Иными словами, территории с такими системами насаждений становятся практически бессточными.

Упомянутыми обобщениями не затронут ряд важных вопросов, в частности о повышении стокорегулирующей роли молодых насаждений, отличающихся низким водопоглощением, об эффективности взаи-

модействия гидротехнических сооружений со специфическими факторами водопоглощения под пологом насаждений, слабо экспериментально обоснованы параметры гидросооружений (особенно глубина канав), доля участия насаждения и гидросооружения в общем объеме регулирования стока. Нет также достаточно обоснованных данных о скорости инфильтрации и величине W_m в насаждениях с гидротехникой.

Кроме того, применение традиционного метода исследований – комбинированных стоковых площадок малых размеров с соотношением длин полевой и лесной частей обычно (100-150 м) : (10-20 м) – не обеспечивало достаточную нагрузку водой насаждений, что не позволяло выявить потенциальную величину водопоглощения в них. Естественно, что при полном поглощении в насаждении с гидротехникой всего объема воды полевого стока даже очень большой величины оставался открытым вопрос, каково же предельное значение водопоглощения в лесополосе. Так, если допустить, что при талой почве в канаве может быть инфильтрация со скоростью 2 мм/мин, то при круглосуточном просачивании в течение 5 дней может просочиться 14400 мм воды, а за 10 дней почти 30000 мм; это почти на порядок превышает средние оценки.

Обратимся к экспериментальным данным для ответа на поставленные вопросы.

Материалы собственных исследований и вся исходная доступная литературная информация о влиянии различных средств на усиление водопоглощения в лесных полосах сведены в приложении 3 (500 годо-площадок). На рис. 1.26 помещена часть данных об эффективности гидротехнических устройств – валов и валов в сочетании с канавами.

Проанализируем имеющуюся информацию. Сначала отметим наиболее общие закономерности.

Водопоглощение в лесных насаждениях, усиленных различными средствами, описывается той же функцией, что и в насаждениях без средств усиления, заметно отличаясь величиной параметра W_m , который в отдельных случаях достигает огромных величин: 50-60 (до 130) в групповых и до 300-400 тыс. мм в индивидуальных определениях. Это обстоятельство нуждается в комментарии. При 5-10-дневной продолжительности весеннего паводка и круглосуточном просачивании указанные величины W_m соответствуют среднесуточной инфильтрации от 3,5-8,3 до 20-60 мм/мин. Столь высокие величины, хотя и имеют место в природе, но характерны для крупнозернистых грунтов

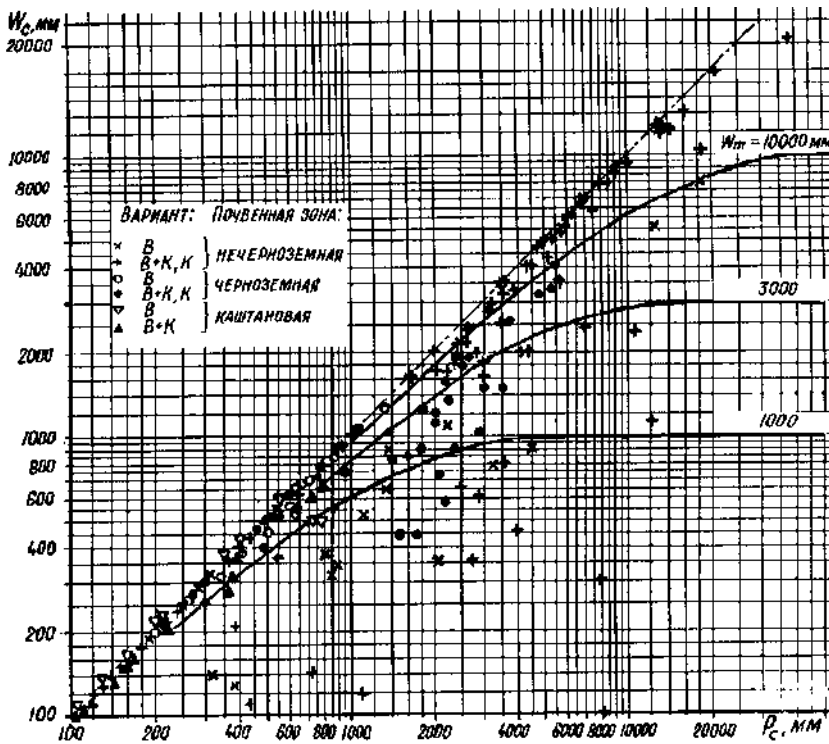


Рис. 1.26. Связь подтока талых вод P_c и суммарного водопоглощения W_c на вариантах сочетания лесных полос с валами (В), канавами (К) и валами в сочетании с канавами (В + К) в разных почвенных зонах

(пески с диаметром зерен 0,5-1 мм). Для объекта в Б. Зеренках на Новосильской ЗАГЛОС, где часть канав, особенно в узкой (4 м) ЛП, выходит дном на мергели девона, при непосредственных измерениях падения уровня воды в канавах скорость инфильтрации составляла иногда величину до 20-22 мм/мин. (В ходе эксперимента по мере отложения в канавах сносимого с поля мелкозема и обрушения стенок водопроницаемость снизилась до 2-3 мм/мин.) Для суглинков же этого объекта и черноземов ОППХ ВНИИЗиЗПЭ отмечена скорость инфильтрации до 3-8 мм/мин (см. рис. 1.25а). Для этих же объектов величины фактического водопоглощения W_c составили 9-10, максимум 21-27 тыс. мм за паводок. Изложенное позволяет считать величины W_m порядка 50-60 тыс. мм вполне реальными. Вместе с тем некоторые особенности водопоглощения в насаждениях, особенно при наличии гидротехники, а также оперирование с интегральными за период паводка величинами суммарного водопоглощения могут привести к существенному завышению величины W_m . Поясним примером. Если в насаждение в течение 5 дней ежедневно поступало 2000 мм (2 м) воды и она, не доходя до нижнего водослива опытной делянки (ОД), полностью поглощалась, то логично предположить, что величина $W_m = 10000$ мм. Если же в один из дней через нижний водослив перелился объем воды, эквивалентный 100 мм в расчете на площадь ОД, то очевидно: $W_m = 9900$ мм. Однако расчет W_m

по выражению (1.6) приводит в этом случае к величине примерно 250000 мм. Если сток с ОД был равен 1000 мм, то $W_m \approx 50000$ мм. В случае же, если подток составил 10000 мм, сток 5000 мм, то фактическое водопоглощение $W_c = 5000$ мм, а по расчету $W_m = 6300$ мм, т. е. близко к реальному водопоглощению.

Пример показывает, что к оценкам W_m по выражению (1.6) следует подходить критически в случаях, когда ОД работали в ситуациях с малым подтоком и полным поглощением всей воды в течение большего периода весеннего паводка, за исключением некоторых редких дней (иногда часов и даже минут) с избыточным подтоком. То же самое имеет место при расчетах W_m для объектов за многолетний период, в котором большая часть весен была маловодной с полным поглощением воды подтока на ОД. Как показывают экспериментальные данные приложения 3, 30-75% всех годоплощадок с гидротехникой были "бессточными" ($W_c = P_c$), особенно в каштановой зоне и на вариантах В + К. Неучет этого обстоятельства может привести к большому завышению оценки W_m . Поэтому для случаев с очень большими величинами W_m и при большой доле годоплощадок с $W_c = P_c$ в приложении 3 приведены также величины W_c , полученные реально в эксперименте.

Обращает на себя внимание существенно иное распределение величины W_m по грациям K_{W_c} в сравнении с лесными насаждениями без приемов усиления водопоглощения (см. приложение 2): максимум W_m приходится на диапазон $K_{W_c} = 0,67-1,0$ (70-80% случаев и более). Это означает, что в усиленных лесополосах водопоглощение возрастает не только по абсолютной величине, но и в долях от подтока, т. е. возрастают одновременно эффект и эффективность стокорегулирования.

Следует отметить существенную неоднородность данных как по уже отмечавшимся ранее причинам (разные сроки наблюдений, недостаточная длина рядов наблюдений), так и из-за неодинаковой доли исследованных приемов в их общей массе. Максимальное количество данных имеется по эффективности валов и канав в сочетании с валами. Другие приемы (плетневые запруды, мульча, канавы с наполнителями) представлены отрывочными данными по незначительному количеству объектов и не во всех зонах. Кроме того, хотя количество годоплощадок в опытах с испытанием средств усиления лесополос и без них сопоставимо, но число объектов меньше и география их не столь обширна. Все это в совокупности ограничивает возможность получения статистически обоснованных параметров функции распре-

деления W_m , особенно в зональном аспекте. Эти же обстоятельства не позволяют выполнить группировку данных по литологическим характеристикам грунтов.

Несмотря на отмеченные ограничения в имеющейся информации, выполненное обобщение позволяет осветить ряд вопросов, расширяющих наши представления о водопоглощении и стокорегулирующем эффекте лесонасаждений при подтоке.

Гидротехнические приемы вне лесополос. Хотя они оценены экспериментально еще недостаточно, но имеющиеся данные позволяют утверждать, что гидротехника вне лесополос работает хуже, чем при сочетании с ними. Величины W_m для валов, канав и их сочетаний, хотя и достаточно велики, достигая 3-5 тыс. мм (до 14-24 тыс. мм), но скорее всего для варианта В + К в несколько раз завышены, поскольку расчет выполняется только на ширину канав (0,8 м). В действительности за счет подпора воды валом высотой 0,5-0,6 м ширина прудка перед ним обычно составляет 3-5 м, т. е. расчетные величины W_m могут быть в 3,75-6,25 раза меньше. Более объективной характеристикой является величина не абсолютного эффекта в мм, а относительной эффективности K_{wc} . Так, для 60-80% всех годовариантов с гидротехникой вне ЛП $K_{wc} = 0-0,33$. Для вариантов же сочетания ЛП с гидротехникой 60-80% годовариантов приходится на диапазон $K_{wc} = 0,67-1,00$.

Приемы усиления молодых лесополос. Опыты Е. А. Гаршинова и Т. Я. Зарудной в ОПХ ВНИИЗиЗПЭ в молодых лесополосах 1979 г. посадки выявили высокую эффективность мульчи, посева люпина, гидротехнических средств и их сочетаний [100]. По величине W_m 2-7-летние лесополосы практически не отличались от взрослых насаждений 30-40-летнего возраста. Аналогичные результаты получены и Я. К. Зарудным для лесополос посадки 1978 г. [154].

Ширина лесополос. Как фактор водопоглощения этот показатель специально оценивался лишь Н. Е. Новиковым на Новосильской ЗАГЛОС и Ю. В. Бондаренко в ОПХ ВНИАЛМИ (г. Волгоград). На Новосильской ЗАГЛОС по величине W_m отличались лишь варианты К и В + К при $B_n = 4$ м (2 ряда ЛП), повышенное водопоглощение на которых обусловлено относительно более высокой долей канав d в общей площади ЛП. При той же ширине лесополосы на варианте с валами обнаружен намного меньший эффект, сопоставимый с эффектом варианта В + К при $B_{лп} = 7$ и 10 м (3 и 4 ряда ЛП). При этом закономерного изменения эффекта системы ЛП + В + К в зависимости от

ширины ЛП не обнаружено, поскольку во всех случаях обеспечивалось сплошное затопление поверхности почвы в лесополосе. В ОПХ ВНИАЛМИ обвалование лесополос шириной 3, 6, 9 и 16,5 м выявило практически одинаковый эффект: $W_m = 640-750$ мм. Косвенно о несущественном влиянии ширины лесополосы на величину W_m свидетельствуют данные по ОПХ ВНИИЗиЗПЭ для лесополос шириной 3 м. Величины W_m для них, хотя и сильно варьируют, но их порядок примерно тот же, что и для более широких лесополос.

Породный состав и состояние насаждений. Влияния этих характеристик на поглощение талых вод в насаждениях, усиленных разными средствами, практически не изучено. Априорно и судя по эффективности мульчи и люпина можно ожидать, что насаждения в хорошем состоянии с подстилкой и скважной почвой повысят эффект обвалования за счет лучшего просачивания воды на затапливаемой площади лесополосы. Выявлено также, что вклад разных приемов в величину водопоглощения W_c разный: биологические средства (мульча) обеспечивают $\frac{1}{4}$, а гидротехника $\frac{1}{2}$ величины [98]. Однако можно ожидать, что с увеличением подтока это соотношение будет меняться.

Относительно более низкий эффект различных приемов повышения водопоглощения в каштановой зоне обусловлен, видимо, спецификой местных условий. Здесь часто днища канав залегали на слабопроницаемых грунтах (мелеттовые глины). Кроме того, из-за малых размеров полевых частей стоковых площадок их лесные части слабо загружались подтоком, что не позволяло дать оценку потенциального водопоглощения в большей части опытов. Тем не менее по отдельным объектам и в этой зоне получены высокие величины максимального водопоглощения (3-4 тыс. мм).

Сравнительная оценка приемов усиления водопоглощения. Данные приложения 3 по разным объектам с учетом специфики расчетов W_m , изложенной выше, позволяют выполнить обобщенные зональные оценки эффекта повышения максимального водопоглощения W_m различными приемами (табл. 1.21). Этот эффект в общем возрастает от группы так называемых "биологических" (мульча, посевы люпина, укладка хвороста в междурядьях и т. п.) к гидротехническим (валы, канавы и особенно их сочетание) и "биотехническим". Относительно низкий эффект биологических приемов обусловлен отчасти особенностями рядов наблюдений (коротких, 1-3 года), формированием в мульче ледяных прослоек в период оттепелей, а главным образом недостаточным

влиянием их на промерзание почвы. В этом отношении особенно высокий эффект канав и сочетания В + К обусловлен отсутствием промерзания в днищах канав глубиной около 1,5 м. Кроме того, здесь, по видимому, играет роль гидростатический напор воды в емкостях валов и канав. Отдельные немногочисленные результаты экспериментов в Западной Сибири (Алтайский край) и в ОПХ Новосильской ЗАГЛОС показали, что мелкие канавы глубиной 0,5-1,0 м вследствие промерзания днищ и особенно при заполнении их льдом после зимних оттепелей практически не поглощают талую воду. Таким образом, высказанное Г. П. Сурмачем положение, что глубина канавы должна быть не меньше глубины проникновения отрицательных температур в почву, получило свое подтверждение и находится в соответствии с концепцией формирования неводопроницаемого ледяного экрана.

Таблица 1.21

Осредненные зональные величины весеннего максимального водопоглощения W_m для различных приемов усиления водопоглощения в лесных полосах

Приемы усиления водопоглощения	W_m , мм, по зонам		
	нечерноземная	черноземная	каштановая
Биологические (в междурядьях):			
мульча (солома)	100	500	100
люпин	-	800	-
хворост	-	-	300
Гидротехнические:			
борозды	1100	-	-
валы: вне ЛП	1200	-	-
в ЛП	2200	3300 (9500)	900
канавы: вне ЛП	1500	-	-
в ЛП	3100 (17000)	3600	-
валы + канавы: вне ЛП	2200 (7000)	2600	-
в ЛП	3800	4400	2300
Сочетание биологических и гидротехнических:			
плетневые запруды	-	-	1100
валы + канавы + (мульча, люпин)	-	5000 ^{x)} (12000)	-

Примечание. ^{x)} фактическое среднее водопоглощение W_c ; в скобках – с учетом экстремально высоких значений W_m .

Что касается приемов заполнения канав соломой, хворостом, шлаком, породой терриконов и т. п., обстоятельно изучавшихся В. М. Ивоным [170], то полученные результаты не позволяют вынести однозначного суждения об их положительном эффекте: в одних случаях эффект невелик, в других нулевой и даже отрицательный. Это подтверждает тезис Г. П. Сурмача, что под пологом насаждения заполнение канавы снегом обеспечивает хорошую теплоизоляцию дна и предохраняет его от промерзания. Даже открытые канавы, как правило, не промерзают вследствие резкого ослабления движения воздуха и теплообмена под пологом насаждения. Однако рыхлое заполнение (плотное заполнение снижает водопроницаемость) канав или емкости прудков перед валами порубочными остатками, посев мульчирующих растений улучшают условия жизнедеятельности почвенной мезофауны, что в конечном итоге повышает водопроницаемость почвы.

Почвенно-климатические зональные факторы водопоглощения. Их влияние существенно менее значимо, чем различных приемов. Тем не менее для гидротехники (В, В + К) максимальные величины W_m отмечены в черноземной зоне, несколько меньшие – в нечерноземной и минимальные – в каштановой. Эти различия невелики (за исключением варианта с обвалованием в каштановой зоне) и вполне могут быть объяснены вариацией неучтенных факторов (гранулометрия, состояние насаждений, особенности снегоотложения, промерзания почвы и т. п.). Вместе с тем можно ожидать, что в черноземной зоне при меньшем промерзании почвы и лучших ее водно-физических свойствах потенциальное водопоглощение может быть выше, чем в нечерноземной.

Повышение величин максимального водопоглощения при совмещении лесополос с валами и канавами в среднем до 2300-4400 мм и часто до 10000 мм и более не только обеспечивает более высокое стокорегулирование в годы повышенной водности, но и повышает надежность работы лесных полос в тех случаях, когда их трассы на некоторой части значительно отклоняются от горизонталей. Это позволяет более гибко подходить к проектированию систем контурных рубежей.

В каштановой зоне эффект приемов усиления водопоглощения в лесополосах обусловлен скорее всего указанными выше специфическими условиями, т. е. занижен. Об этом свидетельствует довольно высокий эффект плетневых запруд в сравнении с эффектом борозд, канав и валов в нечерноземной зоне. Кроме того, поскольку в каштановой зоне продолжительность паводков меньше, чем в более север-

ных зонах, то величины средней интенсивности весенней инфильтрации здесь примерно того же порядка.

В целом же приемы усиления водопоглощения в лесополосах существенно повышают их стокорегулирующую роль, о чем свидетельствуют результаты расчетов, помещенные в табл. 1.22.

Таблица 1.22

Суммарное водопоглощение W_c и слой сокращения полевого стока ΔS_{Π} лесополосами в сочетании с канавами и валами при полевом стоке S_{Π} разной вероятности превышения, мм

Зона	$p\%$	S_{Π}	L_{Π}/B_{Π}					
			500/20		500/10		500/5	
			W_c	ΔS_{Π}	W_c	ΔS_{Π}	W_c	ΔS_{Π}
Нечерноземная	30-40	50	1100	39	1800	35	2800	27
	10	90	1700	64	2600	51	3400	33
	5	120	2100	79	3000	58	3600	35
	1	170	2600	98	3400	66	3800	36
Черноземная	40	35	790	28	1400	27	2400	23
	10	70	1400	54	2400	46	3500	34
	5	90	1800	66	2800	54	3800	37
	1	120	2200	83	3300	63	4100	40
Каштановая	40-50	12	280	7	530	9	930	8
	10	40	810	28	1300	25	1900	18
	5	50	960	35	1500	28	2000	19
	1	80	1300	49	1900	36	2200	21

Примечание. В почвенно-климатических зонах приняты следующие величины W_m : в нечерноземной 3800, черноземной 4400, каштановой 2300, мм.

Данные табл. 1.22 вскрывают ряд важных обстоятельств. Во-первых, увеличивается в 1,3-1,75 раза стокорегулирующий эффект при средних условиях водности весен, особенно в сухостепной зоне (см. приложение 3). Во-вторых, существенно возрастает стокорегулирующий эффект узких лесополос. В-третьих, повышение потенциального водопоглощения увеличивает его резерв, и в годы с высокой водностью весен слой регулируемого полевого стока многократно возрастает (до 50-100 мм) в сравнении со средневодными годами (10-40 мм). Все это в совокупности повышает надежность систем стокорегулирующих лесополос, особенно в экстремальных ситуациях, когда эффект большинства стокорегулирующих приемов снижается.

Иными словами, максимальный эффект системы "ЛП + гидротехника" проявляется при экстремальных стоковых нагрузках. Это уникальное качество системы делает ее незаменимым средством гашения катастрофических паводков.

Отметим еще одно важное обстоятельство. Вследствие естественной вариации величины W_m его значения в конкретный год изменяются в широких пределах по трассе лесополосы. При этом на наклонных участках потенциал стокорегулирования уменьшается, а на горизонтальных и при пересечении ложбин возрастает. Здесь благодаря варьированию W_m формируются участки с очень высоким водопоглощением. Они служат своеобразным демпфером, смягчающим стокоударный эффект. Таким образом, нежелательные последствия неизбежного отклонения трасс лесополос от горизонталей могут быть существенно уменьшены. Кроме того, поскольку увеличение ширины ЛП сильно повышает стокорегулирующий эффект, то в нижних частях склонов, где их горизонтальное размещение наиболее затруднено, увеличение ширины ЛП позволяет резко повысить надежность системы, особенно при неизбежных лавинных эффектах сброса воды с вышележащих склонов вследствие вероятных разрушений гидросооружений в ЛП.

1.3.3. Пространственная стокорегулирующая функция лесонасаждений

Повышенные снегозапасы в приопушечной полевой (шлейфовой) зоне, уменьшение вследствие этого промерзания почвы, увеличение ее впитывающей способности обеспечивают пространственный стокорегулирующий эффект лесонасаждений. В то же время увеличение снегозапасов способствует усилению стока. Баланс этих двух противоположных явлений изучен очень слабо. Имеются отдельные результаты кратковременных экспериментов на стоковых площадках, выполненных Е. А. Гаршиным в ОПХ Новосильской ЗАГЛОС и под его руководством С. И. Шкулевым в к-зе им. Ленина Сосновского р-на Тамбовской обл. В. Н. Дьяковым такая оценка полученная в к-зе "Прогресс" Фатежского р-на Курской обл. [140]. Кроме того, с использованием метода подтока под руководством автора выполнена оценка водопоглощения в шлейфовой зоне лесополос на Клетском оп. пункте А. В. Терешкиным и Ю. М. Суковатовым, а также О. В. Ложкиной и А. П. Ложкиным в ОПХ Новосильской ЗАГЛОС, в Алтай-

ском крае В. М. Лешиним (1988, 1989 гг.), М. В. Арнаутовым (1990 г.) при участии С. Г. Кириченко и В. М. Уварова. Обратимся к анализу полученной информации в сопоставлении со стокорегулирующим эффектом участков склонов вне шлейфовой зоны.

Водопоглощение вне зоны снежных шлейфов. Рассмотренные в разд. 1.2.1 материалы дают оценку вероятности формирования стока, поступающего со склонов в шлейфовую часть насаждений и под их полог. Они характеризуют приход (подток) талых вод. Однако в связи с общей проблемой стокорегулирования представляет интерес их рассмотрение в аспекте теории водопоглощения. Связь осадков (снегозапасов $h_{\text{сн}}$) с величиной их инфильтрации W и максимальным водопоглощением W_m для основных видов угодий в зональном плане представлена на рис. 1.27. Кривые связи $W(h_{\text{сн}})$ в целом аналогичны

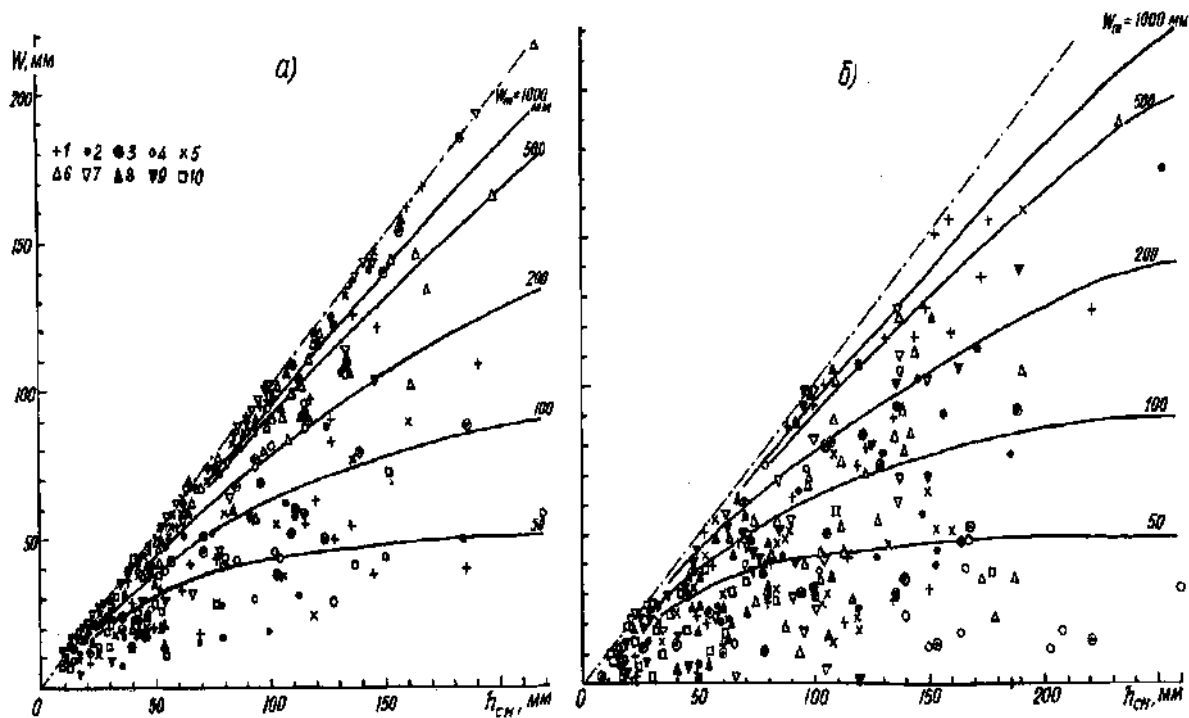


Рис. 1.27. Зависимость инфильтрации талых вод в почву W от снегозапасов $h_{\text{сн}}$ на зяби (а) и уплотненной пашне (б). Использованы данные Барбанова А. Т. [25, с. 32-38]. Здесь и на рис. 1.28:

1 – Орловская обл., серая лесная почва; 2 – Курская обл., темно-серая лесная почва; 3 – Курская обл., выщелоченный чернозем; 4 – Алтайский край, выщелоченный чернозем; 5 – Воронежская обл., обыкновенный чернозем; 6 – Самарская обл., обыкновенный чернозем; 7 – Саратовская обл., южный чернозем и темно-каштановая почва; 8, 9 – Волгоградская обл., каштановая, светлокаштановая почва; 10 – Ростовская обл., североприазовский чернозем

проанализированным выше связям водопоглощения с подтоком талых вод в насаждения. Выполненные на основе связи $W(h_{\text{сн}})$ определения индивидуальных величин W_m позволяют дать их вероятностную оценку (табл. 1.23, рис. 1.28).

Проанализируем полученные результаты более обстоятельно с учетом того, что показатель W_m в рассматриваемой трактовке теории водопоглощения применяется впервые для оценки стокорегулирующего эффекта агрофонов. Прежде всего следует отметить наличие прямой связи между традиционно определяемым слоем инфильтрации талых вод (W в табл. 1.23) и величиной W_m . Для зяби эта связь имеет вид $\bar{W}_m = -433 + 15,5W$ ($r = 0,74 \pm 0,24$), для уплотненной пашни – $\bar{W}_m = 40 + 30W$ ($r = 0,70 \pm 0,27$). Это означает, что параметр W_m адекватно оценивает инфильтрационную способность почвы. Обращает на себя внимание, что величина W_m многократно больше величины реальной инфильтрации, достигает сотен и даже превышает тысячу мм. Возникает естественный вопрос, какова суть этой характеристики, если реальная инфильтрация в среднем меньше 100 мм. Следует заметить, во-первых, что примерно в половине всех пунктов для уплотненной пашни величины W_m и W примерно одного порядка, сильно различаются лишь на более водопроницаемой зяби. Во-вторых, величина W_m соответствует условиям сплошного затопления поверхности почвы водой, которое имеет место лишь в экспериментах с заливаемыми рамами и кольцами. Именно с результатами этих экспериментов и следует сравнивать величину W_m . По данным разных авторов, скорость инфильтрации воды в мерзлую почву варьирует от 0-0,001 до 0,1-1,0 мм/мин и более, т. е. за период стока 10 дней при 10-часовом дневном снеготаянии слой инфильтрации может составлять от 6 мм при $w = 0,001$ мм/мин до 6000 мм при $w = 1$ мм/мин, что вполне охватывает диапазон значений W_m вплоть до вероятности превышения 1%. С другой стороны, при слое реальной инфильтрации $W = 35-96$ мм интенсивность впитывания в среднем за 10 дней составит 0,006-0,016 мм/мин. Для W_m в диапазоне 69-1260 мм эта величина будет составлять 0,012-0,21 мм/мин, т. е. в 2-13 раз больше на границах диапазонов, что представляется довольно вероятным. В-третьих, величина W_m служит характеристикой впитывания во всех тех случаях, когда на пахотных склонах формируются прудки воды при устройстве водонаправляющих и водозадерживающих валов, по днищам ложбин и т.п.

Таблица 1.23

Параметры и величины разной вероятности функции превышения максимального водопоглощения W_m на зяби (I) и уплотненной пашне (II) вне зоны снежных шлейфов лесополос

Область, край, почвы	Агрофон	Показатели водопоглощения при вероятности превышения, %								C_v	C_s	\bar{W}_m	$\bar{W}^{(x)}$
		при вероятности											
		1	5	10	25	30	50	75	75				
Алтайский, оподзоленный чернозем	I	1100	640	460	240	190	81	7	1,4	2,4	160	57	
	II	900	550	400	210	160	56	-	1,8	2,0	120	43	
Орловская, серая лесная	I	2800	1600	1100	460	390	85	-	2,0	2,6	320	73	
	II	3700	2000	1400	590	400	50	-	2,2	3,5	380	69	
Курская: темно-серая лесная	I	2600	1400	920	370	240	-	-	2,6	3,6	220	48	
	II	340	240	190	130	110	70	28	0,91	1,3	87	52	
чернозем выщелоченный	I	6300	3400	2200	930	620	10	-	2,5	3,0	580	71	
	II	560	340	240	110	100	44	11	1,4	2,6	89	36	
Воронежская, чернозем обыкновенный	I	8300	4500	3000	1200	790	-	-	2,6	3,7	740	62	
	II	670	380	260	120	89	28	-	1,7	3,8	86	47	
Самарская, чернозем обыкновенный	I	7800	4800	3500	1900	1600	690	55	1,4	2,2	1260	96	
	II	1300	810	600	330	270	120	6	1,4	2,1	210	82	
Саратовская, чернозем южный, темно-каштановая	I	4500	3000	2400	1400	1200	560	-	1,4	1,3	800	79	
	II	2400	1300	860	370	260	33	-	2,2	3,5	240	53	
Волгоградская: каштановая	I	4200	2500	1800	970	780	330	43	1,4	2,4	660	54	
	II	5500	3000	1900	780	500	-	-	2,7	3,5	460	41	
светло-каштановая	I	3500	2200	1700	920	770	310	-	1,6	1,7	540	43	
	II	1800	1000	650	260	170	-	-	2,7	4,6	160	44	
Ростовская, чернозем североприазовский	I	360	250	190	120	100	60	18	1,1	1,5	80	43	
	II	570	320	220	100	73	19	-	1,8	3,5	69	35	

Примечание. ^{x)} величина средней фактической инфильтрации талой воды в почву (разность снегозапасов и стока) – по данным наблюдений на стоковых площадках [25].

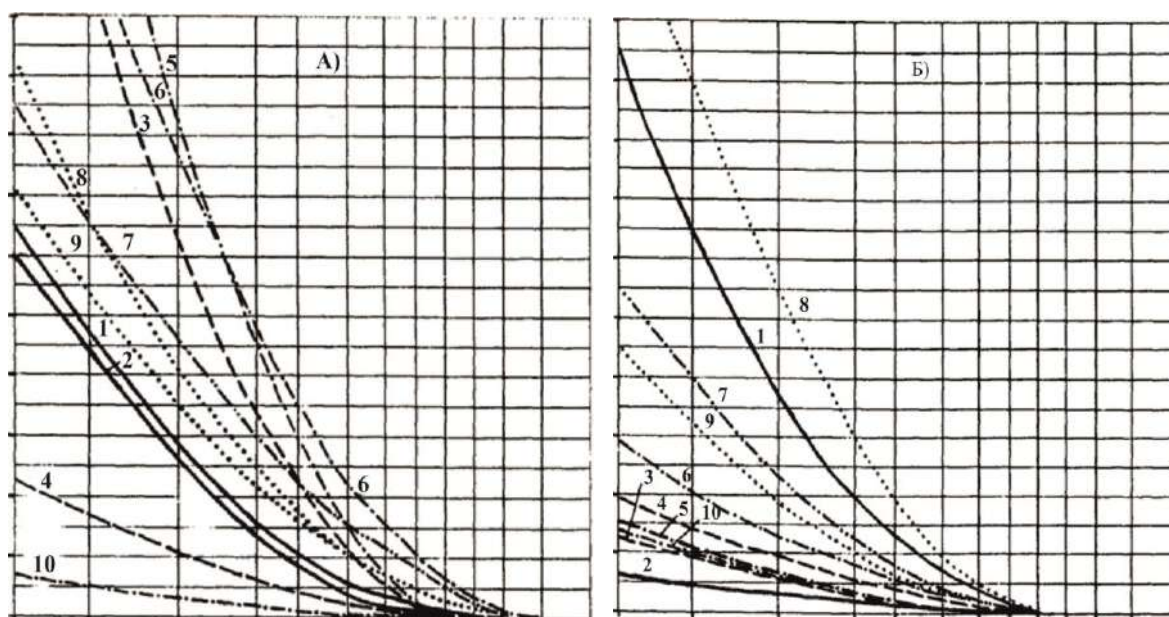


Рис. 1.28. Кривые вероятности превышения p максимального водопоглощения W_m на зяби (А) и уплотненной пашне (Б)

Что касается зональных особенностей изменения величины W_m , то в целом она на зяби возрастает в том же направлении, в котором возрастает инфильтрация и уменьшается слой стока талых вод, т. е. от нечерноземной зоны к черноземной, и несколько уменьшается от черноземов к почвам каштановой зоны. Для уплотненной пашни тенденция примерно та же, но выражена слабее с необъяснимыми отклонениями на темно-серых лесных почвах Орловской обл. Новосильской ЗАГЛОС и каштановых почвах. Возможно, для ОПХ Новосильской ЗАГЛОС это обусловлено сильным маловодьем периода 1975-1985 гг.

Водопоглощение в зоне снежных шлейфов. В приложениях 4 и 5 сведены имеющиеся экспериментальные данные о гидрологической роли снежных шлейфов молодых и средневозрастных ЛП. Разновременность периодов исследований, неодинаковая их продолжительность, вариация погодных условий осенне-зимне-весенних периодов обуславливают неоднородность данных и затрудняют получение надежных статистических оценок гидрологических характеристик. Тем не менее полученные материалы позволяют вскрыть некоторые важные особенности работы снежных шлейфов при поглощении талой воды.

Так, данные приложения 4 показывают, что величина W_m в шлейфах может быть как выше, так и ниже, чем за их пределами. В среднем же она заметно больше под шлейфами. Это означает, что

шлейфовая часть межполосного пространства, находясь в зоне перехода от открытого поля с пониженной инфильтрационной способностью почвы к лесному насаждению с высокой инфильтрацией влаги в почву, не просто занимает промежуточное положение между этими двумя крайностями, а имеет специфический режим, который может быть даже менее благоприятным для поглощения талых вод, чем в открытом поле. Это обычно обусловлено пониженными снегозапасами в приопушечной части продуваемых ЛП. Здесь почва сильнее промерзает и переувлажняется при зимних оттепелях. При слабом промерзании почвы под шлейфами величины W_m сопоставимы с такими под пологом насаждений (к-з им. Ленина Сосновского р-на Тамбовской обл.). В целом же потенциальная величина водопоглощения в шлейфовой зоне выше, чем вне шлейфов, как по абсолютным (W_m), так и по относительным (K_{Wc}) характеристикам.

Данные приложения 5 позволяют дать дифференцированную оценку различных зон (ярусов) шлейфов и их работы при подтоке талых вод.

Здесь проявляются новые закономерности. Так, при подтоке величина водопоглощения, как правило, возрастает в соответствии с рассмотренной ранее зависимостью $W_c(P_c)$ для лесных насаждений, подтверждая тем самым ее универсальность. Возрастает и величина W_m , что логично, учитывая обычно меньшее промерзание почвы под шлейфами. Связь величин P_c и W_m свидетельствует, по-видимому, об обусловленности W_m теплообменом (см. разд. 1.3.2.). Вместе с тем при подтоке величина K_{Wc} , как правило, уменьшается. Таким образом возникает противоречие: эффект водопоглощения (W_c и W_m) возрастает, а эффективность (K_{Wc} – доля поглощения подтока) падает. Это означает, что прирост водопоглощения отстает от прироста подтока. Хотя слой регулируемого шлейфом полевого стока сопоставим с величиной регулируемого лесным насаждением (в среднем 5-25 мм, максимум 40-70 мм) и возрастает вместе с массой поступающей в шлейф воды, но при этом возрастает величина сбрасываемой из него части воды.

Анализ и обобщение совокупности рассмотренных данных позволяют сделать ряд важных в практическом плане заключений.

1. Снежные шлейфы у опушек лесных полос в целом служат средством поглощения поступающего с поля талого стока. Вместе с тем при неблагоприятных погодных условиях, пониженных снегозапасах, переувлажнении и глубоком промерзании почвы в близких к

продуваемым ЛП зонах водопоглощение снижается и может происходить повышенный сброс талых вод, что особенно опасно при размещении ЛП вдоль склона.

2. Учитывая, что W_m в зоне снежного шлейфа превышает W_m вне шлейфа в 2,3-2,8 раза, среднюю оценку можно принять по данным табл. 1.23 с коэффициентом примерно 2,5, т. е. на уровне 170-3200 мм в зависимости от агрофона и почвенно-климатической зоны. В большинстве же случаев она составляет около 1200-2000 мм, т. е. сопоставима с величиной W_m для лесных насаждений без подтока. Что касается ширины шлейфовой зоны с повышенным водопоглощением, то она связана с высотой насаждения и кратна обычно 5-6 его высотам и 2-3 для наиболее гидрологически эффективной части.

3. Повышенное водопоглощение в зоне снежных шлейфов, сопоставимое с величиной водопоглощения под ЛП, обуславливает необходимость максимального использования их стокорегулирующих функций, что обеспечит минимальное отчуждение пашни и других сельхозугодий под ЛП. Меры по повышению водопоглощения в снежных шлейфах наиболее перспективно осуществлять в направлении уменьшения здесь промерзания почвы и ее переувлажнения. Этому способствует рациональное (не избыточное) снегонакопление, оставление высокой стерни, применение кулисных растений, глубокое рыхление почвы, ее мульчирование пожнивными остатками. Важно обеспечить сплошное затопление водой поверхности почвы под снежным шлейфом, что дает максимальный стокорегулирующий эффект и минимальную нагрузку на нижележащие стокорегулирующие насаждения.

4. Повышению стокорегулирующей эффективности снежных шлейфов будут способствовать мероприятия по максимальному сохранению на месте выпадающих на внешлейфовые части межполосного пространства осадков. Это обеспечит их большее поглощение на месте и уменьшит нагрузку на зоны водопоглощения в шлейфах и ЛП.

Благоприятные условия усвоения талых вод под снежными шлейфами способствуют повышению стокорегулирующего эффекта агротехнических приемов [1, 50, 227-229]. Таким образом, возрастает в целом стокорегулирующий эффект всего комплекса лесомелиоративных, гидротехнических и агротехнических мероприятий.

1.4. Антропогенная эволюция эрозионно-гидрологического процесса и система почвоводоохранных мероприятий

1.4.1. Общая стратегия антропогенного управления эрозионно-гидрологическим процессом

Рассмотренные в предыдущих разделах материалы позволяют сделать ряд важных заключений об антропогенной эволюции ЭГП ландшафтов, ее количественных характеристик, причинах и последствиях изменений, выявить и объяснить логику и дать критический анализ действий по ограничению неблагоприятных последствий вмешательства человека в природу.

При всей сложности и многообразии процессов, определяющих естественный эрозионно-гидрологический режим территории и его антропогенную эволюцию, есть два взаимосвязанных и взаимообусловленных фактора, играющих решающую роль. В естественном ландшафте рассредоточено по всей территории функционировал весьма совершенный и надежный "почвоводоохранный механизм", обусловленный двуединой совокупностью высокой инфильтрационной способности почв и исключительной противозэрозионной стойкости степного войлока, дернины, лесной подстилки и структуры почв. Этот механизм по своей природе был биологическим (биоэкологическим) и никаким другим быть не мог. Важно также понимание того, что высокая водопроницаемость почв и противозэрозионная устойчивость девственных ландшафтов, хотя и взаимообусловлены, неразрывно взаимосвязаны, но неравноценны. Их взаимосвязанность означает, что растительность и фауна формируют совершенную почвенную структуру и высокую водопроницаемость, которые, в свою очередь, обеспечивают благоприятные условия для жизнедеятельности растений и обитающих в почве животных. Неравноценность же означает, что водопроницаемость почвы и ее устойчивость к эрозии влияют на разные стороны ЭГП.

Поясним примерами. Очевидно, что при "провальном" водопоглощении (и отсутствии вследствие этого поверхностного стока) эрозии не может быть, так как нет главного "действующего лица" – самого агента эрозии. При этом неважно, обладает ли субстрат высокой противозэрозионной способностью или ее нет вовсе.

С другой стороны, степной войлок, лесная подстилка и дернина имеют высокую противозэрозионную устойчивость даже при значи-

тельном стоке. В обычной же ситуации при нормальном естественном, т. е. слабом и умеренном, стоке они обеспечивают почвозащиту с высоким запасом надежности.

Ситуация резко меняется при антропогенном вмешательстве. В условиях хозяйственной, особенно земледельческой, деятельности происходит разрушение естественного напочвенного покрова и дернины на пахотных склонах вследствие обработки почвы, их деградация при выпасе скота (преимущественно на землях гидрографического фонда), ухудшение жизнедеятельности почвенной фауны. Это сопровождается деградацией почвенной структуры (снижение водопропускности и, как следствие, ее распыление), что уменьшает водопроницаемость почвы, усиливает вследствие этого поверхностный сток, а снижение противозерозионной устойчивости почвы обуславливает современную (сельскохозяйственную, антропогенную) эрозию. Именно снижение противозерозионной устойчивости почв, а не усиление стока играет главную роль. Это определяет первоочередную направленность мелиорирующей деятельности.

Таким образом, антропогенная эволюция естественных ландшафтов в условиях земледелия привела к одновременному ухудшению двух важнейших характеристик почвы – гидрологической (водопроницаемость) и почвозащитной (напочвенного покрова и дернины). Иначе и не могло быть в силу их взаимообусловленности, а также самой сути земледелия, как "возделывания" земли, ее обработки. Такова вкратце в самых общих чертах качественная картина хода земледельческой деградации ландшафтов, приводящей к известным неблагоприятным последствиям – ухудшению влагообеспеченности растений, уменьшению запасов и дебита грунтовых вод, разрушительным весенним половодьям и низким меженным расходам рек, снижению плодородия (за счет невосполняемых потерь гумуса при обработках почвы, отчуждения с полей биомассы и из-за эрозии), заилению речных пойм, заносу русел рек аллювием (обмеление рек и занос мелкоземом верховьев малых рек) и т. п., т. е. в конечном счете к разрушению среды обитания человека.

Все это привело к необходимости разработки мер, снижающих вредоносность последствий нерационального хозяйствования [350]. Первоначально их разработка осуществлялась стихийно, без должного научного обоснования. Логика первых стокорегулирующих и почвозащитных мероприятий определялась не столько воздействием на

причинную суть процесса, сколько локализацией его последствий. Одной из таких мер было высказанное еще в XVIII в. первым русским профессором земледелия М. И. Афониним предложение проводить на полях поперек склона частые "водяные борозды", чтоб стекающие воды не могли "так скоро смыть и свести жирность" [23, с. 22]. Ту же роль должны были выполнять "маленькие" борозды и "лощинки" у вершин оврагов А. Т. Болотова [43]; бороздование и крестование, применявшиеся в 1840 г. Н. Н. Шишкой [18]; горизонтальные валики для "задержания" снеговых вод П. В. Янковского [414], испытывавшиеся экспедицией В. В. Докучаева; валы В. М. Борткевича [52] и современные системы "контурно-мелиоративного земледелия" [156, 210, 240, 332, 381, 409 и др.]. Наиболее общим существенным моментом, объединяющим всю эту группу мер, является их нацеленность на поверхностное задержание стекающих вод, т. е. той части их непоглощенного избытка, которая формируется за счет снижения инфильтрации. Повышение и восстановление ее и должно быть главной целью стокорегулирующих мероприятий, что с очевидностью следует из теории процесса инфильтрации [95, разд. 2.2.1].

В последующем арсенал мелиоративных мероприятий был существенно расширен за счет приемов, направленных на повышение как инфильтрации, так и противоэрозионной устойчивости почв. Классификационная схема современных стокорегулирующих и противоэрозионных мероприятий автора с некоторыми дополнениями А. Т. Барабанова представлена на рис. 1.29 [96, 97], а для присетевого и гидрографического фондов – на рис. 1.30 [266]. Эти антропогенные биологические и технические средства воздействия на ЭГП в своей основе или полностью базируются на использовании естественных факторов – средств управления ЭГП (сплошное облесение и травосеяние, мульчирование, оструктуривание травосеянием, микрорельеф, инокуляция беспозвоночных), – или имитируют естественные факторы (химические почвоулучшители), или являются гипертрофированными подобиями естественных факторов (валы и каналы, шурфы и скважины, пруды). Особую группу составляют так называемые контурные приемы (вспашка поперек склона и по контуру, полосные посеы, горизонтальные валы, террасы, лесополосы). Естественный почвоводоохраный механизм был неконтурным (за редким исключением), ибо контурность (горизонтальность) границ лесных и травянистых сообществ в природе была скорее исключением, а не правилом

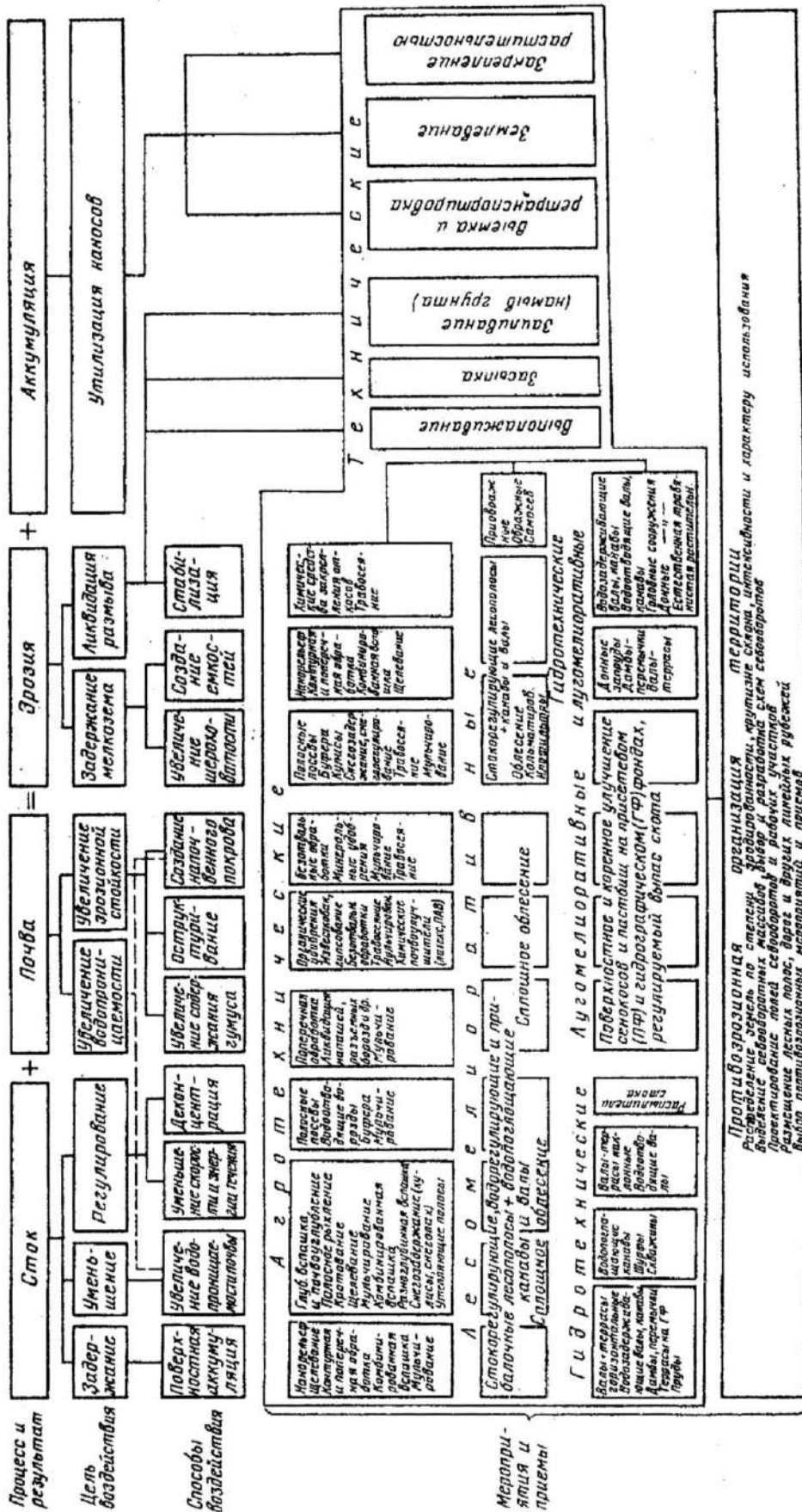


Рис. 1.29. Классификационная схема системы противоэрозионных приемов

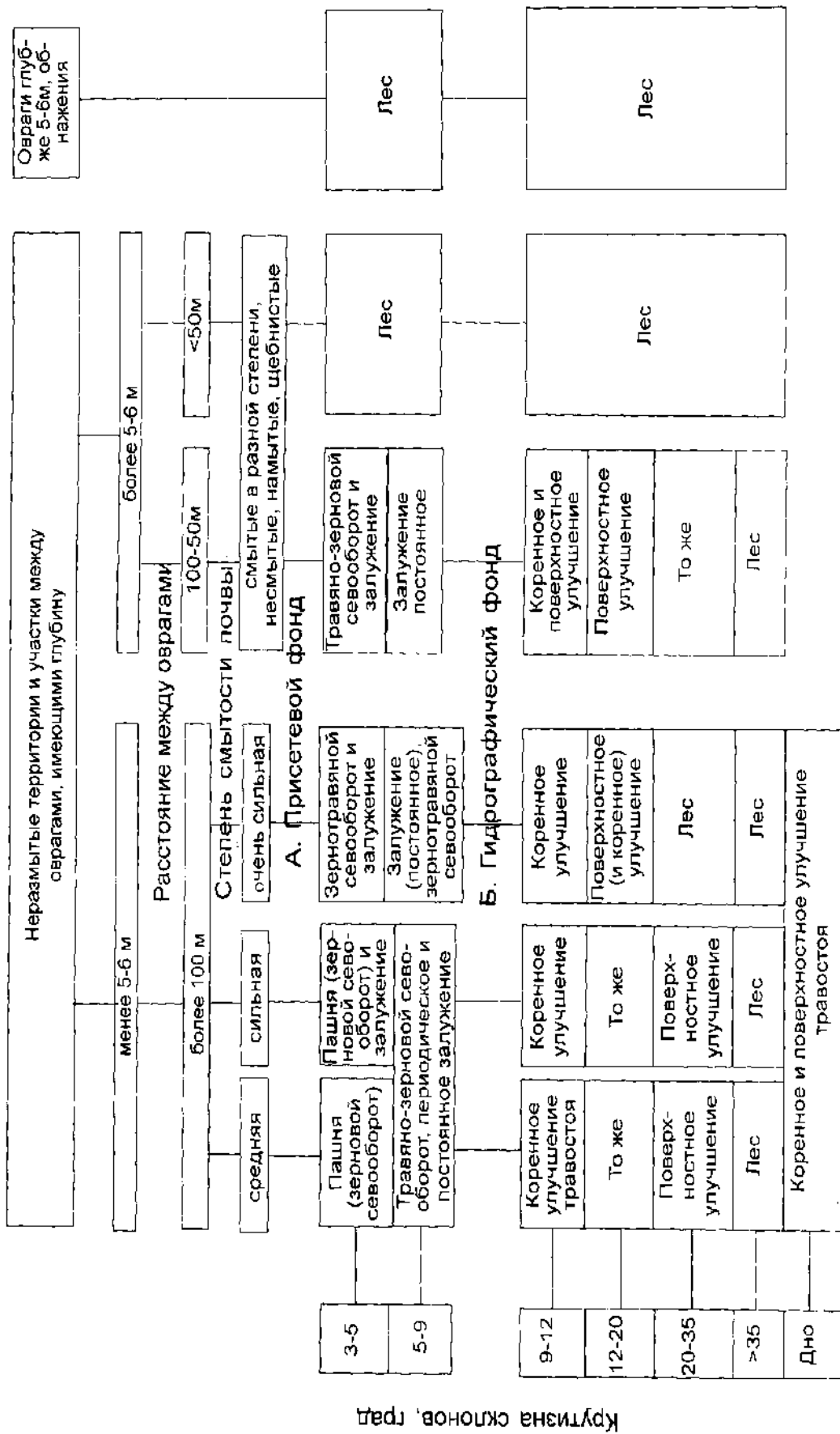


Рис. 1.30. Схема для определения способа хозяйственного использования земель присетевой и гидрографического фондов

Кривизна склонов, град

[84]. Кроме того, поверхностное задержание воды, на которое принципиально рассчитаны контурные приемы, было в природе рассредоточено более или менее равномерно по территории (за исключением, очевидно, русловых потоков и формирования местных локальных прудков воды при таянии снежных сугробов в степи и у опушек лесных насаждений).

Таким образом, налицо стихийное и сознательное копирование антропогенными приемами естественных средств регулирования ЭГП. Это очень важное обстоятельство, определяющее стратегию и тактику систем антропогенных почвозащитных мероприятий. Оно важно потому, что, с одной стороны, подчеркивает человеческую деятельность по глубинной своей сущности, осуществляемую в русле естественных процессов, а с другой – рассеивает вредную иллюзию, что человек может изобрести и создать некую особую "искусственную", "оцивилизованную" природу, не уступающую естественной или даже превосходящую ее по своим параметрам и совершенству взаимосвязей. Однако не следует впадать и в другую крайность, полагая, что борьба с антропогенной эрозией в условиях земледелия должна и может идти по пути если не полного восстановления, то хотя бы максимального приближения к тому сочетанию естественных условий, которые имели место в доземледельческий период. Возможность такой перспективы означает создание "неконтурной" системы почвозащиты хотя бы в принципе. Во всяком случае именно на этом базируются подходы к построению систем, преследующие главным образом две цели – улучшить водно-физические свойства обрабатываемых почв и имитировать напочвенный покров. К ним относятся окультуривание пахотного слоя (рыхление в сочетании с внесением органики), сохранение пожнивных остатков и мульчирование (особенно при минимизации обработок почвы), травосеяние (в частности, постоянное залужение), сплошное и куртинное облесение, искусственное оструктуривание и т. п. Очевидно, если этими приемами достижимо снижение эрозии до допустимых пределов, то вопрос о контурности не возникнет, ибо контурность по самой сути нацелена на задержание того избытка воды, который не может быть поглощен на склонах и сбрасывается, вызывая эрозию.

Рассмотрим с позиции стратегии и тактики управления ЭГП систему современной противоэрозионной почвозащиты с учетом знаний об эрозионно-гидрологической эффективности различных агрофонов, специальных приемов и их сочетаний.

Все разнообразие почвозащитных приемов можно разделить на два класса – неконтурные и контурные, а контурные разделить на три группы. В первую группу входят преимущественно агротехнические приемы, отличающиеся рассредоточенным по территории влиянием на инфильтрацию, сток и эрозию: вспашка и рыхление, устройство микрорельефа и т. п. Во вторую группу входят приемы "сосредоточенного", локального, действия – разного рода так называемые рубежи: валы, канавы, террасы и др. В третью группу входят лесомелиоративные приемы, обладающие свойствами как локального действия (задержание и регулирование стока на рубежах), так и пространственного влияния (задержание воды в поле на месте выпадения осадков). Они могут сочетаться с приемами первых двух групп. Есть и ряд "промежуточных" ("комбинированных") приемов: щелевание, кулисные и полосные посевы и т. д., – сочетающих в себе качества первой и второй групп. Нами они отнесены к первой группе.

Рассмотрим стокорегулирующую и почвозащитную эффективность групп приемов.

1.4.2. Эффективность антропогенных приемов управления эрозионно-гидрологическим процессом

Оценка эффективности антропогенных приемов приводит к вопросу о критериях. В соответствии с изложенным выше приняты две группы критериев – характеристик ЭГП: 1) в естественных ландшафтах на травянистой целине и в лесу и 2) в антропогенных ландшафтах на зяби и уплотненной пашне. В качестве основных критериальных характеристик используются инфильтрация, сток и смыл, а также снегозапасы, глубина промерзания, влажность почвы и др. Поскольку анализируются и обобщаются результаты оценок, полученных преимущественно на воднобалансовых (стоковых) площадках, то гидрометеорологические оценки отличаются достаточно высокой репрезентативностью, а потому могут быть приняты для количественной характеристики эффективности отдельных приемов. Что же касается смыва почв, то вследствие его сильной зависимости от длины склона, уклона и их сочетания при ограниченной длине стоковых площадок (обычно 100, редко 150-200 м и более) оценки смыва имеют лишь относительное, качественное, значение. Подробнее этот вопрос рассмотрен в работе [95, гл. 3].

Поскольку главное содержание работы определяется аспектами антропогенной эволюции ЭГП под влиянием лесомелиорации и с учетом наличия большого количества монографий и диссертаций, обобщающих оценки эффективности агротехнических, гидротехнических, лугомелиоративных мероприятий [11, 25, 75, 113-115, 161, 195, 215, 223, 226, 227, 255, 363, 365, 402, 403, 410 и др.], в т. ч. работы автора и при его участии [28, 29, 96, 97, 103, 367, 369 и др.], далее они рассматриваются в самом обобщенном виде, достаточном для понимания роли ПЭЛМ в управлении ЭГП.

Агротехнические приемы. Рассмотрим вначале агрофоны и приемы, не требующие специальной контурной организации территории, т. е. выполняемые без учета направления падения склона или направления обработки, выполнение которых заведомо почти не влияет на их стокорегулирующую и почвозащитную эффективность.

Без поверхностной обработки почвы – агрофоны так называемой уплотненной пашни (стерня, посевы озимых и многолетних трав), сенокосы и пастбища (в том числе на берегах гидрографической сети) – сток талых вод с уплотненной пашни отличается повышенными величинами как в сравнении со стоком с девственных угодий, так и со склоновым стоком с отвальной зяблевой вспашки. На сенокосах и пастбищах степень уплотнения почвы приблизительно такая же (судя по коэффициентам стока), но поскольку эти угодья часто расположены на берегах гидрографической сети, то величины талого стока здесь могут в несколько раз превышать таковые на уплотненной пашне (см. табл. 1.1, 1.2).

Снегозадержание (посев кулис, снегопахание, уплотнение снега в течение зимы) способствует дополнительному снегонакоплению. Связь между стоком, снегозапасами и увлажнением почвы описывается восходящими линейной двухфакторной [25] или иными зависимостями [13, 30, 69, 74, 114, 187, 192, 208, 261, 285, 372 и др.], т. е. при прочих равных условиях (глубина промерзания, степень увлажнения почвы) снегозадержание способствует увеличению стока (и обычно инфильтрации). При этом, поскольку величина снегозадержания лимитируется осадками холодного времени года, увеличение слоя стока в общем ограничивается запасами дополнительно накопленной влаги.

При выпадении снега рано и на талую и слабо увлажненную почву своевременное и эффективное снегозадержание предохраняет почву от промерзания, сохраняет ее высокую инфильтрационную

способность и может служить средством предотвращения стока. Однако, как показали исследования А. Т. Барабанова [50], такая ситуация в лесной и лесостепной зонах складывается редко, а в степной зоне хотя и чаще, но здесь фактором, лимитирующим сток, является еще и сухость почвы.

Безотвальная обработка почвы – плоскорезная, рыхление плугами со снятыми отвалами, щелевание, рыхление стойкой СибНИИМЭСХ и др. – в сравнении с уплотненной пашней обеспечивает некоторое снижение стока талых вод за счет рыхления почвы и увеличения порозности, а в сравнении с отвальной зябью не имеет преимуществ или даже сопровождается некоторым (до 10-20 мм) его увеличением [25]. Это обусловлено повышенными в сравнении с отвальной зябью снегозапасами (за счет сохранения стерни) и меньшей степенью рыхления.

Микрорельеф (нанорельеф) зяби – лункование, микролиманы, прерывистое и перекрестное бороздование (крестование), комбинированная и разноглубинная вспашка (чередование корпусов с отвалами и без, разноглубинная установка корпусов), ячеистая пахота, "выштамповывание" емкостей специальными ребристыми или водоналивными с выемками катками [117, 209, 225, 294, 295 и др.] – не обеспечивает сколько-нибудь ощутимого стокорегулирующего эффекта: он в среднем варьирует в пределах ± 5 мм [26, 127, 363, 369]. При этом хотя в отдельные годы отдельными авторами зафиксирован эффект сокращения стока до 30-40 мм, что в целом согласуется с потенциальными возможностями приема (физическая емкость устраиваемого микрорельефа может достигать 50-60 мм, обычно составляя 30-40 мм [34, 117, 118]), однако имеются прямо противоположные результаты: применение микрорельефа приводит к увеличению стока на 30-40 мм [1, 26].

Микрорельеф на пашне создается двумя способами: 1) заодно с основной обработкой плугами с отвалами разной длины, чередованием корпусов с отвалами и без них, установкой корпусов на неодинаковую глубину и сочетанием глубины хода корпусов с отвалами (удлиненными и укороченными) или без них и 2) специальными орудиями (лункователями, микролиманоделателями и т. п.) уже по вспаханной поверхности заодно с основной обработкой или дополнительным проходом машин. При первом способе взрыхленный слой сохраняет свое первоначальное рыхлое сложение, обусловленное обработкой почвы. При втором происходит большее или меньшее нарушение сложения вспаханной почвы за счет прохода гусениц трактора и колес

орудий (уплотнение рыхлого слоя), сгребание части рыхлого слоя для устройства валиков. При этом на днищах емкостей микрорельефа остается рыхлый слой меньшей мощности и неизбежно уплотненный при воздействии на него орудия. Даже повторное рыхление и перепашка увеличивают упаковку почвенных отдельностей и усиливают сток [363]. Таким образом, с одной стороны, на пашне создается дополнительная емкость для физического задержания некоторого объема воды, а с другой – происходит уплотнение днища емкости (за счет сгребания части почвенного слоя), что неизбежно приводит к снижению водопроницаемости почвы. Этим изначально нарушается естественная взаимосвязь инфильтрационной способности почвы и физической емкости микрорельефа, теоретически обоснованная ранее [95]. Иными словами, технология устройства микрорельефа специальными орудиями порочна по самой сути и направлена исключительно на физическое задержание влаги. Оно может быть эффективным лишь при двух условиях: равенстве объема задержания воды в емкостях слою осадков и недопущении перелива воды из емкости в емкость.

Кроме того, за счет осенних дождей формируются местный микросток и смыв с бортов емкостей, обуславливающие дополнительное увлажнение днищ и закупорку почвенных пор смываемым мелкоземом. (Это в еще большей степени снижает водопроницаемость мерзлой почвы). Весной, по нашим наблюдениям, часто имеет место явление, когда почва в днищах переувлажнена, покрыта ледяной коркой и оттаивает медленнее, чем почва в бортах емкостей. Микрорельеф неоттаявшей почвы получается зеркальным поверхностному микрорельефу: днища представляют собой купола переувлажненной мерзлой неводопроницаемой почвы, возвышающиеся над ложбинами сильнее протаявшей под валиками почвы. Низкой водопроницаемостью почвы в днищах микрорельефа объясняется и внешне эффектная картина на многих фотографиях: поле с микрорельефом оказывается покрытым многочисленными лужицами воды, долго не впитывающейся в мерзлую переувлажненную почву днищ (эффект ледяного экрана), в то время как на контроле почва оттаяла на глубину пахотного слоя и талая вода усвоилась им. Таким образом, стокорегулирующая эффективность микрорельефа определяется соотношением инфильтрационной способности почвы и емкости физического задержания непоглощенного избытка воды [26]. Если при этом эффект емкости водозадержания компенсирует снижение водо-

проницаемости, то микрорельеф, как стокорегулирующий (и противоэрозионный) фактор, срабатывает, чем, видимо, и объясняются случаи его исключительно высокой эффективности. Если же емкость недостаточна, а снижение водопроницаемости велико, то емкости переполняются, вода размывает валики-перемычки и сбрасывается в количествах больших, чем на обычной вспашке с более высоким уровнем инфильтрации. Этим объясняются многочисленные случаи отрицательного стокорегулирующего эффекта микрорельефа. Лишь на слабопроницаемых уплотненных агрофонах (боронованная зябь, стерня) физическое задержание воды в емкостях микрорельефа дает, хотя и незначительный, но ощутимый положительный эффект – около 5-7 мм. В целом же его роль, согласно обобщенным данным экспериментов, следует признать незначительной или нейтральной, т. е. на уровне обычной отвальной зяби. При этом, хотя устройство микрорельефа по первому способу (без повторного прохода орудий) и дает несколько лучшие результаты (стокорегулирующий эффект составляет +2...–14 мм в среднем), чем по второму (эффект +7...–19 мм), эта разница не имеет принципиального значения. Следует также иметь в виду, что в степных условиях, где значительный сток с зяби формируется очень редко (1-2 года из десяти), устройство микрорельефа может даже спровоцировать сток в годы, когда он на зяби отсутствует вовсе.

Окультуривание почвы – глубокая вспашка и рыхление, внесение органических удобрений – как стокорегулирующий прием является наиболее эффективным из всех известных приемов обработки почвы. Обобщением Г. П. Сурмача установлено, что углубление вспашки на 1 см при глубине обработки до 20-30 см обеспечивает сокращение стока на величину до 3-4 мм. Наиболее эффективной в отношении общего сокращения стока является вспашка на 27-30 (до 35) см. Дальнейшее углубление вспашки дополнительно сокращает сток, но эффект прироста сокращения стока падает [363]. Однако в целом положительный стокорегулирующий эффект приема в среднем не превышает 12-15 мм. Разовые внесения больших доз навоза (до 80-100 т/га и более) могут дать в первый год громадный стокорегулирующий эффект (50-60 мм), но последствие их невелико и не превосходит эффект глубоких обработок [363].

Искусственное оструктуривание почвы, хотя теоретически и обосновано, но практически в противоэрозионной мелиорации не испытано по эффекту регулирования стока. Кроме того, дороговизна

оструктуривателей и их экологическая небезупречность, а также недолговременность делают проблематичным их применение в широкой практике. Более целесообразно их локальное применение, особенно в лесных насаждениях.

Мульчирование поверхности почвы (сплошное или полосное оставление стерни и пожнивных остатков или иных, в том числе искусственных, материалов) полезно, преимущественно при дождевых осадках. При замерзании почв, особенно при отсутствии их обработки, этот прием часто сопровождается увеличением стока талых вод, как и на уплотненной пашне [246]. Вместе с тем пожнивные остатки активизируют деятельность почвенной фауны (в первую очередь дождевых червей), что благотворно для улучшения водно-физических свойств почвы. Активизация деятельности дождевых червей наблюдалась в наших опытах по мульчированию (соломой) междурядий лесополос в ОПХ Новосильской ЗАГЛОС и в ОППХ ВНИИЗиЗПЭ. Мульчирующие приемы перспективны, особенно при переходе на "нулевые" обработки и в связи с биологизацией земледелия.

Остановимся на эффективности контурных приемов.

Поперечная и контурная отвальная вспашка зяби на глубину 20-22 см является одним из двух принятых за стандартные агрофонов (другой – уплотненная пашня), имеющих критериальное значение. Величины стока талых вод с отвальной зяби охарактеризованы ранее.

В стокорегулирующем плане следует отметить двоякую роль отвальной зяблевой вспашки: по отношению к девственным угодьям она выступает как прием, усиливающий сток, а по отношению к уплотненной пашне – как уменьшающий его. Последнее обстоятельство подчеркивается в работах ИГ, ГГИ, Г. П. Сурмача в связи с водным балансом речных водосборов [114, 217, 254, 363]. Эта двойственность в оценке гидрологической роли агрофона обусловлена историческими причинами. Раннее земледелие, основанное на применении примитивных орудий (соха), практически не знало зяблевой вспашки. Пашня уходила в зиму в виде непашни (стерневой фон) или толоки при выпасе на полях скота. Поэтому сток с таких угодий был по своему уровню близок к уровню стока с уплотненной пашни и даже выше его, ибо рыхлящее действие сохи или мелкой плужной обработки было ничтожным. Сток талых вод при мелкой обработке (до 12-14 см) мало отличается от стока с уплотненной пашни [68, 212, 363, 382]. Углубление вспашки до 20-22 см, систематически применяемое

в нашей стране с 30-х годов XX в. (с начала коллективизации), естественно привело к заметному сокращению стока талых вод. Однако сток с зяби, в том числе глубокой, остается значительным. В этом смысле отвальная зяблевая обработка является стокоформирующим фоном, что и породило целую систему приемов сокращения стока с зяби. Актуальность этих приемов возрастает при применении так называемой выровненной [390] и "улучшенной" (культивированной и боронованной с осени) зяби, на которой сток резко возрастает, приближаясь по уровню к стоку на уплотненной пашне и даже превосходя его [68, 198, 363], а также при переходе на паровые системы земледелия.

Сток с отвальной зяби имеет четко выраженную зональность: с продвижением с севера на юг и с северо-запада на юго-восток его величина падает. При этом уменьшается не только его средняя величина, но и максимальные значения равной вероятности превышения, а также возрастает вероятность бессточных весен. Это обуславливает разную степень актуальности и разную эффективность стокорегулирующих приемов на зяби, что уже отмечалось при рассмотрении микрорельефа зяби.

Следует также особо остановиться и на роли направления обработки зяби на величину стока талых вод. Обобщение экспериментальных данных по стоковым площадкам дает величину сокращения стока при строго контурной обработке в сравнении со строго продольной на величину всего около 2-5 мм [363]. (Строгая контурность и продольность возможны именно на небольших по ширине и длине стоковых площадках; на реальных склонах из-за ложбинности и переменной крутизны склонов строгая контурность не осуществима). В реальных условиях эффект контурной обработки еще меньше. Это обстоятельство, не отрицая необходимость контурной организации территории, вместе с тем однозначно свидетельствует о том, что физическая емкость поверхностного водозадержания при контурной обработке ничтожна и проблему регулирования стока не решает.

Глубокая контурная вспашка и почвоуглубление дают ощутимый стокорегулирующий эффект (см. выше), но проблему регулирования стока также не решают, за исключением тех районов, где его величина с зяби невелика. В силу этих обстоятельств глубина обработки зяби должна определяться не задачей регулирования стока, а чисто агротехническими требованиями: необходимостью заделки органических удобрений, регулирования воздушного режима растений, разру-

шения плужной подошвы для разуплотнения почвы, положением пропашных культур в севообороте и т. п. Экономически и энергетически предпочтительна мелкая обработка, ибо проблему увлажнения почвы и борьбы со смывом можно надежнее решить иными средствами (снегозадержание, мульчирование и т. п.) без дополнительных затрат на глубокую обработку почвы.

Не останавливаясь особо на некоторых специфических видах основной обработки типа гребне- и микрокулисной вспашки [117, 403, 404] и т. п., отметим лишь, что их стокорегулирующая роль мало отличается от роли отвальной вспашки, внося лишь некоторые нюансы в ход эрозионных процессов.

Полосные посе́вы – чередование полос зяби с посевами озимых и многолетних трав – по своему стокорегулирующему эффекту занимают промежуточное положение между "чистыми" агрофонами зяби и уплотненной пашни [263]. Почвозащитный же их эффект определяется соотношением величин стока с этих агрофонов. В северных районах, где эта разница в стоке незначительна, полосные посе́вы снижают смыв за счет защитного действия растений и при их хорошем развитии. В южных же районах, где сток с уплотненной пашни на посевах повышенный и практически ежегодный, а с зяби обычно отсутствует или невелик, полосные посе́вы усиливают смыв с зяби со всего склона, особенно при слабом развитии озимых и трав. Полосные посе́вы более эффективны в районах дождевой эрозии [156, 269, 308].

Щелевание как стокорегулирующий прием преследует цель разрушения мерзлого слоя почвы или создания влагопроводящего канала к ее талым водопроницаемым слоям. Осуществляется чаще на уплотненной пашне (на зяби щели обычно засыпаются и "схлопываются" при пучении замерзающей почвы), сенокосах и пастбищах, обычно в предзимний период, поскольку щелевание мерзлой почвы сопряжено с огромными энергетическими затратами [4] и зачастую просто невозможно. Обобщение экспериментальных данных показывает, что стокорегулирующий эффект щелевания, как правило, невелик (около 5-7 мм), а часто отсутствует вовсе [4, 47, 203, 326]. Это объясняется рядом обстоятельств: незначительной глубиной щелей (30-40, редко 50-70 см), что обычно не обеспечивает достижения ими талой почвы; уплотнением стенок щели щелерезами пассивного действия, что за счет расклинивания уплотняет почву и снижает ее впитывающую способность; заполнением щелей водой с последующим замерзанием

при зимних оттепелях и в начале снеготаяния при контакте воды с мерзлой почвой, что обусловлено обеими указанными причинами. Вертикальное мульчирование щелей соломой для повышения их долговечности на стокорегулирующий эффект почти не влияет [108, 246].

Большой эффект щелевания обеспечивается при сочетании с кулисными посевами [47] или при устройстве специальных утепляющих мульчированных соломой полос [108]. Однако эффект этот невелик (10-12 мм) при сочетании с кулисами [47] или трудно достижим в производстве из-за технологических сложностей создания утепляющих полос.

Значительный стокорегулирующий эффект (до 40-50 мм) обеспечивают широкие (до 5-10 см) и глубокие (до 100 см) щели, устроенные с послойной выемкой почвы без нарушения естественного сложения их стенок [196, 326]. Однако этот уникальный результат получен В. А. Порядиным [326] при устройстве щелей вручную, а его техническая реализация сопряжена со столь высокими энергетическими затратами, что такой прием вряд ли получит практическое воплощение.

Кротование почвы, осуществляемое специальными орудиями (кротователями), устанавливаемыми на пятке корпуса плуга, отличается теми же достоинствами и недостатками, что и щелевание, особенно по энергозатратам. В уникальном эксперименте Ф. Х. Шакирова этот прием дал высокий стокорегулирующий эффект (до 90 мм) в сочетании с микрорельефом [407]. В других же случаях его эффект обычно невелик – 10-15 мм. Заслуживает внимания применение кротования для подземного орошения склонов талыми водами путем отвода кротовинами воды из канав, устраиваемых в лесополосах [409]. Однако широкого практического применения этот прием не получил, а систематическое его выполнение из-за засорения и разрушения кротовин при неглубокой их закладке сильно увеличивает энергозатраты.

Резюмируя результаты обзора агротехнических приемов, отметим, во-первых, их низкую стокорегулирующую эффективность, в большинстве случаев недостаточную для успешного решения задачи регулирования стока. Во-вторых, современные почвозащитные приемы, направленные на повышение противозэрозионной устойчивости почвы с использованием растительности и ее остатков (мульчирование, поверхностные обработки, безотвальное рыхление, травосеяние), хотя и уменьшают смыв, но часто увеличивают сток талых вод. Это уменьшает влагообеспеченность растений и может активизировать

размыв (оврагообразование). Поверхностное задержание талой воды в емкостях микрорельефа, в том числе при контурных обработках, малоэффективно как в стокорегулирующем, так и в почвозащитном отношении. Поэтому контурная организация территории сама по себе задачу регулирования стока и защиты почв от эрозии не решает.

Таким образом, в ближайшей перспективе при определении направления в противоэрозионной мелиорации следует учитывать ограниченный стокорегулирующий эффект агротехнических приемов (в том числе контурных) и необходимость их дальнейшего совершенствования. Кроме того, защита почвы от эрозии средствами агротехники должна преследовать цель не столько сокращения поверхностного стока, сколько создания надежного почвозащитного фона. Требуется также применение и поиск других, более эффективных, средств противоэрозионной защиты.

Надежный почвозащитный и некоторый стокорегулирующий эффект могут обеспечить агротехнические и простейшие гидротехнические средства отвода и сброса воды с полей – наклонные водоотводящие временные борозды с валами или постоянные напашные валы, а также наклонные валы-террасы. Они могут применяться на территориях даже до осуществления специальной их контурной организации.

Гидротехнические приемы. Все стокорегулирующие гидротехнические сооружения и устройства, за исключением распылителей стока, наклонных валов-террас и водоотводящих валов и канав, устраиваются горизонтально и при проектировании требуется проведение специального инженерного расчета. Их стокорегулирующий эффект определяется созданием емкостей для физического локального задержания избытка стекающей со склонов воды, а также локальным повышением инфильтрационной способности почвы и сочетанием обеих функций.

Рассмотрим эффективность отдельных приемов.

Водозадерживающие валы высотой 1-2 м устраиваются с горизонтальными гребнями на нижних частях приводораздельных склонов и на присетевых участках у вершин оврагов в расчете на задержание слоя талых вод 20-30 мм, редко больше, рассчитаны преимущественно на физическое задержание части склонового стока, имеют устройства для сброса избытка воды.

Валы-террасы (ВТ) устраиваются на пахотных склонах через 30-50 м обычно напашным способом с рабочей высотой 35-45 см и заложением откосов 1:8...1:10 со сбросом избытка воды на специаль-

ные засеянные травой водотоки. Их стокорегулирующий эффект в разные годы колеблется от 0 до 90 мм, составляя в среднем около 35-55 мм: меньше на черноземах, больше на серых лесных почвах за счет различий в стоке со склонов [319, 320, 341]. При щелевании днищ прудков гидрологический эффект ВТ возрастает, что свидетельствует о работе обычных ВТ как физических емкостей [314]. Валы-террасы являются одним из наиболее сложных почвозащитных приемов на пашне, при строительстве и эксплуатации которых требуется очень высокая культура проведения работ. Даже в США, где они получили широкое распространение, намечается тенденция к отказу от ВТ и применению более простых приемов.

Водопоглощающие канавы глубиной 1,0-1,5 м устраиваются в сочетании с земляными валами высотой 0,6-1,0 м (на ложбинах до 1,5-2,0 м) через 60-80 м по длине склона. Стенки канав обычно отвесные в последующем принимают угол естественного откоса; канавы устраиваются со свободной емкостью или заполнителем (щебень, порода угольных терриконов [170], солома, порубочные остатки). Разновидностью водопоглощающих канав являются так называемые валы Новосильской станции (на самом деле сочетание валов с канавами) и валы-канавы ВНИИВиВ, устраиваемые плантажным плугом с заполнением борозды соломой [329]. Гидрологическая эффективность водопоглощающих канав велика: сокращение слоя стока составляет 30-40 мм и более [341], что максимально для стокорегулирующих гидротехнических устройств самостоятельного действия за счет включения механизма инфильтрации. Однако водопоглощающие канавы чаще применяются в сочетании с лесными полосами. Применение соломы в сочетании с канавами благоприятно для жизнедеятельности червей.

В мелиоративном отношении гидротехнические устройства отличаются от большинства агротехнических приемов не рассредоточенным по площади, а сосредоточенным, локальным (потускулярным), действием, характерным для так называемых рубежей. Определенными "рубежными" свойствами отличаются и некоторые агротехнические приемы (щелевание, кулисы, валы снегозадержания и т. п.), хотя в зародыше эти свойства имеют все приемы, для которых в той или иной мере свойственна поверхностная аккумуляция воды. Однако основное свойство рубежей заключается в перехвате и поглощении проходящей со стороны, транзитной, воды поверхностного стока. Этим определяется двойственность их стокорегулирующего и увлажнительного эффекта. Если

для приемов рассредоточенного действия стокорегулирующая и увлажнительная эффективность одинаковы в среднем для любой точки склона, то для рубежей характерна резкая дифференциация стокорегулирования и увлажнения почвы на склоне вне рубежа и в пределах его действия. При этом вне рубежа эффект стокорегулирования и увлажнения определяется агрофоном склона. Поясним примером. При снегозапасах на склоне с зябью 150 мм и стоке талых вод 50 мм валовое увлажнение почвы составит 100 мм. Если из общей величины стока 50 мм ВТ поглотят 30 мм, то в целом увлажнение затеррасированного участка возрастет до 130 мм. Однако склон, лежащий выше прудка ВТ, дополнительного увлажнения почвы не получит. Зато при расстоянии между ВТ 30 м и ширине прудка 5 м в него просочится дополнительно $30 \cdot (30:5) = 180$ мм талой воды, а при максимальной глубине прудка 35 см соответственно 350 мм. Потускулярное поглощение влаги на рубежах вносит существенные изменения в гидрологический режим склоновых земель, определяющие степень и глубину увлажнения, промачивания почвогрунтов, питание грунтовых вод, баланс питательных веществ и специфику почвообразовательных процессов [320].

Высокая гидрологическая эффективность всех гидротехнических устройств на пашне обуславливает существенное преобразование ЭГП и высокий почвозащитный эффект, за исключением случаев разрушения и сброса воды по водотокам или через водосливы на незащищенные склоны. Препятствием для широкого внедрения гидротехники являются сложность и дороговизна ее проектирования, строительства и эксплуатации. Поэтому этот прием целесообразно использовать при выращивании особо ценных плодовых культур, на виноградниках, в горных условиях, на территориях рекреационного назначения – в зеленых зонах городов, для защиты особо охраняемых водных источников и т. п.

Обобщенная оценка эффективности элементов и системы стокорегулирующих мероприятий. Выполненные анализ и обобщение материалов по снегозапасам, водопоглощению и стоку и опубликованные работы [27-29, 96, 97 и др.] позволяют дать стокорегулирующую оценку как отдельных составных частей, так и в целом всей системы современных стокорегулирующих приемов (табл. 1.24). Отсутствие дифференциации (или невозможность дать дифференцированную оценку) отдельных агротехнических и гидротехнических приемов осложняет, хотя полностью и не исключает, зональную оценку. Кроме того, данные

табл. 1.24 позволяют количественно оценить антропогенную (земледельческую и скотоводческую) эволюцию ландшафтов.

Таблица 1.24

Обобщенные зональные характеристики водного баланса и максимального водопоглощения талых вод для естественных, антропогенно измененных угодий и стокорегулирующих приемов

Угодья, агрофоны, стокорегулирующие приемы, их характеристика, местонахождение	Запасы снеговой воды, мм	Сток, мм	Уменьшение (-), увеличение (+) стока в сравнении со стандартом, мм	Водопоглощение на склоне/на рубеже, мм	
				W_c	W_m
1	2	3	4	5	6
Естественные девственные и антропогенно измененные угодья (без подтока со склонов)					
<i>1.1. Лесные насаждения</i>					
<i>1.1.1. Леса естественные</i>					
Лесостепь:					
Донецкая обл.	(160)	5	-45	155	2500
ЦЧ заповедник	180	2	-48	178	8000
То же, без 1969 г.	170	0	-50	170	ИВВ
Степь – Саратовская обл.	130	10	-40	120	800
<i>1.1.2. Леса искусственные массивные и колковые</i>					
Молодые, юж. тайга – ВНИГЛ: (1-5)	200	80	+30	120	180
(6-10)	260	10	-40	250	3300
Средневозрастные (11-40) и взрослые:					
юж. тайга – ВНИГЛ	165	2	-48	163	6800
лесостепь: Алтайский край	200	10	-40	190	1900
Орловская обл.	140	20	-30	120	440
сев. степь – Самарская обл.	145	0	-50	145	ИВВ
<i>1.1.3. Лесополосы</i>					
Молодые (до 25):					
лесостепь: Алтайский край	115	60	+10	55	70
Орловская обл.	(110)	(15)	-35	95	360
сев. степь – Курск, Каменная степь	(330)	(40)	-10	290	1250

Продолжение табл. 1.24

1	2	3	4	5	6
Средневозрастные и взрослые (более 25):					
лесостепь: Алтайский край	285	90	+40	195	350
Орловская обл.	(125)	0	-50	125	ИВВ
сев. степь – Курск, Каменная степь	(170)	(5)	-45	165	2800
степь – Саратовская обл.	155	2	-48	153	6000
сухая степь – Волгоградская обл.	(150)	5	-45	145	2200
1.2. Травянистая растительность					
Степь целинная некосимая:					
ЦЧ заповедник	165	10	-40	155	1300
Каменная степь	130	0	-50	130	ИВВ
Степь целинная косимая:					
ЦЧ заповедник	140	45	-5	95	170
Каменная степь	80	40	-10	40	50
Степь целинная выпасаемая:					
ЦЧ заповедник: гидрографическая сеть (ГС)	365	240	+190	125	130
склоны + ГС	165	60	+10	105	170
Каменная степь – склоны	100	60	+10	40	45
Сенокосы и пастбища (выгоны)	150	100-60	+10...+50	50-90	50-130
1.3. Пашня без специальных стокорегулирующих приемов					
Уплотненная пашня (мн. травы, озимые, стерня) в зонах:					
нечерноземной (I)	160-120	85-70	+15...+20	75-50	60-90...120
черноземной (II)	120-100	70-35	+20...+25	50-65	60-110...240
каштановой (III)	100-60	35-20	+15...+25	65-40	70-110...460
Зяблевая вспашка: I	150-110	70-50	0	80-90	105-260...320
II	110-90	50-10	0	60-80	80-370...1300
III	90-50	10-5	0	80-45	230-370...800
2. Антропогенно улучшаемый ландшафт с применением стокорегулирующих приемов					
2.1. Приемы для задержания и поглощения воды рассредоточенно в поле на месте выпадения осадков					
<i>2.1.1. Агротехнические, не требующие специальной контурной организации территории</i>					
Без обработки почвы, безотвальные и мульчирующие обработки, травосеяние	100	70-90	+20...+40	30-50	30-60

Продолжение табл. 1.24

1	2	3	4	5	6
Снегозадержание и регулирование снеготаяния	100	40-70	+20...-10	30-60	30-90
Создание нанорельефа зяби (лункование, микролиманы, прерывистые борозды, комб. вспашка и др.)	100	45-55	+5...-5	45-55	50-75
Приемы повышения водопроницаемости почвы (глубокое рыхление, окультуривание, оструктуривание)	100	35-40	-10...-15	60-65	90-105
	150	35-40	-10...-15	110-115	230-270
<i>2.1.2. Агротехнические контурные</i>					
Полосные посевы	100	43-45	-5...7	$\frac{55-57}{110-115}$	75-80
Щелевание	100	43-45	-5...7	$\frac{55-57}{300-500}$	75-80
<i>2.1.3. Лесомелиоративные контурные</i>					
Снежные шлейфы ЛП	150	30-60	+10...-20(40)	$\frac{90-120}{100-500}$	$\frac{130-320}{500-1000}$
2.2. Контурные гидротехнические приемы задержания и поглощения воды сосредоточенно на рубежах при подтоке воды со склонов					
Водозадерживающие (отчасти водонаправляющие) валы	100	20-30	-20...-30	$\frac{70-80}{300-500}$	$\frac{130-220}{300-500}$
Валы-террасы через 20-30 м	100	10-20	-30...-40	$\frac{80-90}{300-700}$	$\frac{220-470}{300-700}$
Водопоглощающие канавы через 30-50 м, в том числе с органическими заполнителями	100	5-15	-35...-45	$\frac{85-95}{2600-4800}$	$\frac{300-970}{2600-4800}$
2.3. Контурные комбинированные приемы, сочетающие задержание и поглощение воды рассредоточено в поле и сосредоточенно на рубежах					
ЛП шириной 10 м через 400-500 м и без средств усиления водопоглощения: I	150	35	-15	$\frac{115}{840}$	$\frac{960-270}{900}$
	100	15	-20	$\frac{85}{960}$	$\frac{300}{1300}$
	75	10	-5	$\frac{65}{300}$	$\frac{260}{400}$
ЛП ш. 10 м через 400-500м + валы в ЛП: I	150	20	-30	$\frac{130}{1400}$	$\frac{510}{2200}$
	100	10	-25	$\frac{90}{1300}$	$\frac{470}{3300}$
	75	2	-10	$\frac{73}{460}$	$\frac{1400}{900}$

Окончание табл. 1.24

1	2	3	4	5	6
ЛП ш. 10 м через 400-500 м + валы + канавы в ЛП: I	150	15	-35(50)	$\frac{135}{1800}$	$\frac{700}{3800}$
	100	5	-30(45)	$\frac{95}{1400}$	$\frac{970}{4400}$
	75	2	-10(25)	$\frac{73}{530}$	$\frac{1400}{2300}$
ЛП ш. 5 м через 400-500 м +валы + ка- навы в ЛП: I	150	25	-25(35)	$\frac{125}{2250}$	$\frac{400}{3800}$
	100	10	-25(35)	$\frac{90}{2250}$	$\frac{470}{4400}$
	75	2	-10(20)	$\frac{73}{900}$	$\frac{1400}{2300}$
ЛП ш. 10-15 м через 100-150 м + валы (с канавами) Новосильской станции	150	0-20	-30... -50(80) ^x	$\frac{130-150}{750-1250}$	$\frac{\geq 500}{3800}$
ЛП ш. 15 м через 400-500м, усиленные валами и канавами, +валы-террасы через 50-80 м в межпо- лосном пространстве	(150)	0-10	-40...-50 (100) ^x	$\frac{140-150}{300-1500}$	$\frac{\geq 1100}{300-700; 4000}$

Примечания: Арабские числа в скобках: в графе 1 – возраст насаждений в годах; в графах 2 и 3 – ориентировочные величины; в графе 4 – для лет со стоком $p\% = 10$ и экстремально многоводных (x). За стандарт приняты запасы снеговой воды 150 мм и слой стока с зяби 50 мм, т.е. примерно условия центральной лесостепи. Для приемов, дифференцированных по I-III зонам, принимались соответствующие показатели этих зон. Аббревиатура ИВВ в гр. 6 означает исключительно высокое водопоглощение, численно не определенное из-за равенства инфильтрации осадкам.

Анализ сути антропогенной эволюции ландшафтов, оценка степени их деградации, в том числе состояния лесных насаждений, затрудняются уже отмечавшимся отсутствием однозначных количественно определяемых критериев. Проблема остается. Однако последовательное рассмотрение всей совокупности данных с единых позиций теории водопоглощения позволяет для анализа воднобалансовых характеристик в качестве такого критерия принять максимальное водопоглощение (w_m и W_m). Прямая его оценка, а также ее использование для расчетов водопоглощающей и стокорегулирующей роли агрофонов, приемов и их систем, простота и надежность расчетов повышают ее значимость. Если использовать только традиционные

оценки слоев осадков, инфильтрации, стока и его коэффициентов, то однозначная интерпретация опытных данных обычно затрудняется при сопоставлении разных объектов даже за один паводок в пределах одного и того же района из-за естественной вариации гидрометеорологических условий. Так, часто возникает ситуация сопоставления результатов по оценке конкретного приема при резко различающихся снеговых запасах и величинах стока. Вычисление коэффициентов стока и корректировка по его величине снеговых запасов и стока [363] весьма условны и не снимают проблемы объяснения различий. При оценке же W_m различия в снеговых запасах при одинаковых коэффициентах стока выявляют истинную впитывающую способность почвы. И, наоборот, при разных коэффициентах стока и самом разнообразном сочетании снеговых запасов и стока может получиться одно и то же значение W_m .

Несмотря на известную фрагментарность материалов табл. 1.24, их совокупное рассмотрение выявляет определенную логику как в зональном плане, так и в плане антропогенной эволюции воднобалансовых характеристик и их критерия W_m (рис. 1.31). Это в известной степени восполняет имеющиеся информационные пробелы и позволяет сделать ряд уточнений и новых заключений по вопросу, затрагивавшемуся ранее в частных аспектах.

Антропогенная эволюция обоих основных естественных угодий – лесов и травянистой целины – идет по единой схеме: от девственного состояния к нарушению и деградации, а затем восстановлению ("маятник" эволюции). Эта общая схема имеет, конечно, отклонения, в ней можно выделять отдельные этапы, однако общая логика эволюции не меняется. Важно рассмотреть начальный этап эволюции, состояние системы в деградационной "яме" и избрать правильную стратегию восстановления среды. По горизонтали на рис. 1.31 неявно представлено время, что позволяет в известной мере оценить темпы процесса. Бросается в глаза резкое уменьшение W_m на самой ранней стадии. Уже сенокосение и даже экстенсивный выпас животных резко понижают впитывающую способность почвы на целине. Это нуждается в объяснении, ибо на этой стадии использования целины еще не происходит интенсивное разрушение дернины и структуры верхнего слоя почвы, как при перевыпасе и почвообработке. На наш взгляд, это объясняется уплотнением приповерхностного слоя почвы. Аналогичное происходит при выпадении крупнокапельного дождя на оголенную поверхность даже весьма рыхлой почвы.

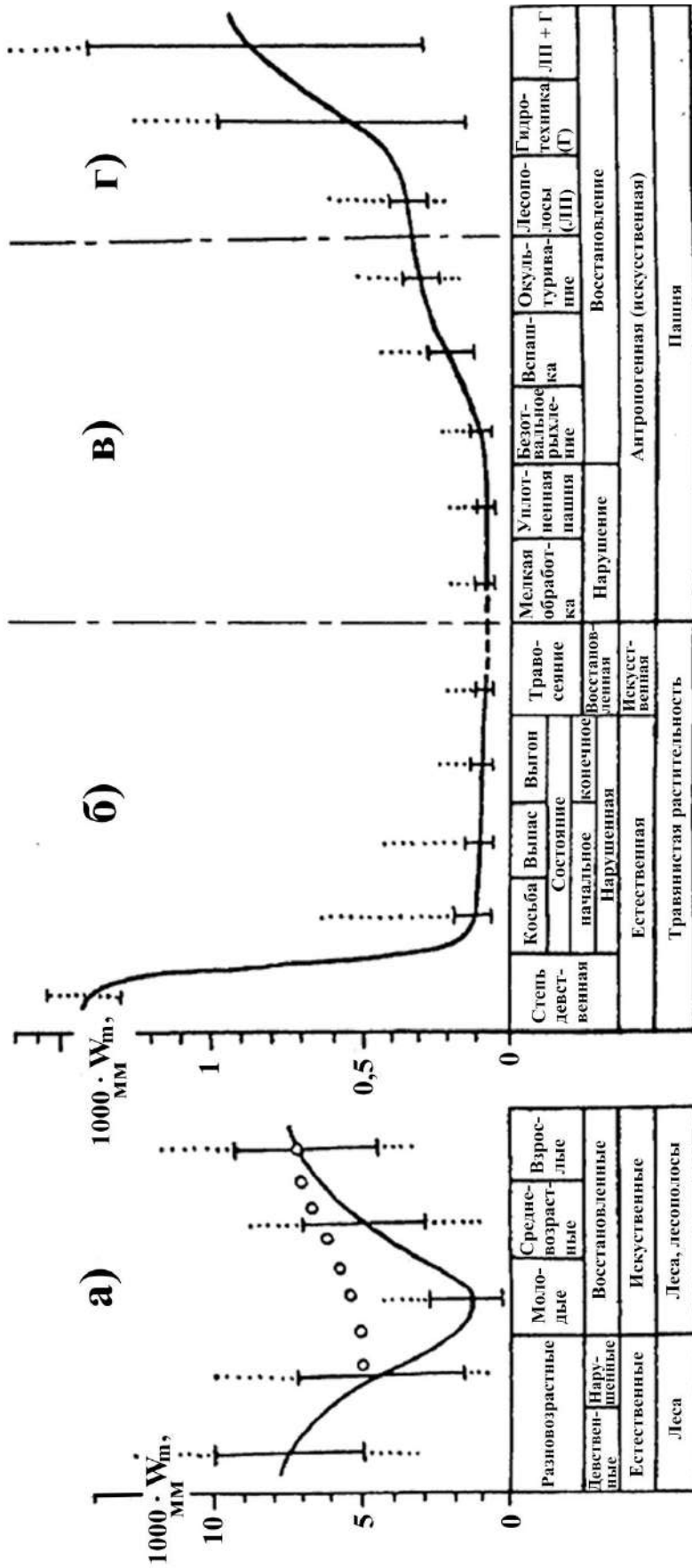


Рис. 1.31. Принципиальная схема антропогенной эволюции максимального поглощения талых вод W_m : в лесах (а), на лугах (б), пашне (в) и на склонах с системой стокорегулирующих и противозерозонных мероприятий (г) при нарушении и восстановлении гидрологического режима в ландшафте. Условные обозначения: \bullet — диапазон W_m ; \circ — при восстановлении лесных насаждений (на рубежах при подтоке)

Скорость ранней деградации лесов существенно меньше в силу исходно более щадящих экстенсивных способов их эксплуатации. Лишь в значительно более поздние времена сплошная вырубка, пастьба скота в лесу, индустриальные методы лесоэксплуатации ускорят и усилят деградацию лесов. Тем не менее в целом леса сравнительно с естественными кормовыми угодьями деградируют медленнее и "глубина" деградационной "ямы" в них меньше. Эти обстоятельства чрезвычайно важны, ибо наличие лесной растительности, даже сильно деградированной, является фактором сохранения гомеостаза природной среды. С учетом же того, что лесокультурные мероприятия приводят к улучшению среды уже в первые 5-10 лет жизни насаждений и практически ее восстановлению к среднему возрасту, роль лесной растительности трудно переоценить (см. разд. 1.3.1). Таким образом, леса медленнее, в меньшей степени деградируют и быстро восстанавливают свои ценные свойства. Поэтому в ряду природоохранных мероприятий приоритет должен быть отдан, во-первых, охране лесной растительности, во-вторых, переводу насаждений в режим заказников и заповедников, в-третьих, лесоразведению.

Земледельческая деградация территории, в первую очередь травянистой целины, вначале мало изменяет впитывающую способность почвы пашни, хотя дает резкий толчок разрушению почвенной структуры. Это обусловлено, во-первых, тем, что уже при интенсивном выпасе впитывающая способность почвы падает до минимума; во-вторых, при больших скоплениях снега в гидрографической сети это приводит к формированию экстремально большого стока (табл. 1.24, данные по ЦЧ заповеднику). Экстенсивная мелкая обработка почвы примитивными орудиями разрушает структуру лишь верхнего (0-10-15 см) слоя почвы. Это не столько влияет на впитывающую способность почвы (и без того низкую за счет предшествовавшего уплотнения с поверхности), сколько уменьшает необходимые для сельскохозяйственных растений запасы почвенной влаги и дает мощный толчок развитию эрозии. Кроме того, весновспашка, использование пашни для выпаса после уборки урожая, длительное время (до 30-х годов XX в.) господствовавшие в российской земледелии, не могли существенно не изменить уровень деградации водопоглощающей способности почвы. Переход к плужной обработке и затем к приемам безотвального рыхления мало что изменил, лишь несколько повысив емкость пахотного слоя, что и отразилось на уровне W_m . Попытки более

чем полувекового опыта (с 20-30-х годов XX в.) разработки разнообразных агротехнических средств повышения водопроницаемости почвы и емкости поверхностного задержания воды завершились полным провалом. Даже наиболее мощные и представлявшие наиболее эффективными и научно обоснованными приемы (глубокое рыхление, окультуривание, оструктуривание и т. п.) кардинально ситуацию не улучшили. Это означает только одно – ложность теоретических предпосылок воздействия на водопроницаемость мерзлых почв, т. е. отсутствие правильных представлений о процессе. Обстоятельные обобщения, выполненные Г. П. Сурмачем [363] и А. Т. Барабановым [25], дали дополнительные аргументы для этого тезиса. Ясность в этом вопросе вносит выдвинутая и обоснованная концепция ледяного экрана [93].

Признание, вопреки распространенному убеждению, несостоятельности регулирования стока талых вод агротехническими приемами имеет далеко идущие последствия.

Не вдаваясь в детали перспектив совершенствования агротехнических приемов, следует однозначно заключить, что пути повышения водопоглощения на полевых склонах следует искать в первую очередь в уменьшении промерзания почвы до 30-50 см (предотвратить его полностью практически невозможно в силу объективных природно-климатических причин). Все остальные приемы воздействия на водопоглощение (увеличения скважности почвы и водопропускной структуры) не исключаются, но играют служебную роль. (Доказательством является обычное отсутствие стока на талых даже предельно обеструктуренных почвах тяжелого гранулометрического состава). Это не означает нецелесообразность применения приемов, предохраняющих почву от промерзания (стерня, мульча, кулисы, снегозадержание и т. п.). Просто имеется принципиальное ограничение их эффективности, обусловленное естественными климатическими причинами (сток формируется даже в девственной степи) и специфическими последствиями земледелия для почвы и приземного слоя воздуха.

В полном соответствии с этим находятся теоретические предпосылки и обобщения экспериментальных данных, выполненные Г. П. Сурмачем и обосновывающие необходимость использования канав с талым дном для регулирования стока талых вод, особенно при их сочетании с лесонасаждениями, что вполне подтверждено и количественно оценено выполненными в главе обобщениями. Это и служит основанием концепции рубежного регулирования стока в антро-

погенном ландшафте. Важно подчеркнуть, что, несмотря на давнишнюю известность стокорегулирующих рубежей, концепция рубежного земледелия рассматривает рубежи не как прием, альтернативный другим (в первую очередь, агротехническим) приемам, а как органически необходимую часть стокорегулирующего комплекса. Иными словами: эффективной стокорегулирующей системой может быть только рубежная (не может быть не рубежной). Это значит, что на земельно-хозяйственной территории восстановление естественного гидрологического режима возможно лишь локально в "анклавах" лесной и травянистой растительности с особым охраняемым режимом их использования. На пашне, сенокосах и пастбищах это принципиально недостижимо. Такова дань, которую платит человек за право вести земледелие.

Продолжая анализ данных табл. 1.24 и рис. 1.31, следует отметить скачок водопоглощения и стокорегулирования, обеспечиваемый в восстанавливаемом агроландшафте применением лесомелиоративных и гидротехнических средств, особенно в сочетании с лесомелиоративными, что и выводит ландшафт из деградационной "ямы".

Исключительно высокий стокорегулирующий эффект и эффективность сочетания ЛП с гидротехникой общеизвестны. Они еще более возрастают с применением валов-террас в межполосном пространстве (при менее частом размещении, чем обычно) и не достижимы иными средствами. ("Чистая" гидротехника может дать такие же результаты при несопоставимо больших капвложениях, усложнении организации территории и условий выполнения сельхозработ). Особенно важно, что узкие ЛП, отличаясь несколько меньшей эффективностью, резко уменьшают изъятие пашни.

Высокая эффективность ЛП в сочетании с гидротехникой породила мнение о низкой эффективности обычных ЛП. Проанализированные выше материалы и сводка данных в табл. 1.24 и на рис. 1.31 обуславливают необходимость внесения существенных корректив в этот вопрос. Данные табл. 1.24 показывают, что локальные (в пределах рубежей) величины W_m довольно велики как для снежных шлейфов (роль которых до сих пор не была оценена), так и для самих ЛП и сопоставимы с локальными значениями W_m для гидротехнических приемов. В расчете же на всю площадь прилегающих склонов величины W_m существенно меньше. Тем не менее даже неусиленные ЛП, занимая ничтожную часть территории, обеспечивают большее регулирование слоя полевого стока, чем самые эффективные приемы аг-

ротехники. В сочетании же с агроприемами эффект регулирования стока практически удваивается. Эти обстоятельства важны для практики почвозащитного земледелия. Если по каким-либо причинам невозможно сразу же создать ЛП со средствами их усиления, то это не означает отказа от посадки ЛП, ибо создав их, можно быстро получить заметный стокорегулирующий и почвозащитный эффект, а в будущем по возможности осуществить усиление ЛП обвалованием и устройством водопоглощающих канав.

ГЛАВА 2. РАСЧЕТ ВЕТРОЛОМНЫХ И ПРОТИВОЭРОЗИОННЫХ ЛЕСОПОЛОС

Первым вопросом, который приходится решать прикладной лесной мелиорации – защитному лесоразведению, – после того как выявлены теоретические аспекты и дана оценка мелиоративного влияния ЗЛН на прилегающую территорию, является вопрос пространственной ориентации лесных полос. Поскольку лесная мелиорация имеет дело с энергомассопереносом, то его направление и определяет ориентацию ЛП. На земной поверхности функционируют два основных носителя потоков вещества и энергии – вода и ветер. (Здесь мы не рассматриваем тепловые атмосферные и почвенные, а также вертикальные гравитационные, физико-химические, биофизические и другие перемещения воды и иных веществ. Для них очевидно: ориентация ЛП имеет подчиненное значение). Направление воздушных потоков (ветер) определяется градиентами атмосферного давления, водных потоков – горизонтальной составляющей поля гравитации на фоне рельефа местности. Векторы этих градиентов могут совпадать, но в общем случае различны. В прикладном плане это приводит к задаче о предпочтительном (оптимальном) размещении ЛП поперек движения водных или воздушных потоков, т. е. к размещению ЛП поперек действия наиболее вредоносного явления, и о пределах (критериях) допустимых отклонений без существенных потерь мелиоративного эффекта. Рассмотрим современное состояние вопроса.

2.1. Критерий предельной крутизны склона

Практически во всех инструкциях, регламентирующих размещение ЛП при их проектировании и создании, всегда предписывалось ветроломные ЛП размещать поперек направления наиболее вредоносных ветров (дефлирующих, суховейных, метельных) с допустимыми отклонениями до 30-40° по организационным соображениям на плоских водоразделах и склонах некоторой предельной крутизны – обычно от 1,5-2 до 3-4°; в районах сильного проявления эрозии этот предел в последние годы понижался до 1° (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Предельно допустимые отклонения ветроломных ЛП от перпендикуляра к направлению наиболее вредоносного ветра и предельная крутизна склона для размещения ЛП поперек склона, град

Предельная крутизна склона		Предельно допустимое отклонение ЛП	Нормативный документ (номер в списке литературы)
пески и супеси	суглинки и глины		
3	2	30	183
3-4	2	30	185
(менее 2 при наличии эрозии) в соответствии с рельефом		45	184
3-4	2	35	186
1,5-2,0	-	30 (иногда 45)	182
1,5-2,0	-	30	174
1,5-2,0 (сл. эрозия)	-	30	176
1,0 (сильн. эрозия)	-	30	176
1,5-2,0	-	30	175
1,5-2,0	-	30	177
1,5-2,0	-	30	178
2,0 (сл. эрозия)	-	30	179
1,0 (сильн. эрозия)	-	30	179
1,5-2,0	-	30	180

Для реальных условий такого рода регламентация означает, что на одной и той же территории на верхней пологой части склона с крутизной меньше некоторого критического предела (до 1-4°) лесополосы размещаются с учетом направления ветра, а на крутой части (более 1-4°) – поперек склона. Лишь в отдельных инструкциях имелись отступления от этого правила, допускающие поперечное размещение ЛП на всем протяжении склона. Так, в инструкции Главного управления землеустройства и севооборотов МСХ СССР для районов, "где преобладающее направление вредных ветров выражено менее четко, в целях задержания поверхностного стока и борьбы с эрозией основные лесные полосы, как правило, размещаются поперек склона – вдоль общего направления горизонталей" [184, с. 9]. В инструкции помещена карта районов разной степени преобладания направлений ветра, построенная с учетом публикаций М. И. Львовича [251-254]. В укра-

инской инструкции предписывалось "при наличии эрозионных процессов на склонах менее 2° полезащитные полосы" размещать "в соответствии с горизонталями" [185, с.10]. Лишь после выхода в 1967 г. Постановления ЦК КПСС и СМ СССР "О неотложных мерах по защите почв от ветровой и водной эрозии" для ряда хозяйств были выполнены проекты с контурным размещением ЛП на всей территории, без дифференциации ее по крутизне. В рекомендациях последних лет для борьбы с эрозией предлагается размещать ЛП с учетом рельефа независимо от крутизны склона.

Относительно критерия предельной крутизны склона следует заметить, что он не имеет научного обоснования [78, 83-84, 120]. Во всяком случае автор не обнаружил у оппонентов размещения ЗЛН с учетом рельефа ни одной публикации по этому вопросу. Их такое положение устраивало, а аргументы другой стороны просто игнорировались. Поэтому любые попытки ученых-эрозионников на протяжении последних 30-40 лет изъять этот критерий из инструкций и заменить его на критерий максимальной вредоносности явления были безуспешными. Объяснение этого феномена находится за пределами науки и обусловлено более чем 100-летней традицией, согласно которой ветроломные функции ЗЛН считались приоритетными, особенно в борьбе с засухой. Лишь этим можно объяснить, почему даже в районах интенсивного проявления эрозии, где 30-40, иногда 50-70% пашни имеют смытые в разной степени почвы (значительная часть Нечерноземья, ЦЧП, Поволжья, Донбасса, Северного Кавказа и др.), лесные полосы по так называемому Плану преобразования природы [297] закладывались без учета не только рельефа, но и направления ветра (главным образом по границам хозяйств и полей), тем более что допустимые отклонения от направления ветра на $30-40^\circ$ позволяли их размещать как угодно. Во всяком случае, цели защиты почв от эрозии не достигались.

Аргументом для обоснования предельной крутизны склона, на первый взгляд, является тот факт, что средне- и сильносмытые почвы обычно приурочены к присетевым склонам круче $2-4^\circ$. Однако это определяется не только крутизной, но и длиной склона (что очевидно из сути "фактора рельефа" [95, разд. 3.3.1]). А это значит, что изоляция присетевых склонов от подтока воды с прилегающих сверху приводораздельных пространств, конечно, защищает их от смыва. Однако задача задержать воду с 70-80% территории приводораздельных склонов для защиты 20-30% земель присетевого и гидрографического фондов

практически не разрешима. Если б смыв на этих крутых участках склонов производился лишь местным стоком, тогда такой подход имел бы смысл. Это было бы оправдано в какой-то степени и тем, что крутизна склона заметно влияет на слой стока. Влияние это есть [95, разд. 2.2.1], но столь незначительное, что им можно практически пренебречь.

Существенно важным аргументом в пользу дифференциации способа размещения ЛП с учетом крутизны склона было бы резкое изменение ветроломной эффективности ЛП при их отклонении от перпендикулярного к направлению вредоносного ветра направления, однако этот вопрос нуждается в специальной проработке.

2.2. Направление ветра и ветроломная эффективность лесополос

Вопрос о связи ветроломной эффективности ЛП с их ориентацией по направлению вредоносного ветра имеет по крайней мере два аспекта: 1) как зависит ветроломная эффективность ЛП при отклонении ее от перпендикуляра к направлению ветра и 2) каково распределение направлений вредоносных ветров по румбам. Очевидно, что чем меньше изменение ветроломной эффективности ЛП при изменении ее ориентации к направлению ветра и чем равномернее распределены ветры по румбам, тем меньшее значение имеет ориентация ЛП, и наоборот.

Я. Д. Панфиловым [306] была установлена и обстоятельными исследованиями Я. А. Смалько [349] подтверждена простая зависимость дальности ветроломного влияния ЛП L_α от угла α между направлением ветра и перпендикуляром к лесополосе (рис 2.1а):

$$L_\alpha = L_{\alpha\max} \cdot \cos \alpha, \quad (2.1)$$

где $L_{\alpha\max}$ – максимальная дальность ветроломного влияния ЛП при перпендикулярном к ней направлении ветра ($\alpha = 0^\circ$).

При увеличении α от 0° до 90° отношение $L_\alpha/L_{\alpha\max}$ при $L_{\alpha\max} = 1$ уменьшается от 1 до 0 (в действительности за счет боковой шероховатости лесополос $L_\alpha/L_{\alpha\max}$ отличается от 0 при $\alpha = 90^\circ$):

α , град	0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90
$L_\alpha/L_{\alpha\max}$	1,00	0,98	0,94	0,87	0,77	0,71	0,64	0,50	0,34	0,17	0

Таким образом, зависимость (2.1) вскрывает чрезвычайно важную особенность ветроломного влияния ЛП: очень слабое изменение дальности влияния ЛП при отклонении ветра от перпендикулярного к ним направления. Так, отклонение на угол ± 10 - 20° изменяет дальность влияния всего на 2-6%, т. е. в пределах обычной в полевых опы-

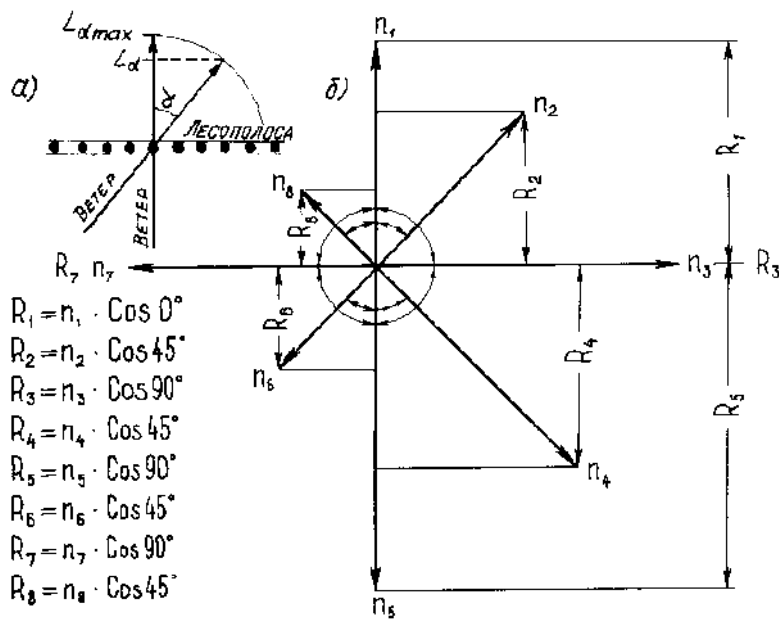


Рис. 2.1. Схема изменения дальности ветроломного влияния лесополосы в зависимости от угла α между направлением ветра и лесополосой (а) и расчета проекций R с учетом повторяемости n ветров по румбам (б)

тах точности измерения каких-либо характеристик. При отклонении на 30° это изменение уже ощутимо (13%), но невелико. Лишь при отклонении на угол $30-45^\circ$ уменьшение дальности влияния достигает практически значимых величин (20-30%). С учетом уменьшения ветропроницаемости лесополосы при отклонении направления ветра от перпендикулярного дальность ее влияния уменьшается сильнее: по данным Ю. И. Васильева, на 20-30 и 25-55% при ветропроницаемости соответственно 31 и 13%. При ветропроницаемости около 40-50% дальность влияния уменьшается до 10%. Аналогичные результаты приводят А. К. Дюнин [150], E. Skidmore и L. Hagen [423]. Очевидно, это обстоятельство и послужило основанием считать допустимыми углы отклонения до $30-40^\circ$ (и даже 45°) от перпендикулярного к преобладающему направлению ветра, что нашло отражение во всех инструкциях по проектированию и размещению ветроломных лесополос.

Применение выражения (2.1) для обоснования размещения ветроломных лесополос является необходимым, но недостаточным условием. Чтобы правильно решить этот вопрос, требуется определить преобладающее направление ветра. Часто за него принимается румб с наибольшей повторяемостью ветра n (%). Более правильно ориентировать лесополосы с учетом суммы повторяемости ветров по парным противоположным направлениям (осям). Выбрав такую ось и разместив перпендикулярно к ней лесополосу, можно быть уверенным, что найден лучший вариант размещения. Правда, при этом вопрос о количественной характеристике такого размещения в сравнении с другими возможными

остается открытым. Такую характеристику можно получить, рассчитав так называемую суммарную дальность ветроломного влияния лесополосы R , которая математически определяется как сумма проекций дальности влияния лесополосы ветра по румбам (рис. 2.1б):

для 8-румбовой

$$R = K_0 \sum n_{1,5} + K_{45} \sum n_{2,4,6,8} + K_{90} \sum n_{3,1}, \quad (2.2)$$

для 16-румбовой

$$R = K_0 \sum n_{1,9} + K_{22,5} \sum n_{2,8,10,16} + K_{45} \sum n_{3,7,11,15} + K_{67,5} \sum n_{4,6,12,14} + K_{90} \sum n_{5,13}. \quad (2.3)$$

Индексы (числа) у n означают соответствующие румбы при счете их по часовой стрелке от румба, перпендикулярно которому располагается лесополоса. Коэффициент $K_\alpha = \cos(0^\circ; 22^\circ 5'; 45^\circ; 67^\circ 5'; 90^\circ) = 1,00; 0,92; 0,71; 0,38$.

Аналогичный подход к расчету R предложен ранее Г. И. Гороховым [109, 110]. Оригинальную методику расчета снегопереноса с учетом розы ветров предложил также Д. М. Мельник [258].

В физическом смысле величина R означает суммарную дальность ветроломного влияния лесополосы как долю (%) от максимально возможной ($R_{\max} = 100\%$), т. е. по сравнению со случаем перпендикулярности направления всех ветров к лесополосе ($L_\alpha = L_{\alpha\max}$).

Расчет величины R выполняется в двух вариантах: $R_{\text{абс}}$ (%) непосредственно по выражениям (2.2, 2.3) и $R_{\text{отн}} = R_{\text{абс}}/R_{\text{п}}$ в долях единицы или $R_{\text{отн}} = 100 (R_{\text{абс}}/R_{\text{п}})$ в % от максимального значения $R_{\text{п}}$ при расчете проекций на ось румбов. Величины $R_{\text{абс}}$, $R_{\text{п абс}}$, $R_{\text{отн}}$, хотя и едины по способу отражения ветроломного эффекта, но существенно различны по его особенностям. $R_{\text{абс}}$ дает оценку реального эффекта в % от максимально возможного для каждой конкретной оси (т. е. при любой ориентации ЛП), позволяет сравнивать их между собой и выбирать предпочтительную – $R_{\text{п абс}}$ с максимальным значением эффекта. $R_{\text{отн}}$ позволяет оценить изменение (уменьшение) величины реального эффекта в % при отклонении лесополосы от предпочтительной оси с максимальной величиной $R_{\text{п}}$. Именно $R_{\text{отн}}$ в наибольшей степени дает возможность оценить изменение ветроломного эффекта вследствие изменения ориентации лесополосы.

Характеристика R в отличие от величины n для румба или оси обладает тем преимуществом, что позволяет судить о ветроломной эффективности ЛП не только относительно перпендикулярных к ней ветров, но и интегрально по ветрам всех направлений (по "розе" ветров). Это особенно важно в случаях, когда преобладающее направле-

ние выражено слабо или имеется несколько альтернативных направлений с близкими значениями повторяемостей.

Существенно важно, что определение R позволяет на количественной, объективной, основе с учетом физической сущности аэродинамического действия лесополос давать оценку их ветроломной эффективности и решать вопрос о правильном их размещении с максимально возможной реализацией этих функций в реальных условиях.

Шкала для оценки степени преобладания направлений ветра в зависимости от его повторяемостей по румбам и величины по осям приведена в табл. 2.2 [84].

Таблица 2.2

**Шкала степени преобладания направлений ветра
(для 8-румбовой градации направлений)**

Степень преобладания направлений ветра	Румбы		Оси	
	$n, \%$	K_n	$R, \%$	K_R
Не выражена	≤ 12	$\leq 1,0$	≤ 60	$\leq 1,00$
Слабая	13-25	1,1-2,1	61-70	1,02-1,17
Средняя	26-38	2,2-3,2	71-80	1,18-1,33
Сильная	39-50	3,3-4,2	81-90	1,34-1,50
Очень сильная	> 50	$> 4,2$	91-100	1,50

Коэффициенты K_n и K_R определены как отношение n/\bar{n} и R/\bar{R} , где \bar{n} и \bar{R} – средние значения при "идеальных" розах ветров, т. е. при равновероятностной повторяемости по всем направлениям для 8-румбовой градации ($\bar{n} = 12,5\% \approx 13\%$, $\bar{R} = 60\%$, с округлением до десятков).

Важно подчеркнуть следующее: равномерное ("круговое") распределение ветров по сторонам горизонта, при котором ориентация лесополос не зависит от направления ветра, отнюдь не означает полного отсутствия ветроломного эффекта. Его величина составляет 60% от максимально возможного (100%), при котором ветры приурочены строго к единственной оси. Такие ситуации, как будет ясно из дальнейшего, в природе почти исключены (они имеют место при специфических горно-долинных ветрах). Таким образом, реально величина R находится обычно в диапазоне $100 > R > 60$. Конкретное ее значение определяется лишь на основе расчета по реальным розам ветров в данном пункте (см. далее).

Отмеченное обстоятельство особенно важно и в другом отношении. При $R = 60\%$ для одиночной лесополосы интегральная даль-

ность ее влияния распространяется в обе стороны от лесополосы. И если при $R = 100\%$ максимальная величина $L_{\alpha\max}$, выраженная в высотах насаждения, составляет, скажем, $30H_{\text{лп}}$, то при $R = 60\%$ $L_{\alpha} = 18H_{\text{лп}}$. Для двух смежных лесополос в этом случае размещение их на расстоянии $30H_{\text{лп}}$ обеспечивает перекрытие ветроломного влияния для $6H_{\text{лп}}$, т. е. ветроломный эффект ЛП при полном отсутствии выраженного направления ветра реализуется полностью. Если же имеется даже слабое преобладание направления ветра, то перекрытие и величина ветроломного эффекта возрастают. Таким образом, ЛП отличаются высокой устойчивостью ветроломного эффекта при существенно больших отклонениях ветров от перпендикулярного подхода к ЛП.

2.3. Повторяемость и вредоносность ветров

Очевидно: оценка ветроломной эффективности R по повторяемости направлений ветров может быть адекватной для ситуаций, когда распределение всех ("общих") ветров коррелирует с распределением повторяемости вредоносных. Априорно можно полагать, что это так, т. е. наиболее вредоносные ветры случаются в направлениях, имеющих наибольшую повторяемость. Соответственно вероятность проявления вредоносных ветров убывает по мере уменьшения повторяемости общих ветров по румбам, примыкающим к преобладающему. Такая ситуация складывается в том случае, если так называемые вредоносные ветры определяются общими законами циркуляционных режимов атмосферы. Если же вредоносные ветры зависят от специфических синоптических ситуаций, то их распределение может существенно отклоняться от распределения общих ветров. В литературе имеются доводы в пользу как того, так и другого допущения.

Поскольку этот вопрос является принципиально важным, рассмотрим его более детально.

В XIX в. благодаря работам акад. К. С. Веселовского и других ученых возникло и укрепилось воззрение, что на обширных территориях Европейской равнины, страдающих от засухи, зарождающиеся в пустынях Средней Азии суховейные ветры имеют ярко выраженное восточное и юго-восточное направления. Тогда же возникла идея трансгрессивного влияния лесных насаждений и создания "зеленого заслона" против среднеазиатских суховея, нашедшая, между прочим, свое воплощение в 40-50-х годах XX столетия в виде системы госу-

дарственных защитных лесополос, протянувшихся в субмеридиональном направлении на многие тысячи километров. Тезис о повсеместном преобладании суховеев какого-либо одного направления уже давно, еще во времена Н. П. Адамова [3], был опровергнут объективными данными анализа ветрового режима (П. Паллас [19], А. Н. Карамзин [194], А. А. Каминский [193], Е. А. Леонтьева [238], В. О. Аскинази [19], Р. Э. Давид [306] и др.) и тем не менее до сих пор находит своих сторонников среди ученых лесомелиораторов. Не ставя перед собой цели приводить разбор обширной литературы по этому вопросу, сошлюсь лишь на исчерпывающее заключение проф. Б. Л. Дзерзеевского. Он отмечал, что увеличение повторяемости суховеев на юге и юго-востоке ЕТС "породило гипотезу, рассматривающую суховеи как выносы жаркого и сухого воздуха из Средней Азии. Южные пустыни и полупустыни, таким образом, получили значение "очагов" зарождения суховеев. Вследствие своей простоты и кажущейся очевидности эта гипотеза приобрела широкое распространение.

Но такая схема процесса требует, чтобы суховеи на юго-востоке европейской части СССР наблюдались при сильных юго-восточных ветрах. На самом деле так бывает далеко не всегда, и ветры этого направления не являются здесь заметно преобладающими. Суховеи же наблюдаются при разных направлениях ветра. Дальнейшие исследования показали, что суховеи вообще редки при адвекции с юга тропического воздуха" [126, с. 75].

Н. В. Бова [41, 42], Н. Н. Белонин [36], С. А. Сапожникова [346], М. В. Заварина [151, 152], Н. Ф. Самохвалов [346], Е. А. Цубербиллер [396, 397], В. А. Волеваха и В. И. Ромушкевич [73], И. Е. Бучинский [58] и другие на основе анализа объективных данных многолетних наблюдений неопровержимо доказали, что суховеи могут иметь самые разные направления, особенно в хронически засушливых областях Украины, Поволжья, Северного Кавказа и Азии.

В обстоятельной работе Е. А. Цубербиллер с учетом исследований других авторов вопрос о направлениях господствующих суховеиных ветров резюмируется следующим образом:

«1. Исследования показали, что наиболее четко преобладающее направление ветров выражено при интенсивных суховеях и суховеях с сильным ветром, а также в весенние и осенние месяцы. Летом и на розах ветров в целом за теплый сезон преобладающее направление в значительной мере затушено наличием других направлений ветра.

Преобладание того или иного румба держится довольно устойчиво в определенном районе и лишь постепенно переходит к другим румбам в соседнем районе.

2. Основными районами преобладания определенных направлений ветра при суховеях являются следующие:

а) в Ростовской области резко выражено преобладание восточного румба (30-45% общего числа случаев);

б) в Астраханской области, Нижнем Поволжье и Центрально-Черноземных областях преобладают юго-восточные ветры (20-28% общего числа случаев);

в) в центральных частях и на Средней Волге господствующими являются южные ветры (16-30% случаев);

г) в Западном Казахстане и в прилегающей к нему части Саратовской области при суховеях почти одинаково вероятны все направления ветра (преобладающий румб меняется в пределах различных направлений южной половины горизонта и составляет не более 15-16% общего числа случаев);

д) на Южном Урале, а также, по данным работы коллектива ЦНИИГМа, в Западной Сибири и Алтайском крае явно преобладают юго-западные и западные направления ветра, составляющие в сумме около 50% общего числа случаев. В Северном Казахстане преобладание западных направлений постепенно сглаживается, а при переходе степной зоны к полупустынной совершенно сходит на нет. В Южно-Казахстанской и Кызыл-Ординской областях, по данным Самохвалова, при суховеях преобладают северо-восточные направления ветра» [397, с. 91-92].

Тот факт, что суховеи в каждом конкретном пункте наблюдений могут иметь самые разные направления, не находится в противоречии с фактами наличия господствующего направления ветра [39]. Строго "идеальных" роз ветров, т. е. при равной вероятности всех направлений, в природе не существует. Это могло быть только в случае, если бы глобальная циркуляция атмосферы в планетарных масштабах являлась чисто случайным процессом. На самом же деле она имеет хорошо выраженные зональные (широтные) закономерности, накладывающие свой отпечаток на суховейные (а также метельные и дефлирующие) ветры и обуславливающие господство ветров тех или иных направлений. Однако степень этого господства может быть разная и нуждается в количественной оценке.

Опираясь на вышеприведенные данные Е. А. Цубербиллер и пользуясь предлагаемой шкалой (см. табл. 2.2), можно сказать, что средне и сильно выраженное господство суховейных ветров одного направления наблюдается лишь в Ростовской области, а очень сильное – на Южном Урале, в Западной Сибири и Алтайском крае. В остальных районах страны господство суховеев одного направления выражено слабо и очень слабо. Эти выводы хорошо согласуются также с заключением М. И. Львовича [251, 252].

Анализ литературных данных показывает, что резкая выраженность преобладающих направлений вредоносных ветров в большинстве районов отнюдь не является бесспорным фактом и, во всяком случае, существует определенная связь повторяемости общих и вредоносных ветров. Для выяснения этого аспекта проанализируем имеющиеся данные с использованием оценки ветроломной эффективности ЛП по уравнению (2.2) для вредоносных ветров.

Нами по данным М. Я. Глебовой [107] о розах метельных ветров на ЕТС СССР и Н. Ф. Самохвалова [344, 345] о розах суховеев в Казахстане оценена корреляция величины R для общих и метельных, общих и суховейных ветров (рис. 2.2). Судя по данным М. И. Долгилевича и др. [132], такая же корреляция прослеживается для общих и дефлирующих ветров. Об этом же свидетельствуют и результаты, полученные Н. Ф. Куликом и П. Г. Чумаковым для метеостанции Северного Кавказа [235]; ими использовался изложенный выше метод расчета R , но с учетом скорости ветра. Таким образом, можно считать вполне установленным, что закономерности, определяющие повторяемость общих и вредоносных ветров, одинаковы и показатели R для общих ветров надежны при решении вопроса о размещении ветроломных лесополос.

При отсутствии прямых сведений о дефляции возможна ее косвенная оценка на основе расчета кинетической энергии ветра с использованием данных по повторяемости n и скорости ветра V . Для получения "энергетической" розы ветров был выполнен анализ данных справочников по климату СССР путем определения для каждой оси ветров характеристики

$$R_{\text{э,abc}} = \sum_{i=1}^{i=N} n_i V_i^2, \quad (2.4)$$

где n_i – повторяемость i -й градации скорости ветра; V_i – i -я скорость ветра данной градации; $i = 1, 2, \dots, N$ – порядковый номер градации скорости из N градаций.

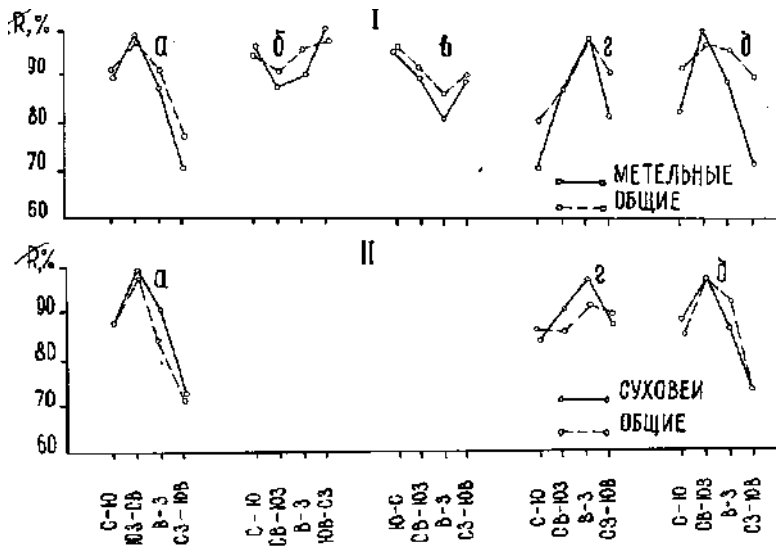


Рис. 2.2. Соотношение средних величин $R_{отн}$ для общих и метельных (I), общих и суховейных (II) ветров в районах с ориентацией преобладающей оси $R_{п}$ ЮЗ-СВ(а), ЮВ-СЗ(б), Ю-С(в), В-З(г), СВ-ЮЗ(д)

Кроме того, рассчитана и величина $R_{э, отн} = 100R_{э, абс}/R_{пэ, абс}$, где $R_{пэ, абс}$ – энергетическая характеристика для оси преобладающего по энергетике направления ветра.

Полученные характеристики сопоставлялись со значениями $R_{п}$, рассчитанными только по повторяемости ветров.

Вид связи $R_{э}(R_{п})$ для Северного Кавказа с четко выраженным преобладанием направления ветра иллюстрируется рис. 2.3. Аналогичные линейные и практически одинаковые связи получены и для других районов с устойчивым преобладанием направления ветра (Алтай), со слабым его проявлением (ЦЧП) и по всей совокупности (табл. 2.3).

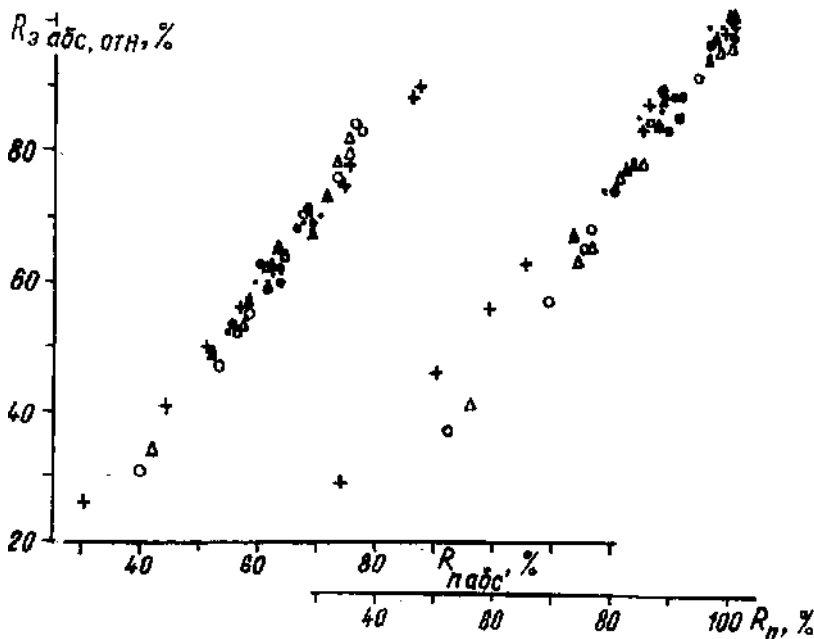


Рис. 2.3. Связи $R_{э, абс} = f(R_{п, абс})$ и $R_{э, отн} = f(R_{п, отн})$ для Северного Кавказа:

- Эльтон; ○ Ростов-на-Дону, ГМО;
- △ Гигант; ● Верхний Баскунчак; ▲ Астрахань;
- + Минеральные Воды

Таблица 2.3

Характеристика линейных уравнений связи $R_{э абс} = f(R_{п абс})$ и $R_{э отн} = f(R_{п отн})$

Район	$R_{э абс} = f(R_{п абс})$				$R_{э отн} = f(R_{п отн})$			
	a	B	$r \pm m_r$	m_{yx}	a	b	$r \pm m_r$	m_{yx}
ЦЧП	-36	1,6	0,98±0,04	2,8	-41	1,4	0,98±0,05	3,9
Северный Кавказ	-16	1,3	0,99±0,22	2,1	-18	1,2	0,98±0,03	3,3
Алтайский край	-5	1,1	0,92±0,08	1,6	-3,3	1,0	0,89±0,10	2,8
В совокупности по 1-3 районам	-20	1,3	0,98±0,02	2,5	-24	1,2	0,97±0,02	4,0

Выполненные расчеты свидетельствуют о наличии очень тесной (практически функциональной, $r = 0,89-0,98$) прямой пропорциональной зависимости (с пренебрежением значениями свободных членов уравнений a) между "энергетическими" характеристиками ветров и их повторяемостями с близкими значениями параметра b , коэффициентов корреляции r и ошибок m_{yx} . Это значит, что повторяемости ветров по направлениям могут адекватно представлять характеристики вредоносных ветров. Иными словами, оперирование только характеристиками повторяемости ветров дает достаточно объективную картину ветрового режима местности.

Расчеты R_n и $R_э$ достаточно громоздки и трудоемки даже с применением ЭВМ и требуют привлечения огромных массивов информации из справочников по климату СССР. Это вызывает необходимость поиска общих закономерностей, связывающих между собой повторяемость ветра по направлениям и распределение скоростей по их величине и направлению.

Общий вид связей вероятности F ветра разной скорости V по румбам для некоторых метеостанций Северного Кавказа иллюстрируется рис. 2.4. Они удовлетворительно аппроксимируются уравнением

$$F = \exp(-aV^b). \quad (2.5)$$

Аналогичный вид имеют эти связи и для других районов, в частности для Алтая и ЦЧП. Дальнейший анализ и обобщение показали, что параметр a связан (связь иллюстрируется рис. 2.5) с параметром b выражением

$$a = \exp(-1,57b^{1,21}). \quad (2.6)$$

И, наконец, установлено наличие связи между величиной параметра b и повторяемостью по румбам n_r (см. рис. 2.6):

$$b = \exp(1,30n_r^{-0,472}). \quad (2.7)$$

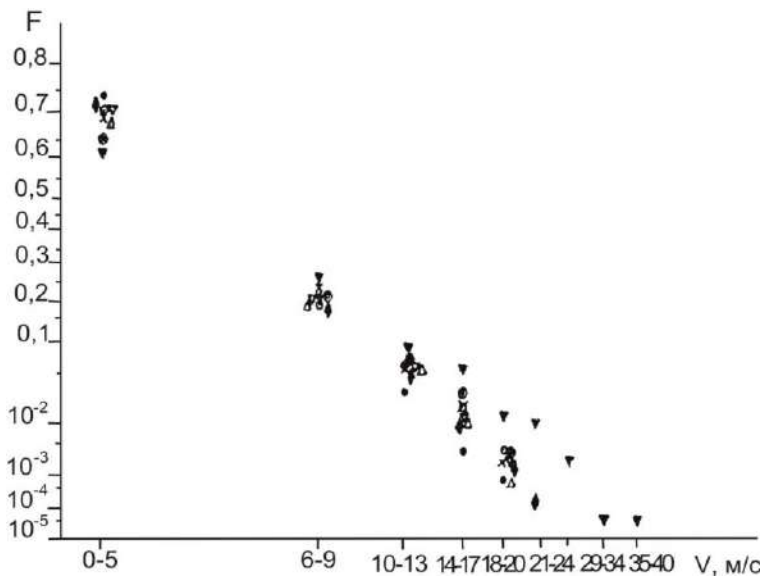


Рис. 2.4. Вероятность F ветра разной скорости V для метеостанций Северного Кавказа:

○ Урюпинск; × Се-
рафимович; ● Эльтон; ●
Ростов-на-Дону; ▽ Ги-
гант; Δ Верхний Баскун-
чак; ◆ Астрахань; ▼ Ти-
хорецк

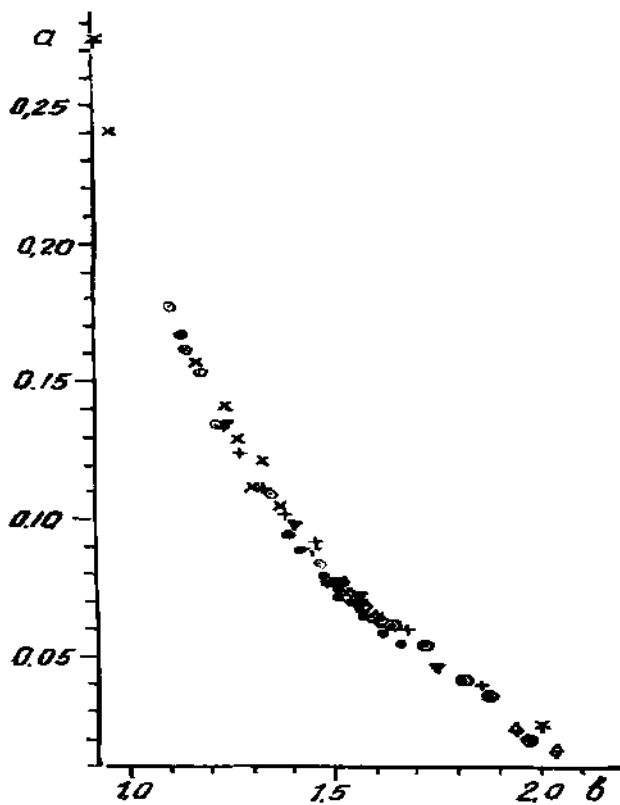


Рис. 2.5. Связь параметров a и b в уравнении (2.6) для метеостанций ЦЧО:

○ Орел; + Воронеж; × Каменная
степь; ● Богородицкое-Фенино; ● Ва-
луйки; ▼ Мичуринск; ◆ Тамбов; ✕ Ти-
хорецк

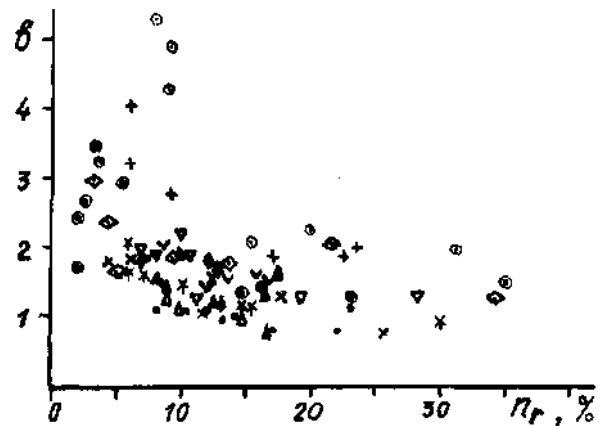


Рис. 2.6. Связь параметра b уравнений (2.5) и (2.6) с повторяемостью ветра по румбам n_r для метеостанций Северного Кавказа, ЦЧО и Алтая:

○ Белокураиха; + Грозный;
× Камень-на-Оби; ● Элиста; ●
Минводы; ▲ Валуйки; ; ◆ Зме-
иногоorsk; ✕ Тихорецк; Δ Ка-
менная степь; ▼ Тамбов; ◆ Во-
ронез; ▽ Родионо

2.4. Оценка интегральной ветроломной эффективности лесополос

Изложенные в разд. 2.1-2.3 аргументы и выполненные расчеты дают основание для использования повторяемости ветров по румбам в качестве адекватной характеристики ветроломного режима ЛП.

По выражению (2.2) на ЭВМ ЕС-1022 выполнены расчеты R почти по 2000 метеостанций европейской и азиатской частей СССР в пределах основных земледельческих районов. (Программа для ЭВМ разработана О. Е. Базановой, перенос данных на перфокарты выполнен Т. Я. Зарудной и Н. Г. Сапрыкиным). Данные в ЭВМ представлялись в форме табл. 2.4 (слева в "шапке" табл. указаны номер выпуска – 13 и ГМС – 10, справа – номер и название ГМС; М – месяц) из справочников по климату СССР [354 – вып. 1-13, 17-20, 28-30] (рис. 2.7). В таблице указывался номер района и метеостанции по справочнику, ее наименование, повторяемость ветров и штилей (шт) ежемесячно и для каждого румба и коэффициент K , характеризующий защищенность флюгера. Таким образом, в память ЭВМ было введено около 250000 чисел, характеризующих повторяемость ветров по направлениям.

Таблица 2.4

Данные о повторяемости ветров по румбам

130010									
Волгоградская обл.						10 Динамо			
М	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	ШТ
I	8	9	13	16	10	18	17	9	8
II	5	8	19	19	11	18	13	7	8
III	8	10	13	13	11	19	17	9	8
IV	10	10	17	18	11	16	11	7	10
V	10	11	15	14	10	17	13	10	10
VI	13	13	13	9	8	15	16	13	12
VII	15	15	11	8	6	13	15	17	14
VIII	14	11	10	12	9	15	17	14	14
IX	11	7	8	10	10	19	20	15	12
X	10	7	8	13	9	19	20	14	12
XI	6	7	17	19	11	19	13	8	8
XII	6	8	13	18	15	19	16	8	7
Год	9	10	13	14	10	17	16	11	10
K	61	61	61	61	61	43	53	43	0

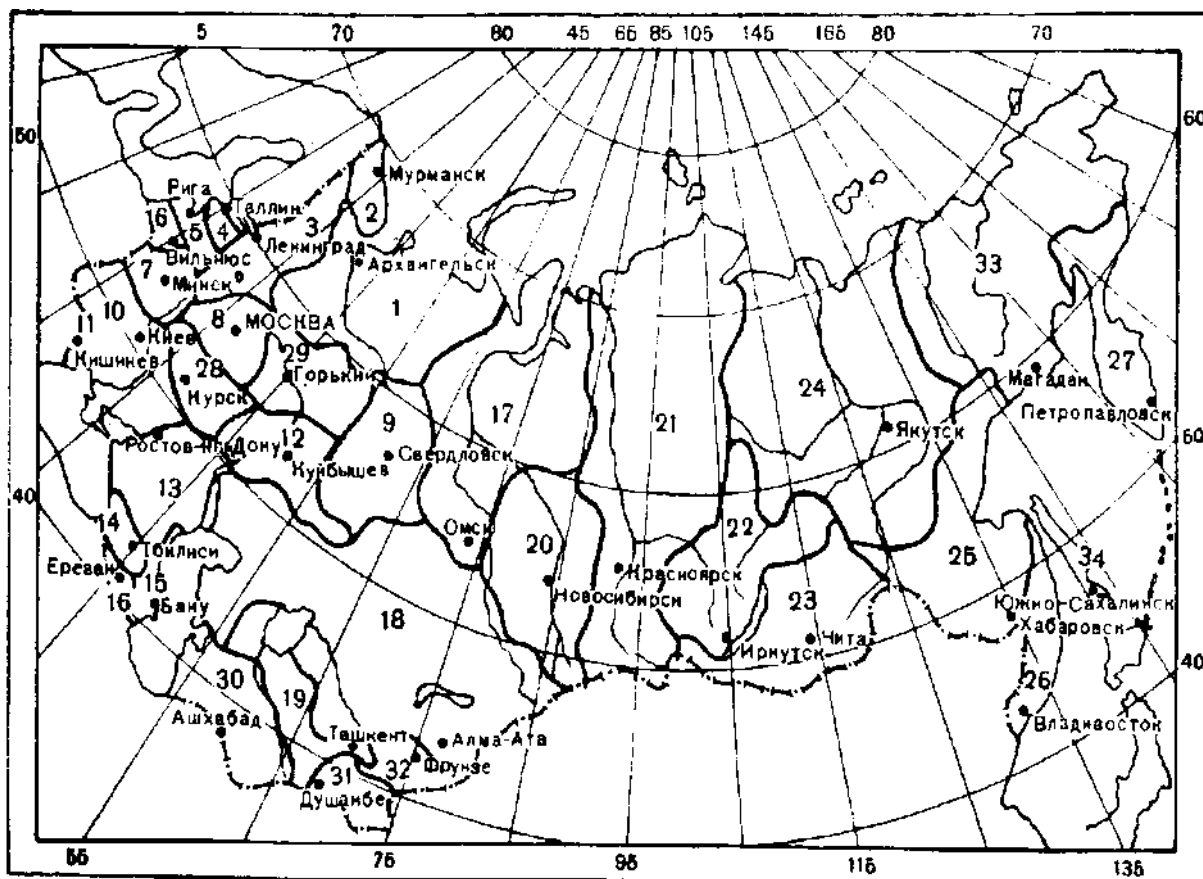


Рис. 2.7. Сборная карта выпусков "Справочника по климату СССР".
Числами обозначены номера выпусков (районов)

2.4.1. Особенности ветрового режима отдельных районов

Расчеты по изложенной выше методике выполнены примерно для 2000 метеостанций. Рассмотрение полученных результатов по каждой метеостанции нереально, а потому проанализируем итоги расчетов на примере двух районов – юго-востока европейской части и Алтайского края азиатской части России [89, 91]. Первый район отличается довольно широким диапазоном характеристик ветрового режима – от слабого проявления преобладающих направлений ветра в северной и центральной частях до яркого – в южных (Северный Кавказ) и западных (юг Украины). Второй район отличается выдающимся постоянством приуроченности направлений ветра к одной оси.

Юго-восток Северной Евразии представлен данными о повторяемости общих ветров по 250 гидрометеостанциям (ГМС), расположенным на равнинной территории. В приложении 7 станции приведе-

ны выборочно для случаев с контрастными и близкими к средним значениям повторяемостей ветров по румбам.

Эти данные позволяют в большинстве случаев однозначно решать вопрос об ориентации ЛП в соответствии с инструкцией, поскольку для Северного Кавказа и юга Украины характерно довольно выраженное преобладание ветров восточных румбов. Однако и для рассматриваемого района, а также для других районов, где преобладающее направление ветров выражено слабо, положенный в основу инструктивных указаний принцип является недостаточным.

Так, по данным ГМС совхоза "Динамо" Волгоградской обл., если за преобладающее направление принять румб с наибольшей повторяемостью ветра, ЛП следует размещать перпендикулярно ЮЗ румбу ($n = 17$). Если же за преобладающее направление принять ось, то ЛП надо размещать перпендикулярно оси В-З (суммарная $n = 29$, для осей первым пишется преобладающий румб), а не оси ЮЗ-СВ (суммарная $n = 27$), которая включает преобладающий румб. По ГМС "Величаевское" повторяемость ветров максимальна для восточного румба ($n = 26$), а суммарная – для осей В-З и СЗ-ЮВ ($n = 35$). Иными словами, в обоих случаях выбор размещения ЛП зависит оттого, принимается ли за преобладающее направление румб или ось румбов.

Встречаются также случаи практически равновероятностных ("круговых") роз по всем осям и румбам (ГМС "Михайловка", "Ольховка" Волгоградской обл.), когда повторяемость ветров почти одинакова для взаимно перпендикулярных осей или румбов.

Данные приложения 7 показывают значительную вариацию повторяемости ветров по румбам. Наибольшее среднее значение повторяемости n приходится на румбы В ($n = 21$) и З ($n = 14$). Их преобладание усиливается от северной к южной границе рассматриваемого района. В целом при переходе от преобладающих румбов к соседним происходит закономерное уменьшение повторяемости ветров (см. приведенный ранее вывод 1 Е. А. Цубербиллер), которая минимальна для перпендикулярных к оси В-З румбов: С ($n = 9$) и Ю ($n = 7$). Преобладающей является ось В-З ($n = 35$, сумма по румбам В и З); соседние оси СВ-ЮЗ и ЮВ-СЗ имеют меньшую сумму повторяемостей ($n = 24$); минимум повторяемости ($n = 16$) приходится на ось С-Ю.

Данные приложения 7 о повторяемости ветров по румбам в подавляющем большинстве случаев позволяют однозначно решать вопрос об ориентации ветроломных ЛП, поскольку для Северного Кавказа

сумма повторяемостей ветров по преобладающей оси В-З в 2,2 раза отличается от перпендикулярной к ней оси С-Ю и от соседних осей.

Реальная ветроломная эффективность R также варьирует довольно значительно в разных пунктах района и по осям направлений, но значительно слабее, чем повторяемость ветра по румбам и осям. Существенно важно, что величина $R_{абс}$ никогда не достигает максимума (100%) и колеблется от 19 до 92%, в среднем составляя 50-70%. Практически это означает, что даже наилучшим образом построенная система ветроломных ЛП, расположенных оптимально по отношению ко всем направлениям розы ветров, обеспечивает защиту территории в среднем лишь на 50-70% от максимально возможной для случая, если бы все ветры подходили к лесополосе только перпендикулярно. Это обусловлено не недостатками ЛП как ветроломного средства, а объективным разбросом направлений ветра.

Важно также, что при отклонении трасс ЛП от перпендикуляра к оси $R_{п} = R_{maxB-3}$ на угол 45° в обе стороны величина $R_{отн}$ в среднем по району уменьшается всего на 15%. Это означает, что даже в районах с ярко выраженным направлением преобладающих ветров, каким является юго-восток РФ, доля ветров, приходящихся на соседние с преобладающей осью, довольно значительна. Поэтому в интегральном ветроломном эффекте ЛП значительное участие принимает влияние ЛП на отличающиеся от перпендикулярного направления ветры. Примерно такой же вывод следует из работы Н. Ф. Кулика и П. Г. Чумакова [235], выполненной ими с учетом повторяемости скоростей дефляционно опасных ветров по ГМС "Роцино" Ставропольского края. Выявленное обстоятельство определяется ценным свойством ЛП как ветроломов незначительно изменять дальность своего влияния при довольно больших отклонениях ветров от перпендикулярного к ЛП направления. В ряде случаев это имеет решающее значение, особенно при необходимости оптимального сочетания ветроломных и иных (противоэрозионных) функций ЛП, а также если по организационным причинам требуется значительное отклонение трасс ЛП от оси $R_{п}$.

Следует также иметь в виду, что, хотя величина R в настоящей работе определяется как среднегодовая, она достаточно хорошо коррелирует со среднемесячными повторяемостями ветров n по осям направлений (табл. 2.5). Особенно тесна связь между осями В-З и С-Ю; между осями СВ-ЮЗ и ЮВ-СЗ она слабее. Коэффициенты корреляции r варьируют от 0,693 до 0,911 (соответствующие коэффициен-

ты детерминации $D = r^2$ составляют 0,480 и 0,829). Таким образом, налицо довольно сильная связь R и n по осям в среднем за год и ежемесячно. Практически это означает, во-первых, что размещение ЛП по годовым показателям обеспечивает в равной мере и их эффективную сезонную работу. Во-вторых, величина коэффициентов детерминации свидетельствует о том, что значения R на 48-83% определяются суммами повторяемостей направлений ветра по осям. С учетом того, что R более подходящая критериальная оценка, следует признать, что и величина суммы n по осям также пригодна для определения способа размещения ЛП как обобщенная характеристика района при достаточно большом количестве пунктов наблюдений.

Таблица 2.5

Коэффициенты корреляции между среднегодовыми величинами $R_{абс}$ реальной дальности ветроломного влияния ЛП и среднемесячными суммами повторяемостей n ветров по осям направлений

Месяц	Значения коэффициентов по осям направлений ветров							
	С-Ю		СВ-ЮЗ		В-З		ЮВ-СЗ	
	r	$\pm m_r$	r	$\pm m_r$	r	$\pm m_r$	r	$\pm m_r$
I	0,832	0,035	0,758	0,041	0,874	0,031	0,731	0,043
II	0,847	0,034	0,762	0,041	0,876	0,031	0,721	0,044
III	0,888	0,029	0,776	0,040	0,890	0,029	0,800	0,038
IV	0,877	0,030	0,751	0,042	0,895	0,028	0,778	0,040
V	0,850	0,033	0,735	0,043	0,902	0,027	0,779	0,040
VI	0,853	0,033	0,758	0,041	0,874	0,031	0,775	0,040
VII	0,829	0,035	0,759	0,041	0,845	0,034	0,731	0,043
VIII	0,819	0,036	0,778	0,040	0,868	0,031	0,736	0,043
IX	0,854	0,033	0,800	0,038	0,892	0,029	0,731	0,043
X	0,853	0,033	0,795	0,038	0,911	0,026	0,790	0,039
XI	0,832	0,035	0,751	0,042	0,870	0,031	0,693	0,046
XII	0,796	0,038	0,731	0,043	0,857	0,033	0,717	0,044

Для суждения о том, насколько уменьшается интегральная ветроломная эффективность ЛП при ее отклонении от перпендикуляра к оси $R_{п}$, средних показателей недостаточно. Данные табл. 2.6 дают представление о величине и частоте отклонений по всем 250 ГМС района при отклонении трасс ЛП на угол 45° вправо и влево от оси $R_{п}$, если это направление считать от центра осей, а также при отклонении на 90° , т. е. перпендикулярно оси $R_{п}$. Для рассматриваемого района $R_{п}$

чаще всего (196 из 250 ГМС) совпадает с осью В-З. Поэтому отклонение от оси В-З означает во всех случаях уменьшение интегральной дальности влияния лесополос: при отклонении вправо на 45° (ориентация ЛП поперек оси СВ-ЮЗ), влево на 45° (поперек оси ЮВ-СЗ), а на 90° – поперек оси С-Ю (соответственно I, II, III колонки в табл. 2.6). Если приемлемо уменьшение дальности ветроломного влияния $\Delta R_{отн} = R_{п\ отн} - R_{отн}$ на 15% (примерно настолько уменьшается косинус угла при отклонении ЛП на 30° от перпендикулярного к ней направления ветра), то в 59,4-62,9% случаев отклонение ЛП на угол 45° и в 16,7% – на угол 90° не превышает $\Delta R_{отн} = 15\%$.

Если же признать допустимым $\Delta R_{отн} = 30\%$, то отклонение на угол 45° возможно в 93%, а на угол 90° в 50% случаев. Очевидно: для районов с менее выраженным направлением преобладающих ветров отклонение трассы ЛП от оси $R_{п}$ даст еще меньшее снижение ветроломного эффекта [85].

Между величинами $R_{абс}$ для разных осей имеется различной тесноты связь (табл. 2.7, рис. 2.8). Она наиболее сильна (практически функ-

Таблица 2.6

Частоты f и кумуляты Σf , %, величины $\Delta R_{отн}$, %, для осей, отклоняющихся на угол 45° вправо (I), влево (II) и на 90° от оси $R_{п}$ (III)

$\Delta R_{отн}$	I		II		III	
	f	Σf	f	Σf	f	Σf
0-5	17,5	17,5	21,9	21,9	0,9	0,9
6-10	23,9	41,4	18,3	40,2	5,5	6,4
11-15	21,5	62,9	19,2	59,4	10,3	16,7
16-20	13,2	76,1	13,5	72,9	12,8	29,5
21-25	8,8	84,9	12,8	85,7	11,5	41,0
26-30	7,9	92,8	7,5	93,2	9,4	50,4
31-35	6,0	98,8	3,2	96,4	10,7	61,1
36-40	0,8	99,6	2,0	98,4	12,4	73,5
41-45	0	99,6	1,2	99,6	12,0	85,5
46-50	0,4	100,0	0,4	100,0	5,1	90,6
51-55	-	-	-	-	1,7	92,3
56-60	-	-	-	-	3,0	95,3
61-65	-	-	-	-	1,7	97,0
66-70	-	-	-	-	1,3	98,3
71-75	-	-	-	-	0,8	99,1
76-80	-	-	-	-	0,9	100,0

Таблица 2.7

Корреляционно-регрессионные характеристики связи реальной дальности R_{abc} ветроломного влияния ЛП по разным осям направлений

Характеристики	Уровень регрессии					
	$R_{C-Ю} = f(R_{CB-ЮЗ})$	$R_{C-Ю} = f(R_{ЮВ-СЗ})$	$R_{CB-ЮЗ} = f(R_{ЮВ-СЗ})$	$R_{B-З} = f(R_{C-Ю})$	$R_{B-З} = f(R_{CB-ЮЗ})$	$R_{B-З} = f(R_{ЮВ-СЗ})$
Свободный член уравнения a	51,1	70,5	116,0	110,0	72,0	54,6
Угловой коэффициент b	0,0161	-0,336	-0,9010	-0,798	-0,0352	0,253
Ошибка углового коэффициента $\pm m_b$	0,0876	0,0823	0,0231	0,0124	0,0719	0,0680
Ошибка уравнения регрессии $\pm m_{yx}$	8,47	8,20	2,30	1,6500	6,96	6,96
Коэффициент корреляции r	-0,0117	-0,2510	-0,9270	-0,972	-0,0310	0,230
Ошибка коэффициента корреляции $\pm m_r$	0,0635	0,0615	0,024	0,015	0,0630	0,062

циональна) для осей В-З и С-Ю, СВ-ЮЗ и ЮВ-СЗ, для осей же В-З и ЮВ-СЗ, С-Ю и ЮВ-СЗ очень слаба. Для осей В-З и СВ-ЮЗ, а также С-Ю и СВ-ЮЗ связь практически отсутствует. Уравнение множественной регрессии величин R для разных осей имеет вид

$$R_{B-З} = 219 - 0,961R_{C-Ю} - 0,840R_{CB-ЮЗ} - 0,827R_{ЮВ-СЗ} \quad (2.8)$$

($r_{\text{множ}} = 0,993$; ошибка уравнения $m = 0,8$).

Судя по величинам ошибки уравнения регрессии m и множественному коэффициенту корреляции, точность аппроксимации этим уравнением исходных данных весьма высокая.

Располагая уравнением множественной регрессии и частными уравнениями между отдельными переменными при высоких коэффициентах корреляции, можно с большой точностью рассчитывать величины R_{abc} для любой оси направлений, минуя выполненные по выражению (2.2) расчеты, результаты которых приведены в приложении 7.

Поскольку связь между некоторыми осями очень слабая (практически отсутствует), то приняв для осей СВ-ЮЗ и ЮВ-СЗ средние величины $R_{abc} = 61$ (приложение 6) и подставив их в уравнение (2.8), получим результаты, иллюстрируемые рис. 2.9. Аналогичные розы

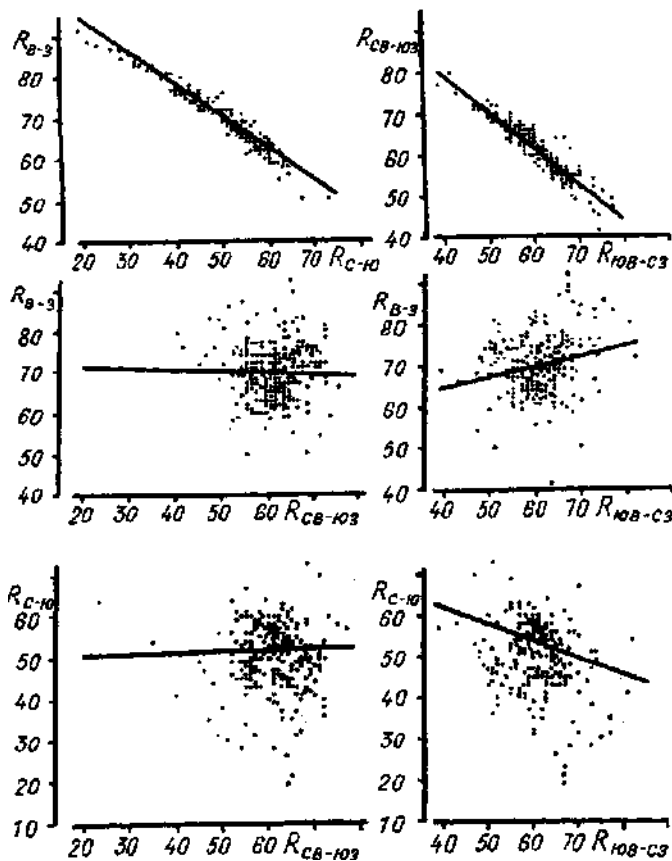


Рис. 2.8. Связь величин $R_{абс}$ (%) по осям направлений ветра на юго-востоке Северной Евразии

можно построить и при других средних или любых наперед заданных значениях R для осей. Рисунок показывает, что по мере уменьшения $R_{С-Ю}$ закономерно возрастает $R_{В-З}$. Если же, например, стабилизировать оси $R_{С-Ю}$ и $R_{В-З}$ на уровне средних значений, то при возрастании $R_{СВ-ЮЗ}$ происходит уменьшение $R_{ЮВ-СЗ}$ и т. д. Расчеты величин R для промежуточных румбов по выражению (2.3) дают несколько иные в сравнении с рассмотренными выше результаты. При незначительных различиях в суммах повторяемостей по осям величины R получаются менее контрастными, чем при расчете по выражению (2.2).

Кроме того, величины $R_{п}$, как правило, смещаются от оси ВЗ вправо или влево на угол $22^{\circ},5$, т. е. к соседним промежуточным румбам.

Для ГМС с ярко выраженным преобладанием ветров положение оси $R_{п}$ практически не меняется, но контраст в величинах между $R_{п}$ и R для соседних промежуточных румбов обычно меньше, чем при расчетах по выражению (2.2). В целом второй вариант расчета показывает увеличение защищенности территории ЛП в среднем примерно на 10%.

Происходит это по той простой причине, что при относительно равномерном распределении ветров по румбам защищенность территории увеличивается, если размещать ЛП перпендикулярно не оси направлений ветра, а биссектрисе между ними. Так, при "круговой" розе с $n = 12,5\%$ по всем осям средняя величина $R_{абс}$ по первому варианту расчета равна 60,36, по второму 65,33, т. е. на 8,2% больше. Это увеличение связано с тем, что во втором случае в целом отклонение ЛП от перпендикулярного к оси направления происходит на меньший

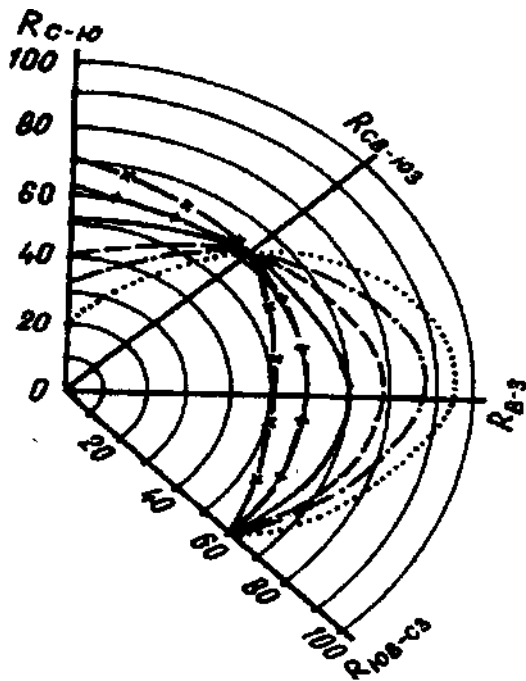


Рис. 2.9. Динамика взаимосвязи величин R_{abc} (%) по осям направлений ветра на юго-востоке Северной Евразии

(В) до 28 ± 3 (ЮЗ). При этом амплитуда колебаний в целом возрастает с возрастанием средних арифметических. Однако, несмотря на значительную вариацию повторяемости в пределах каждого румба, различия средних значений по румбам достоверны ($t_{факт} > t_{табл}$, $НСР_{05} > t_{mx}$) при сравнении их со средними по румбам преобладающей оси направлений ЮЗ-СВ.

Рассматриваемый район в целом отличается большей повторяемостью ЮЗ, ЮВ, Ю и З направлений в сравнении с противоположными, высокой стабильностью преобладающего румба (ЮЗ) и оси направлений (ЮВ-СВ). Лишь в двух пунктах из 27 (Белокуриха и Змеиногорск) преобладающими являются ветры южного направления и оси Ю-С. Это объясняется скорее всего действием орографического фактора.

По уменьшению средних величин повторяемости оси направлений располагаются в следующем порядке: ЮЗ-СВ, Ю-С, ЮВ-СЗ, З-В. Таким образом, отклонение лесополосы от перпендикуляра к преобладающей оси максимально снижает ветроломный ее эффект не для взаимно перпендикулярных осей ($\alpha = 90^\circ$), а для одной из соседних

угол и, кроме того, уменьшается вероятность направлений ветра, параллельных ЛП, для которых ветроломный эффект ЛП минимален.

Резюмируя итоги выполненного регрессионно-статистического анализа ветров в рассматриваемом районе, следует отметить, что такой подход значительно расширяет наши представления о природе ветрового режима и ветроломного эффекта ЛП, что позволяет более обоснованно решать вопросы их размещения на местности.

В Алтайском крае вариационно-статистические характеристики повторяемости ветров (приложение 8) свидетельствуют о значительной их вариации по румбам (коэффициент вариации $V = 25-56\%$). Средние величины \bar{n} (%) колеблются от 6 ± 1

($\alpha = 45^\circ$) – правой при счете осей по часовой стрелке от СВ румба на оси преобладающего направления ЮЗ-СВ. Между прочим, это обстоятельство в некоторой степени противоречит ныне действующим инструктивным указаниям, ограничивающим отклонение лесополос на 30° от преобладающего направления ветра, поскольку очевидно, что минимальное снижение ветроломного эффекта в рассматриваемом случае происходит при максимальном (на 90°) отклонении лесополосы от перпендикуляра к преобладающей оси направлений. Такая парадоксальная ситуация обусловлена, с одной стороны, спецификой ветрового режима в Алтайском крае, а с другой – недостатками методического подхода к размещению лесополос, основанного на рассмотрении повторяемости и других характеристик ветров только по румбам или осям. Как показал специальный анализ, выполненный автором при участии в расчетах Ю. М. Суковатова, аналогичная ситуация имеет место и при расчетах "энергетических" характеристик ветров по румбам с учетом не только их повторяемости, но и квадрата или куба скорости. Этот вопрос имеет самостоятельное значение и здесь не рассматривается.

Переходя к анализу реальной дальности ветроломного влияния лесополос R (графы 6-9 приложения 8), заметим, что она меняется в широком диапазоне "абсолютных" значений: минимум от 29 (ось ЮВ-СЗ) максимум до 84% (ось ЮЗ-СВ). Это означает, что при размещении лесополосы перпендикулярно оси дальность ее влияния соответственно составляет 29-84% от максимально возможного (100%). Очевидно: добиться большего ветроломного эффекта невозможно, ибо величина R определяется не только ориентацией лесополосы, но и розой повторяемости ветров, обусловленной особенностями циркуляции воздушных масс в данной местности.

Средние значения R_{abc} варьируют по осям от 46 ± 6 до $72 \pm 3\%$ ($V = 8,2-16\%$), т. е. существенно слабее, чем повторяемость ветров по румбам, принадлежащим к тем же осям. Колебания величины R_{Π} имеют диапазон 65-84%, что характеризует рассматриваемую территорию как неоднородную по степени преобладания направлений ветра: от слабой ($R_{\Pi} = 61-70\%$) до средней ($R_{\Pi} = 71-80\%$) и сильной ($R_{\Pi} = 81-90\%$). В среднем же $R_{\Pi ЮЗ-СВ} = 72\%$, что соответствует средней степени выраженности преобладающей оси направлений.

Обратимся к анализу реальной дальности ветроломного влияния лесополос. Для R_{abc} также характерна высокая стабильность ориента-

ции преобладающих значений R_{Π} . Только в пяти пунктах (Камень-на-Оби, Сорокино, Бийск-Зональная, Волчиха и Змеиногорск) преобладающими осями направлений являются З-В и Ю-С; в остальных случаях ЮЗ-СВ. Любопытно при этом, что в двух пунктах (Волчиха, Змеиногорск) ориентация лесополос одинакова как при размещении поперек оси повторяемостей ветров, так и поперек оси R_{Π} . В трех других случаях ориентации лесополос различаются на угол 45° в зависимости от того, размещаются ли они поперек преобладающей оси повторяемостей или поперек R_{Π} .

Для края в целом средние значения $R_{абс}$ по осям расположены в убывающем порядке следующим образом: ЮЗ-СВ, Ю-С, З-В, ЮВ-СЗ, т. е. заметно отличаются от порядка расположения осей по повторяемостям ветров. Различия средних значений $R_{абс}$ по осям в целом менее достоверны ($НСР_{05} = 3-3,7$), чем повторяемостей по румбам ($НСР_{05} = 2,6-4,0$).

Обращаясь к оценке изменений $\Delta R_{абс}$ ветроломной эффективности при отклонении лесополосы от наилучшего положения (перпендикулярно R_{Π}), следует отметить, что в среднем они невелики и составляют для $R_{абс}$ 7-13% при отклонении от R_{Π} на 45° и 26% – при отклонении на 90° . В относительных величинах это означает снижение эффективности в среднем на величину $\Delta R_{отн}$ от 10-19% ($\alpha = 45^{\circ}$) до 36% ($\alpha = 90^{\circ}$).

В табл. 2.8 приведены характеристики $\Delta R_{отн} = R_{\Pi отн} - R_{отн} = 100 - R_{отн}$, дающие более детальное представление об уменьшении ветроломной эффективности лесополос при отклонении их направления от наилучшего – перпендикуляра к R_{Π} . Они свидетельствуют, что отклонение лесополос на 45° уменьшает эффективность до 10% в 19-40% случаев, а на 20° – в 44-70% случаев. Отклонение же на 90° в примерно половине случаев уменьшает дальность влияния не более чем на 35%.

Учитывая, что Алтайский край отличается довольно хорошо выраженным направлением преобладающих ветров, такую величину снижения дальности влияния следует признать относительно небольшой.

Полученные результаты имеют важное практическое значение, поскольку знание изменения дальности влияния лесных полос при их разной ориентации на местности позволяет не только получать количественную оценку ветроломного эффекта, но и более рационально использовать их другие мелиоративные функции, в частности противоэрозионные, без существенного уменьшения ветроломных.

Таблица 2.8

Частоты f и кумуляты Σf величины $\Delta R_{отн}$ для осей, отклоняющихся на угол 45° вправо (I), влево (II) и на угол 90° от оси $R_{п\ отн}$ (III), %

$\Delta R_{отн}$	I		II		III	
	f	Σf	f	Σf	f	Σf
5	11,1	11,1	14,8	14,8	-	-
6-10	7,4	18,5	25,9	40,7	3,8	3,8
11-15	11,1	29,6	14,8	55,5	-	-
16-20	14,8	44,4	14,8	70,4	7,7	11,5
21-25	37,0	81,5	22,2	92,6	7,7	19,2
26-30	11,1	92,6	3,7	96,3	11,5	30,7
31-35	3,7	96,3	-	-	15,4	46,2
36-40	-	-	3,7	100,0	11,5	57,7
41-45	3,7	100	-	-	15,4	73,1
46-50	-	-	-	-	15,4	88,5
51-55	-	-	-	-	3,8	92,3
66-70	-	-	-	-	7,7	100,0

Кроме того, наличие связи между величинами $R_{п}$ и R_{45° , R_{90° (рис. 2.10) позволяет рассчитывать ветроломный эффект при любой ориентации лесных полос по известной величине $R_{п}$. При этом наиболее тесная, близкая к функциональной связь ($R_{абс} = 150 - 1,4 R_{п\ абс}$, $r = 0,951 \pm 0,063$, $m_{yx} = 2,5$) отмечается между взаимно перпендикулярными осями. Для осей же, повернутых относительно оси $R_{п}$ на угол 45° , связь довольно слабая I) $R_{абс} = 30 + 0,34 R_{п\ абс}$, $r = 0,387 \pm 0,184$, $m_{yx} = 5,6$; II) $R_{абс} = 45 + 0,19 R_{п\ абс}$, $r = 0,175 \pm 0,197$; $m_{yx} = 5,7$. Ошибки m_{yx} уравнений регрессии относительно невелики. Выявленный харак-

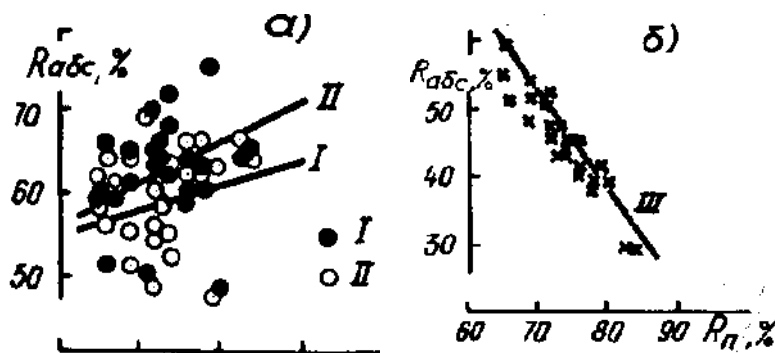


Рис. 2.10. Связь величин $R_{абс}$ и $R_{п\ абс}$ в Алтайском крае: а) для осей, отклоняющихся от $R_{п}$ на угол 45° влево (I) и вправо (II); б) для оси, перпендикулярной $R_{п}$ (III). Обозначения римскими цифрами на рис. и в табл. 2.8 идентичны

тер связей скорее всего обусловлен тем, что преобладание направления ветра, как и редукция его альтернативы, обусловлены действием законов циркуляции воздушных масс, а отклонения от него – случайными обстоятельствами.

2.4.2. Районирование ветроломной эффективности лесополос

Оценка ветрового режима и ветроломной эффективности лесополос в предыдущем разделе на примере двух районов позволила, наряду со специфическими особенностями, выявить и некоторые общие их закономерности. Для полноты суждения о них обратимся к обобщенным данным (приложение 9, рис. 2.11).

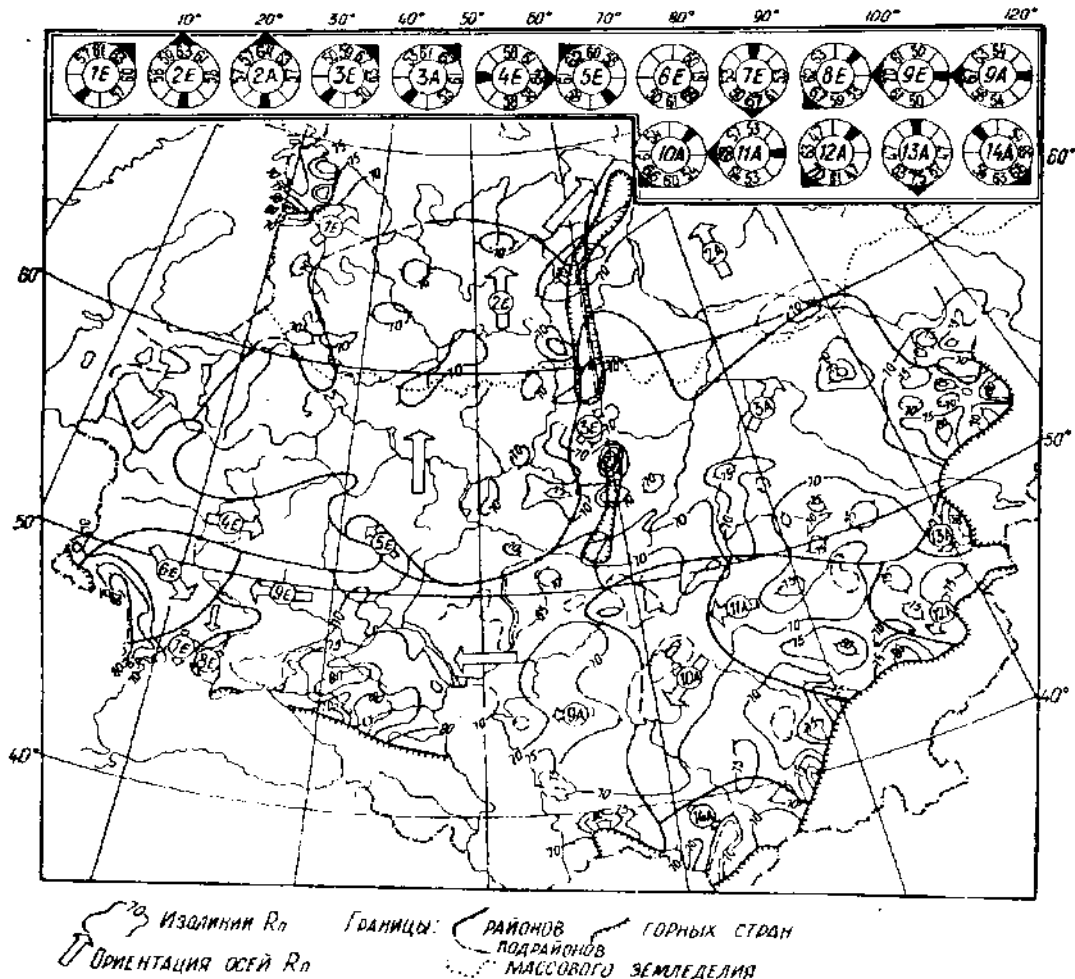


Рис. 2.11. Карта изолиний величины R_n и районов по ориентации осей преобладающих направлений ветра. На врезке в кружках – номера районов и подрайонов (А – азиатская, Е – европейская части Северной Евразии)

Не вдаваясь в оценку районных различий, отметим то общее, что свойственно характеристикам ветрового режима в целом на всей территории. Подчеркнем, во-первых, достаточно высокую статистическую достоверность полученных результатов (низкие значения величин точности опыта $S_{R\%}$ и высокая достоверность $НСР_{05}$) для всех районов с достаточно большим числом N гидрометеостанций. Лишь в отдельных районах (3Е, 5Е, 8Е, 13А, 14А) из-за малого числа ГМС не все различия, особенно при сравнении второстепенных осей, – статистически достоверны. Во-вторых, несмотря на значительный размах средних величин $R_{\Pi \text{ абс}}$ по отдельным районам (от 62 до 75%) в сравнении с второстепенными осями, в целом картина изменения показателя $R_{\text{абс}}$ единообразна: от максимума $R_{\Pi \text{ абс}}$ происходит монотонное убывание $R_{\text{абс}}$ при повороте оси на 45° и 90° и кривая $R_{\text{абс}} = f(\alpha)$ имеет колоколообразный вид, напоминающий кривую плотности вероятности Гаусса (рис. 2.12). Таков же характер изменения и $R_{\text{отн}} = f(\alpha)$.

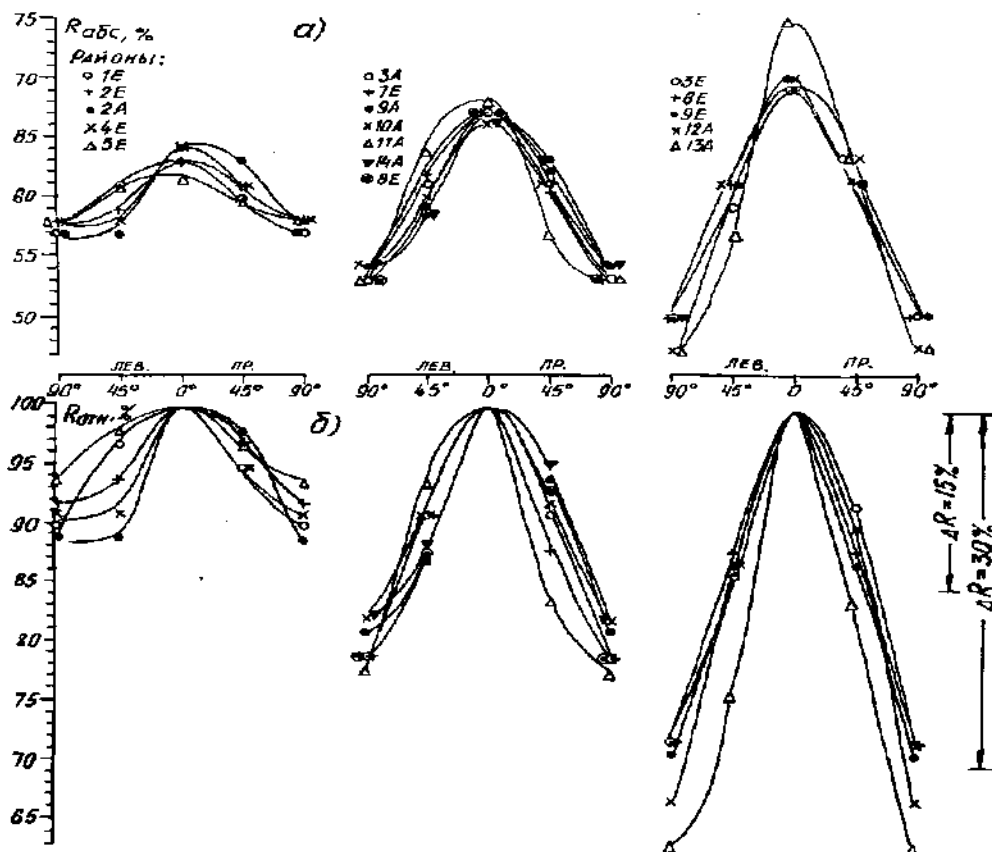


Рис. 2.12. Изменение абсолютных $R_{\text{абс}}$ и относительных $R_{\text{отн}}$ величин ветроломного эффекта при отклонении ЛП от преобладающей оси R_{Π} на угол 45° вправо (пр.), влево (лев.) по часовой стрелке и перпендикулярно R_{Π} ($\alpha = 90^\circ$)

Если б эти зависимости можно было рассматривать как чисто статистические, то такой характер кривых можно было бы объяснить как постепенное убывание величины R_{Π} преобладающего направления при отклонении от него вправо и влево с минимумом для перпендикулярного ему направления. Однако практически несущественная связь между осью R_{Π} и соседними осями, отклоненными вправо и влево на 45° (рис. 2.8 и 2.13а; для рис. 2.13а $R_{45,\Pi \text{ абс}} = 52 + 0,14R_{\Pi \text{ абс}}$, $r = 0,270 \pm 0,249$, $m_{yx} = 17$ и $R_{45,\text{л} \text{ абс}} = 61 - 0,015R_{\Pi \text{ абс}}$, $r = -0,026 \pm 0,258$, $m_{yx} = 1,9$), и максимально тесная связь между взаимно перпендикулярными осями (рис. 2.8 и 2.13б; для рис. 2.13б $R_{90 \text{ абс}} = 124 - 1,05R_{\Pi \text{ абс}}$, $r = -0,945 \pm 0,084$, $m_{yx} = 1,2$) заставляют искать иное объяснение.

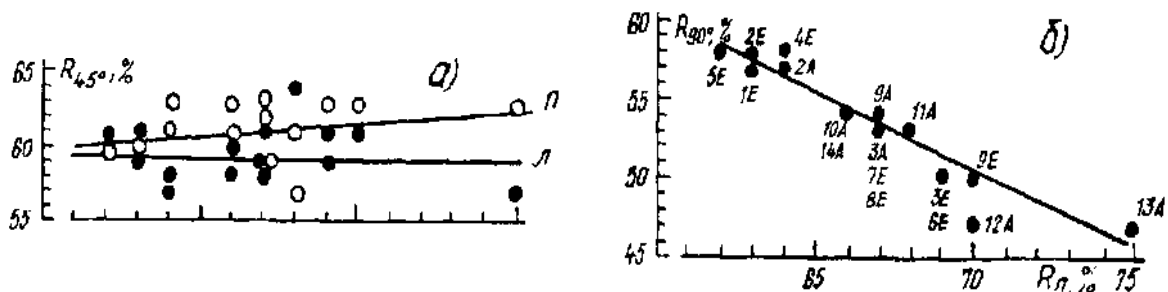


Рис. 2.13. Связь $R_{\Pi \text{ абс}} = f(R_{\alpha})$:

а) при отклонении от R_{Π} на угол $\alpha = 45^{\circ}$ вправо (Π) и влево (Л); б) на $\alpha = 90^{\circ}$

На наш взгляд, особенности характеристик ветрового режима во многом объяснятся, если ввести понятие "колеблющегося вектора" направлений ветра. Поскольку направление ветра определяется положением двух центров противоположно вращающихся атмосферных вихрей – циклона и антициклона, – то в каждый данный момент времени направление ветра является строго определенным, хотя и зависящим от множества региональных и локальных факторов: положения центров высокого и низкого давления, размеров антициклона и циклона, перепада давлений, свойств подстилающей поверхности и т. п. Во времени и пространстве эти характеристики меняются по какому-либо закону или случайно, поэтому вектор направлений "дрожит", колеблется, что подтверждается легко наблюдаемыми колебаниями флюгера. Таким образом, направление ветра одновременно определяется совокупностью строго детерминированных процессов и явлений, обеспечивающих выдержанность некоторого одного направления, и

его случайных возмущений. Детерминированность исключает взаимно противоположные направления ветра (ветер не может дуть в одну сторону и одновременно в другую). Случайность заставляет отклоняться детерминированное направление с образованием "пучка", "конуса" направлений, с убыванием вероятности больших отклонений от среднестатистического. При этом очевидно, что вероятность направлений, перпендикулярных преобладающему, тем меньше, чем больше выражена устойчивость основного направления.

Таким образом, картина распределения (повторяемости) ветра по направлениям отражает двойственную вероятностно-детерминированную природу ветрового потока. Экстремум функции определяется закономерными причинами, а ее "крылья" – действием многих разнообразных случайно сочетающихся факторов. С этих позиций становится понятным, что при отклонении на угол $\pm 45^\circ$ от преобладающего направления вероятность его проявления уменьшается хаотически, случайно, не обнаруживая закономерной связи с вероятностями соседних румбов. По румбам же, перпендикулярным (и противоположным) основному, повторяемость изменяется (уменьшается) закономерно, что и подтверждается наличием связи между R_{Π} и R_{90° на рис. 2.8 и 2.13б.

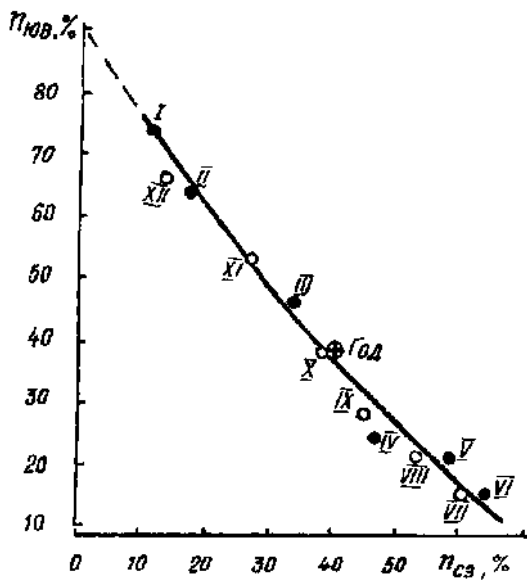


Рис. 2.14. Связь повторяемости ветров противоположных румбов (Казахстан, ГМС 218 "Дружба")

Убывание повторяемости по румбам, противоположным преобладающему, подтверждается данными приложений 7-9. Связь между преобладающим и противоположным ему направлениями отчетливо иллюстрируется рис. 2.14 и особенно подчеркивается месячной динамикой повторяемости: по мере увеличения повторяемости ветра преобладающего румба повторяемость противоположного уменьшается так, что они меняются местами.

Характерной особенностью ветрового режима рассматриваемой территории являются бимодальность и полярности (парность, симметричность) экстремумов (как максимумов, так и минимумов) повторяемости ветров по румбам (рис. 2.15), проявляющиеся независимо от

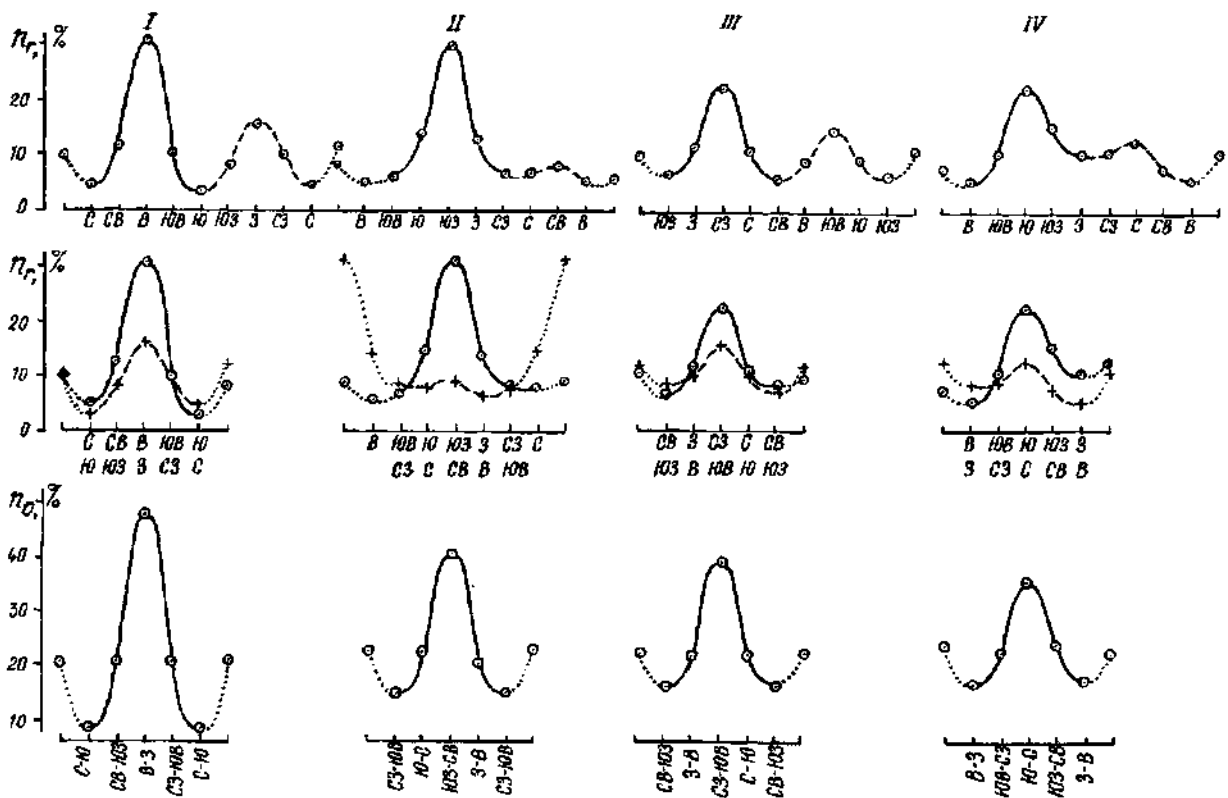


Рис. 2.15 Осредненные повторяемости ветров по румбам n_r и осям n_o при разной ориентации I – Краснодарский и Ставропольский края; II – юг Западной Сибири; III – Украина и Молдавия; IV – Северное УГМС

розы ветров в любой точке территории. Она выражается в том, что каждому румбу с максимальной повторяемостью ветров (первый экстремум) соответствует прямо противоположный румб с повышенной, но меньшей повторяемостью (полярно противоположный, зеркально симметричный экстремум). Аналогично каждому румбу с минимальной повторяемостью ветров (второй экстремум) соответствует прямо противоположный второй минимум. При этом оси максимумов и минимумов взаимно перпендикулярны и вариация повторяемостей в точках минимумов от района к району существенно меньше, чем вариация в точках максимумов. Таким образом, район от района отличается двумя главными характеристиками – ориентацией оси максимумов и суммой повторяемости направлений по осям.

Очевидно: отмеченная универсальная особенность ветрового режима территории имеет единый фундаментальный источник, выявление которого возможно только на основе анализа физической природы ветра, а для этого требуются специальные теоретические исследования. Не

ставя перед собой задачу рассматривать теорию ветра, выскажем предположение о сущности явления. Поскольку в данной точке направления ветрового потока определяются взаимным положением центров высокого (антициклон) и низкого (циклон) давления, то стабильность направления ветра объясняется неизменным прохождением этих центров относительно точки местности по оси, их соединяющей (скажем, циклоны проходят обычно севернее, а антициклоны южнее). В этой ситуации будет формироваться одно (и только одно) преобладающее направление, точнее, одномодальный пучок направлений с их рассеиванием за счет смещения центров давления относительно точки наблюдения. Перпендикулярно соединяющей эти центры оси будут формироваться минимумы повторяемости ветров. Второй максимум повторяемости, зеркально противоположный первому, по этой схеме будет формироваться при смене знака вектора направлений, т. е. когда центры высокого и низкого давлений меняются местами (так может быть объяснена бимодальность максимумов противоположных направлений). Чем стабильнее пространственное положение трасс циклонов и антициклонов (а они имеют, как известно, довольно четкую пространственную локализацию [50, 51]), тем ярче выражены по величине и стабильны по ориентации румб и ось преобладающих направлений, и наоборот. Эта ситуация имеет место на Северном Кавказе и в Западной Сибири (см. рис. 2.15), в других районах она слабее.

Применительно к задаче оптимального размещения ветроломных ЛП отмеченные особенности ветрового режима имеют важное значение, особенно с учетом закона изменения дальности влияния ЛП при отклонении их от перпендикуляра к преобладающему направлению ветра. С одной стороны, повторяемость ветров при отклонении от преобладающего направления убывает плавно (о чем свидетельствует колоколообразный вид кривых на рис. 2.15), а с другой – дальность влияния ЛП при отклонениях до 30-45° меняется сравнительно слабо. Сочетание этих двух обстоятельств и определяет специфику ветроломного действия ЛП при их отклонении от направления господствующего ветра. Кроме того, что не менее важно, универсальность распределения направлений ветра по румбам служит веским аргументом в пользу тезиса о том, что вредоносные ветры не являются какими-то специфически особенными феноменами, а определяются общим режимом циркуляции атмосферы. Иными словами, общая циркуляция атмосферы формирует закон распределения направлений

ветра, а время года (для метелей и суховеев) или состояние подстилающей поверхности и режим скоростей (при дефляции) определяют вредоносность ветра. И если для конкретного сезона года складывается какое-либо преобладающее в многолетнем ряду направление ветра, то это и будет направление вредоносного ветра (с учетом статистической устойчивости пучка направлений).

При оценке ветрового режима отмеченные закономерности особенно важны, ибо позволяют получить единую связь между величинами R_{Π} и R по другим осям как в пределах района (см. рис. 2.8, 2.10), так и по совокупности всех районов (см. рис. 2.13б) обширной территории европейской и азиатской частей Северной Евразии (см. рис. 2.11). Это означает, что вся эта территория отличается закономерной связью характеристик ветров в разных районах.

Обратимся к анализу данных приложения 9 и карты (см. рис. 2.11) для количественной характеристики ветроломной эффективности ЛП в Северной Евразии. Анализ карты и данные приложения позволяют сделать следующие основные выводы для рассматриваемой территории [83, 88].

1. Наибольшую площадь занимают районы, в которых преобладающие направления осей R_{Π} имеют чаще всего широтную или меридиональную ориентацию с соответствующим переносом воздушных масс в западном и северном направлениях. На районы с доминированием других (промежуточных) осей приходится существенно меньшая территория; для них характерен преимущественно перенос ЮЗ-СВ и СВ-ЮЗ. Интересно, что перенос воздушных масс в направлении с ЮВ на СЗ, считавшийся ранее характерным для юго-восточных районов европейской части Северной Евразии с проявлением засух и суховеев, практически нигде не обнаруживается.

2. Степень выраженности преобладания осей направлений ветров, характеризуемая абсолютной величиной R_{Π} , нарастает в полосе, примыкающей к горным странам, причем направление осей преобладающих ветров в этой полосе субпараллельно границам горных стран. В азиатской части районы с ярко выраженной степенью преобладания направлений ветров более обширны по площади, чем в европейской, что скорее всего обусловлено высотой гор.

На большей части территории выделенных районов (по крайней мере, более 2/3 ее) $70\% \geq R_{\Pi} \geq 60\%$. Если учесть, что $R = 60\%$ при "идеальной" розе ветров, т. е. когда все оси по повторяемости ветров

одинаковы, равноценны, то этот факт свидетельствует о *слабой выраженности преобладающих направлений осей ветров на подавляющей части рассматриваемой территории*. Важно отметить, что в этих районах и по другим осям, смежным с преобладающей, величины R находятся в большинстве случаев в диапазоне $70\% \geq R_{\Pi} \geq 60\%$. Что же касается значений $R_{\Pi} \geq 75-80\%$, то они встречаются на относительно небольших по площади участках, как правило, в непосредственной близости к горным странам (и в их пределах).

Из анализа этих фактов вытекает исключительно важное следствие: на значительной части земледельческой территории Северной Евразии (там, где величина суммарной ветроломной эффективности лесополос для преобладающих осей направлений ветра R_{Π} не превышает 70%) отклонение размещения лесополос от перпендикуляра к оси преобладающих направлений ветра на угол 45 и даже 90° не приводит к существенному уменьшению их ветроломной эффективности.

Этот вывод имеет первостепенное значение при решении вопроса о размещении лесополос в районах совместного проявления эрозии и вредоносных ветров (главным образом Нечерноземье, ЦЧО, север Украины, Среднее Поволжье). Иными словами, в таких районах лесополосы можно и необходимо размещать сообразуясь с рельефом местности.

3. Тот факт, что R_{Π} существенно меньше 100% и редко превышает 80-85%, составляя чаще всего менее 70%, означает, что для реальных, правильно построенных систем ветроломных лесополос (т. е. при расположении основных лесополос строго перпендикулярно осям преобладающих направлений ветров) потенциально возможная их ветроломная эффективность и максимальная дальность влияния ($R_{\max} = 100\%$, $L_{\max} = 1$) реализуются чаще всего лишь на 60-70%. Это обусловлено не недостатками лесополос как ветроломного средства, а объективными законами распределения направлений ветров по сторонам горизонта, "разбросом" направлений по разным румбам. В силу этого нельзя добиться повышения ветроломной эффективности лесополос совершенствованием только способов их размещения. Поскольку даже при правильной ориентации лесополос относительно преобладающих осей высока вероятность отклонения направления ветра от перпендикуляра к лесополосам на большие углы (45 и даже 90°, т. е. параллельно лесополосе), особое значение приобретает при-

менение в межполосном пространстве других (в первую очередь агротехнических) средств защиты от вредоносных ветров.

Расчеты, выполненные с поправкой на изменение ветропроницаемости лесополос при косых ветрах, не изменяют по существу сделанные выводы. Это объясняется тем, что величины R , рассчитанные с такой поправкой, уменьшаются примерно одинаково по всем осям. При этом амплитуда максимальных ($R_{\text{п}}$) и минимальных (для перпендикулярных к $R_{\text{п}}$) значений величины R остается практически такой же (несколько уменьшается в среднем от 5-29 до 4-26%), как и без поправки на изменение ветропроницаемости. По порядку величины эта амплитуда различий не превышает уменьшение дальности влияния (20-30%), допускаемое действующими инструктивными указаниями при отклонении лесополос на 30° .

Вывод об отсутствии ярко преобладающих осей ветров не относится к значительной части территории (юг Украины, районы Северного Кавказа, Средней Азии, Западной Сибири), где оси направлений сильно выражены. Эти территории, как правило, страдают от засухи и дефляции. При размещении лесополос здесь нельзя не считаться с направлением ветров.

Кроме того, вывод о целесообразности размещения лесополос с учетом главным образом рельефа в районах с незначительной выраженностью преобладания направлений (осей) вредоносных ветров не свидетельствует об ухудшении ветроломных функций лесополос. Наоборот, это означает, что их ветроломная эффективность будет примерно одинаковой почти по всем направлениям. Это очень важно, так как обеспечивает оптимальное сочетание ветроломных, стокорегулирующих и противоэрозионных функций лесополос.

Совокупность изложенных материалов позволяет заключить, что в большинстве земледельческих районов, подверженных совместному проявлению эрозии и вредоносных ветров, при размещении лесополос предпочтение следует отдавать рельефу, т. е. ориентироваться в первую очередь на использование стокорегулирующих и противоэрозионных функций лесополос.

2.5. Расчет противоэрозионных лесополос

В основу расчета агротехнических противоэрозионных мероприятий рассредоточенного по территории (площадного) действия

обычно принимаются экспериментальные данные оценок эрозии на стандартных площадках с известной длиной и крутизной. Эти данные служат основой получения коэффициентов относительной противоэрозионной эффективности агроприемов, агрофонов, состояния растительного покрова на склонах, севооборотов или целых систем мероприятий. Именно этот подход использован в уравнении Службы охраны почв (СОП) США и отечественных его модификациях. Что касается приемов сосредоточенного действия – рубежей (буферных полос, гидротехнических устройств – валов, канав, валов-террас и т. п., а также ЛП), то для них экспериментальные оценки пространственной динамики эрозии на разном расстоянии вверх и вниз от рубежа почти отсутствуют или встречаются единично [16, 142, 362, 395]. Больше имеется данных по оценке интегрального противоэрозионного эффекта системы рубежей, в том числе ЛП на целых водосборах. В общем интегральные оценки свидетельствуют о чрезвычайно высоком эффекте систем противоэрозионных рубежей: вынос мелкозема за пределы водосбора уменьшается до десятков и единиц кг/га или вовсе не регистрируется. Это имеет место в том случае, если поступающая на рубеж вода поверхностного стока перехватывается и полностью поглощается (гл. 1, материалы о стокорегулирующей роли ЛП в сочетании с валами и канавами) или отводится вдоль рубежа и сбрасывается на естественные или специально созданные эрозионно стойкие водотоки или инженерные сооружения. В этом случае смыл рубежом прерывается и ниже него производится лишь за счет местного стока, всякий раз заново, как если бы выше рубежа сток и эрозия отсутствовали полностью. При частичном поглощении воды на рубеже ниже него смыл осуществляется как за счет местного, так и транзитного стока. Расчеты для этой ситуации впервые выполнены Г. П. Сурмачем [364], В. С. Буруменским и М. В. Кумани [54]. Следует признать, однако, что такая схема расчета весьма условна, ибо равномерного перелива воды по всей трассе рубежа никогда не происходит, а сосредоточенный перелив, особенно на ложбинах, трудно формализуем. Поэтому для нынешнего уровня состояния вопроса целесообразно исходить из полного прерывания стока и эрозии на рубеже.

Ранее (гл. 1) отмечалось, что ЛП, в отличие от всех известных рубежей, характеризуется ярко выраженным пространственным влиянием на сток и эрозию в зимний период из-за наличия снежных шлейфов. Под снежным шлейфом поглощается больше талой воды,

скорость ее течения резко (на несколько порядков) замедляется. Это в совокупности приводит к практически полному отсутствию смыва в шлейфовой зоне ЛП. Около ЛП формируется пояс отсутствия эрозии L_B , равный обычно 5-8 высотам ЛП в обе стороны.

На основе изложенного нами предусмотрена соответствующая схема расчета противоэрозионных ЛП (рис. 2.16). Место размещения противоэрозионной ЛП на склоне определяется следующим образом. Начиная от водораздела, выполняется расчет смыва в шаговом режиме для дискретных расстояний $\Delta L = 10, 50, \dots 100$ м до тех пор, пока величина смыва не достигнет некоторого допустимого предела W_d (обычно 1-2 т/га). Определив расстояние до этой точки $L_{д\ i-1}$, его увеличивают на половину ширины пояса отсутствия эрозии, ширину лесополосы L_n и вторую половину пояса отсутствия эрозии. От нижней его границы в следующем межполосном пространстве расчет смыва начинается так же, как и от водораздела. Таким образом рассчитывается положение всех ЛП на склоне.

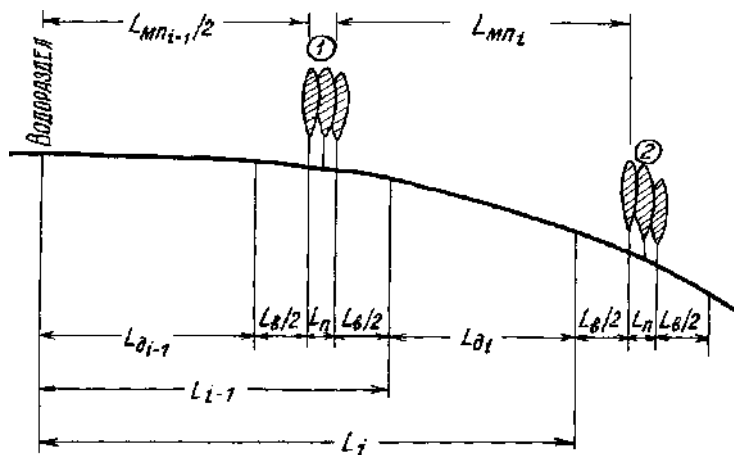


Рис. 2.16. Схема к расчету расстояний между лесными полосами по критерию допустимого смыва

Расчет текущего смыва выполняется по выражению [90, 265, 339]

$$W = \alpha[K]h^s(\varphi_1 P^2)^{1.5}L, \text{ т/га}, \quad (2.9)$$

где α – коэффициент размерности и пропорциональности (см. приложение 10); $[K]$ – произведение коэффициентов, учитывающих влияние на смыв почвенных условий (тип почвы, грансостав, степень смывтости и др.), агротехнических и других приемов; h – слой стока (мм) в поле севооборота, находится по картам (рис. 1.1) как средневзвешенная величина с учетом доли участия разных агрофонов; $s = 0,95$ [268].

Табличные значения коэффициентов рассчитаны по данным Г. П. Сурмача [268] с учетом их модификации в принятой схеме рас-

чета по уравнению (2.9). Структура уравнения определяется рассмотренной моделью единого ЭАП [95, гл. 3] с учетом преемственности с уравнением СОП США и моделью Г. П. Сурмача [268]. Возможно также применение более простой модели:

$$W = \alpha_1 [K] h^s I(L) = AI(L), \quad (2.9a)$$

где $I(L)$ – функция уклонов [95, разд. 3.3.3].

С учетом расчета ЛП по критерию допустимого смыва расстояние между ними определяется из условия

$$L_{мпj} = (L_{ди} + L_b) \leq L_{ci} \leq L_p, \text{ м.} \quad (2.10)$$

Здесь $L_{ди}$ – длина отрезков склона, на каждом из которых текущий смыв W_i достигает допустимой величины W_d (W_i равно W_d); $i = 1, 2, 3, \dots$ – порядковый номер (от водораздела) лесополосы и межполосного пространства; L_b – суммарная ширина прилегающих к верхней и нижней опушкам лесополосы поясов, в пределах которых темпы восстановления почвенного плодородия превышают темпы смыва, – поясов отсутствия эрозии; L_c – расстояние между лесными полосами с учетом уменьшения дальности их ветрорегулирующего влияния на склонах [130, 131],

$$L_{c_i} = L_p (1 - 3tg\alpha_i^o). \quad (2.11)$$

где α_i^o – средняя крутизна склона между верхней и нижней лесополосами i -го межполосного пространства (при $\alpha_i^o \geq 2^\circ$); L_p – расстояние между основными лесными полосами на территории с отсутствием эрозии и с эрозией, не превышающей допустимых величин.

Таким образом, если расчет показывает, что на расстоянии $(L_p - \frac{1}{2}L_b) \leq L_c$ смыв не достигает величины W_d , то расстояние между ЛП принимается равным L_p или L_c в зависимости от крутизны склона. В силу этого расстояние между первыми прилегающими с противоположных сторон к водоразделу ЛП, если смыв не достигает величины W_d , принимается равным $L_c \leq L_p$ (по $\frac{1}{2}L_p$ или $\frac{1}{2}L_c$ до первых от водораздела ЛП).

На рис. 1.17 приведены результаты расчета смыва и основных рубежей – валов-террас и ЛП – для реального склона с параметрами логистической функции формы склона (изменения отметок H по длине L):

$$H = (H_{\max} - H_{\min}) / (1 + \exp(a + bL)) - H_{\min}, \quad (2.12)$$

где соответственно $H_{\max} = 204$ м, $H_{\min} = 20$ м, $a = -4,5$, $b = 2,25 \cdot 10^{-3}$.

Для склонов с иными параметрами получаются иные результаты. Рис. 2.17 также иллюстрирует важное явление, имеющее место при расчетах на любом склоне и обнаруживаемое предлагаемым методом расчета смыва, а именно: динамику текущего смыва в межполосном пространстве (и вообще между рубежами). Во-первых, следует отметить, что все известные ныне схемы расчетов (по уравнению СОП США, Г. И. Швейса, Г. П. Сурмача и др.), в том числе новейшие [22], позволяют рассчитывать не текущий, а средний смыв на отрезке склона той или иной длины, что исключает или затрудняет анализ динамики смыва. Во-

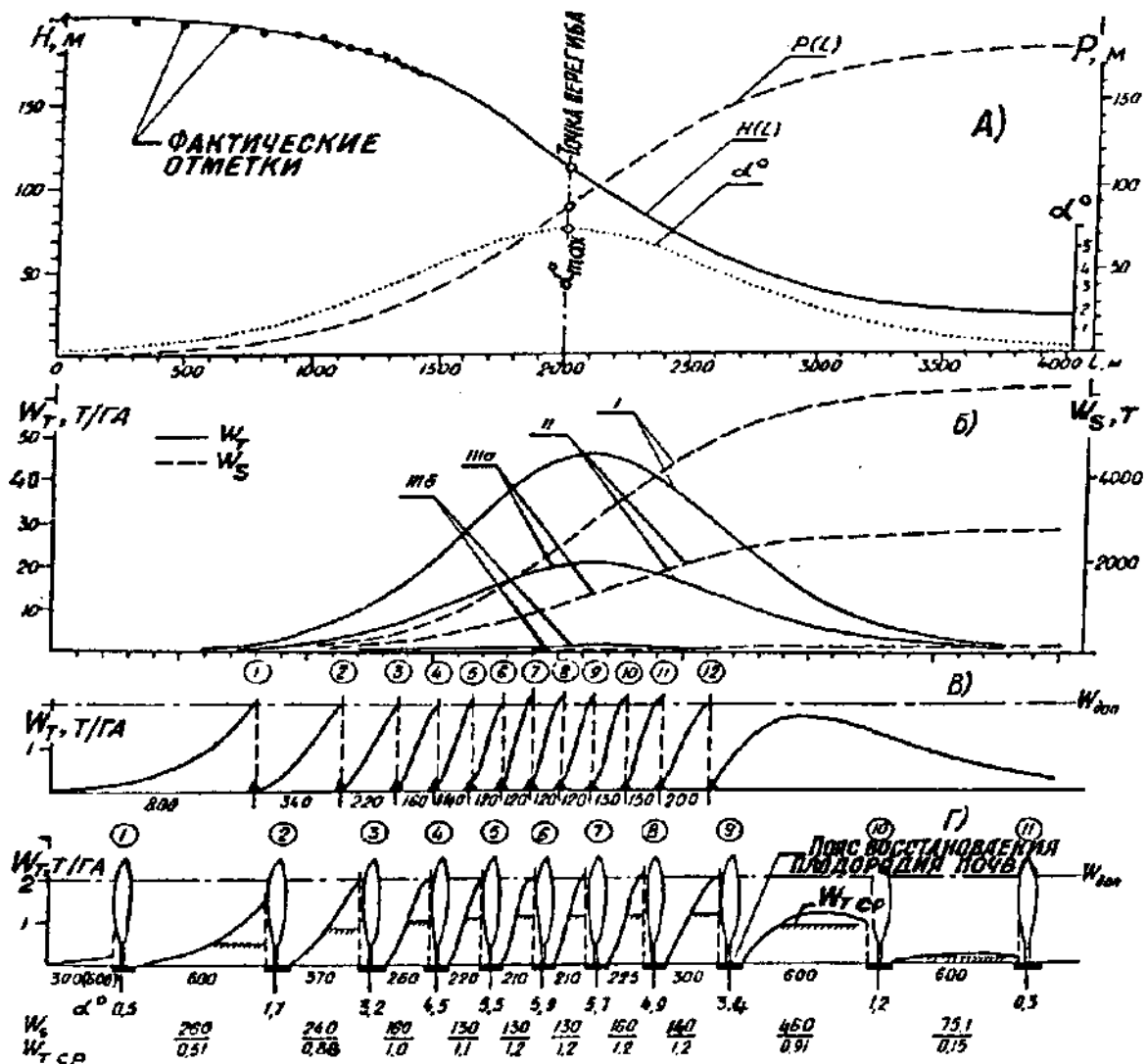


Рис. 2.17. Характеристики форм склона (А), смыва (Б) и трансформации рубежами (В – валы-террасы; Г – лесополосы):

I – зябь; II – озимые; IIIa, б – многолетние травы 1-го и последующих лет жизни

вторых, расстояние между рубежами также рассчитывается по величине среднего допустимого смыва, т.е. его величина между рубежами не превышает допустимую только в среднем. Это приводит к тому, что в нижних частях межполосных пространств текущие значения смыва могут значительно превосходить допустимый предел. Так, на рис. 2.17Г показано, что при достижении допустимого предела $W_d = 2$ т/га средний в межполосном пространстве смыв значительно меньше – около 1 т/га. Очевидно, что если в среднем он составит 2 т/га, то текущий смыв может достигать 4 т/га и более. В-третьих, характерная динамика текущего смыва определяется формой склона и положением рубежа (ЛП) на склоне. В верхней части склона нарастание смыва в межполосном пространстве идет примерно по экспоненте, в средней части – по своеобразной сигмоидной кривой, а на вогнутых частях склона после перегиба смыв сначала возрастает до максимума, а затем уменьшается. Знание динамики смыва позволяет совершенствовать систему лесомелиоративных мероприятий на склонах (см. далее). Таким образом, предлагаемый метод расчета, кроме прикладного назначения при проектировании ЛП, расширяет наши представления о специфике их противозерозионного действия и определяет пути и средства управления им, что имеет как познавательное, так и практическое значение.

ГЛАВА 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЛЕСОМЕЛИОРАТИВНЫХ ПРОТИВОЭРОЗИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Содержание монографии [95] и предыдущих глав настоящей работы было посвящено обоснованию и анализу модели эрозионно-гидрологического процесса и его эволюции в антропогенно преобразованном ландшафте, особенно под влиянием лесомелиорации. Создание такой модели имеет в первую очередь познавательное значение, обеспечивая понимание сути протекающих в ландшафтной сфере природных процессов. Вместе с тем знание этих процессов является основой, фундаментом, целенаправленного управления ими для сохранения и восстановления естественного гомеостаза среды обитания человека как необходимого условия его существования. Управление предполагает предвидение, планирование и проектирование тех или иных средств ("рычагов") воздействия на природные процессы, а также отслеживание их результатов [8, 115, 207, 268, 272, 299, 315, 327, 328, 333, 358 и др.].

Уже давно, по крайней мере начиная с В. В. Докучаева, вошло в традицию планирование природоохранных мероприятий как целостных взаимосвязанных систем (комплексов) почво-, водо-, атмосферно-охранных приемов. В противоэрозионной мелиорации благодаря работам Новосильской станции с 30-х годов XX в. прочно утвердилось понятие и содержание комплекса (системы) мероприятий – организационно-хозяйственных, агротехнических, лесо- и лугомелиоративных, гидротехнических. С теми или иными коррективами эта система существует и ныне. Ее наполнение конкретными стокорегулирующими и противоэрозионными приемами в той или иной степени варьирует в зависимости от местных условий, специализации земледелия и растениеводства и, что особенно важно, от уровня знания эффективности отдельных приемов. Так, в известных системах США, Канады, Австралии и других стран по борьбе с дефляцией, в том числе модифицированных для СССР А. И. Бараевым, основной упор сделан на агротехнические приемы. То же относится и к противоэрозионным

приемам: в США и Канаде они преимущественно агротехнические и гидротехнические. Опыт этих стран был заимствован и отечественными научными учреждениями России, Украины, Молдавии, где изучались и рекомендовались для практики так называемые контурные агротехнические приемы: полосные и буферные посевы, валы-террасы с минимальным применением лесомелиоративных приемов или даже полным их исключением. Вместе с тем обширные и обстоятельные исследования с 20-х годов Новосильской станции, с 30-х годов ВНИАЛМИ, НИИСХ ЦЧП, в последние десятилетия ВНИИВиВ, ВНИИЛМ, АНИИЗиС, ВНИИЗиЗПЭ, УкрНИИЗПЭ и других зональных НИУ убедительно показали, что лесомелиоративные мероприятия должны быть не просто неотъемлемой частью противоэрозионных систем, но служить их основой – каркасом, по выражению Г. П. Сурмача. Это положение остается в силе и в связи с происходящими в РФ изменениями форм собственности на землю, образованием относительно небольших по площади фермерских хозяйств, ибо любые формы земельных отношений не отменяют объективной сути природных процессов и управляющих ими законов.

Выполненный ранее (гл. 1) анализ и литературные данные позволили разработать классификацию системы стокорегулирующих и противоэрозионных мероприятий (см. рис. 1.29, 1.30). Наиболее существенным ее моментом является универсальность воздействия лесомелиоративных приемов и в целом фитомелиорации на ЭГП в отличие от более узкой и специфичной направленности агротехнических, гидротехнических и иных приемов. Вместе с тем это означает не принижение или отрицание роли последних, а необходимость использования всей их совокупности с разными вариантами сочетания в зависимости от конкретной ситуации.

3.1. Размещение и трассирование противоэрозионных лесополос на склонах

В системе противоэрозионных мероприятий узловым вопросом является организация рубежей – в первую очередь ЛП и особенно на приводораздельных и присетевых склонах. Важность вопроса определяется как эффективностью этого приема, так и тем, что присетевые и приводораздельные склоны занимают 70-80% и более территории.

Размещение насаждений на сильноразмытых присетевых склонах и на землях гидрографического фонда (лощины, балки, речные долины) также актуально, но имеет подчиненное значение, ибо как бы не была совершенна система этих локальных мероприятий, она должна осуществляться только в увязке с системой насаждений на пахотных склонах в силу единства ЭГП и ЭАП по всем элементам рельефа. Без нее проблема регулирования стока и защиты почв от эрозии не может быть решена.

При обосновании системы ЛП на присетевых и приводораздельных склонах требуется решение следующих основных вопросов: выбор способа трассирования ЛП, определение расстояний между ними, обоснование их необходимой ширины. С ними связаны также вопросы обоснования породного состава, схем смешения, конструкций насаждений, технологии их выращивания, применения средств повышения их мелиоративной роли.

Трассирование стокорегулирующих ЛП предполагает выбор способа их размещения в плане относительно горизонталей. Лучшим способом их размещения является контурное, т. е. горизонтальное (по контуру горизонталей). При этом обеспечивается равномерное поступление воды поверхностного стока на верхнюю опушку ЛП и под ее полог и наилучшее водопоглощение, тем самым обеспечивается и их противоэрозионная функция. Однако понятие горизонтальное трассирование не вполне определенное [84], ибо очертания горизонталей зависят от масштаба топоосновы. Из-за обычной непараллельности горизонталей возникает проблема необходимости обработки клиньев, что на практике приводит к исключению их из обработки или даже к залужению и облесению [247]. Кроме того, на склонах с ложбинами, особенно при частом (через 20-50 м) их расположении и горизонтальном размещении ЛП границы межполосных пространств приобретают крайне извилистую форму. Это практически исключает возможность выполнения параллельных обработок, особенно при выращивании пропашных культур. Все эти обстоятельства приводят к необходимости отклонения трасс ЛП от строго горизонтального положения, что нуждается в обосновании и оценке.

В настоящее время рекомендуются следующие основные способы трассирования ЛП на склонах [266] – рис. 3.1.:

параллельный прямолинейный на склонах с прямым поперечным профилем и субпараллельным ходом горизонталей;

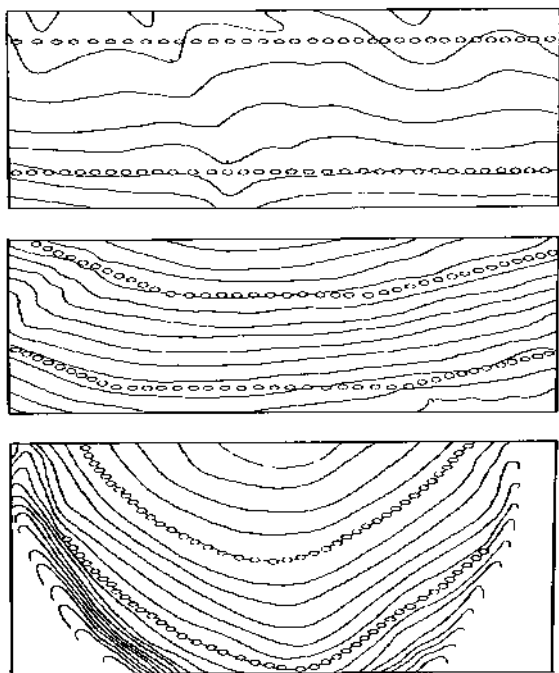


Рис. 3.1. Способы трассирования лесополос на склонах:

- а) прямолинейный параллельный; б) контурно-прямолинейный параллельный; в) контурный непараллельный

параллельный контурно-прямолинейный на склонах рассеивающего и собирающего типа с относительно равномерным расстоянием между горизонталями;

параллельный контурный на таких же склонах;

непараллельный контурный по трассам горизонталей со спрямлением на ложбинах.

Практика проектирования ЛП на больших территориях в зоне крупномасштабного эксперимента на водосборах малых рек Курской обл. [266], а также в отдельных хозяйствах Орловской, Волгоградской, Челябинской областей, в Алтайском крае показала, что наиболее приемлемым в организационном отношении и удов-

летворительным по критерию минимума отклонения от горизонталей является способ контурно-прямолинейного параллельного размещения ЛП [84] – рис. 3.2, 3.3.

С учетом особой значимости контурно-прямолинейного трассирования ЛП для практики автором весной 1978 г. в ОПХ ВНИИЗиЗПЭ был заложен специальный опыт со следующими вариантами размещения ЛП на ложбинных водосборах площадью около 10-15 га в створах водосливов (рис. 3.4, табл. 3.1): контроль (без ЛП, водосбор 1); контурно-прямолинейные (КП) ЛП через 150 м (водосбор 4); как вар. 2, ЛП через 300 м; прямолинейные (П) ЛП через 300 м (водосбор 3).

Все ЛП 2-рядные из тополя бальзамического с междурядьями 3 м. Летом 1981 г. в междурядьях устроены экскаватором канавы глубиной 1,5 м с перемычками. Земляные валы по нижнему ряду планировались бульдозером и грейдером с откосами 1:(8-10). На ложбинах бульдозером устроены валы высотой до 1-1,2 м.

Данные табл. 3.1 (с использованием источников [145, 149]) показывают, что контурно-прямолинейные ЛП в сочетании с гидротехническими устройствами обеспечивают сокращение стока талых вод в среднем на 18-20 мм и более, в отдельные многоводные годы на 30-

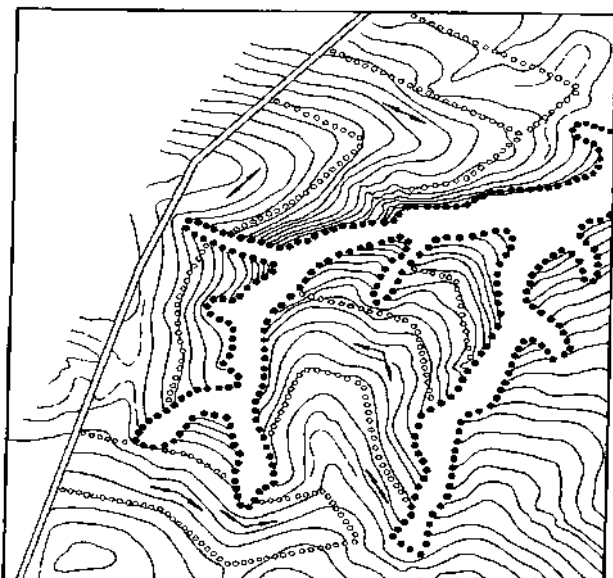


Рис. 3.2. Система контурно-прямолинейных лесополос на водосборе (проект). К-з "Россия" Октябрьского района Курской обл.:

лесополосы:
... прибалочные; ооо стокорегулирующие; = межхозяйственные дороги; ✓ направление работы сельскохозяйственной техники; ⚡ гидрографическая сеть

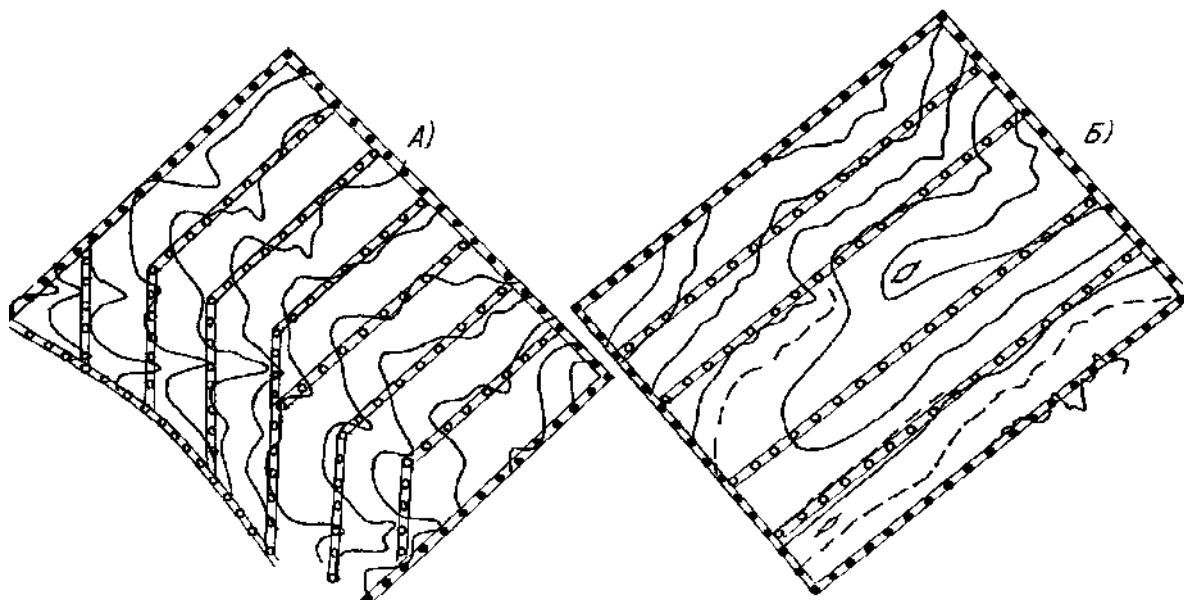


Рис. 3.3. Примеры проектирования систем контурно-прямолинейных ЛП при наличии существующих на присетевых землях (А, с-з "Гусевский" Ольховского р-на Волгоградской области) и в приводораздельной части (Б, с-з "Балыклейский" Дубовского р-на Волгоградской обл.):

--- существующие; — проектируемые

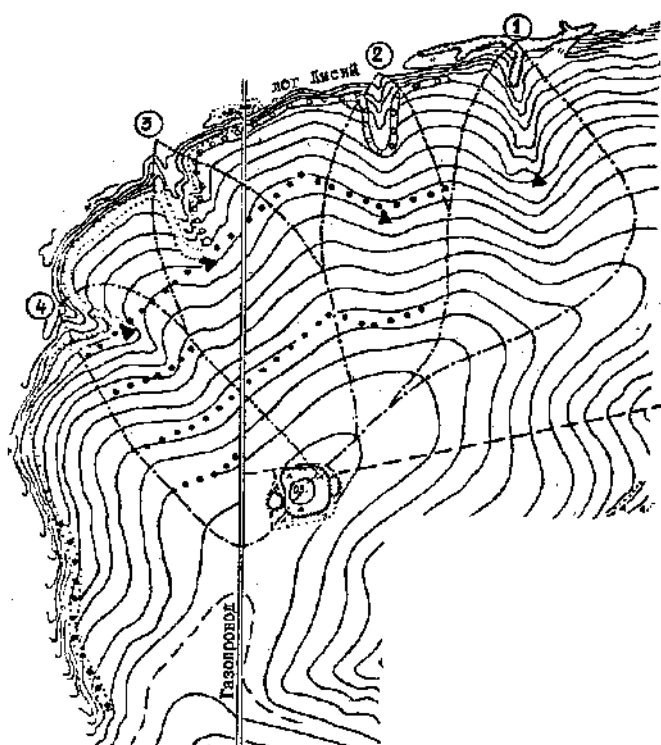


Рис. 3.4. Система контурно-прямолинейных лесополос на экспериментальных ложбинных водосборах. ОПХ ВНИИЗиЗПЭ Медвенского р-на Курской обл.

Условные знаки: --- границы водосборов; ●●●, ○○○ лесополосы; ▼ водосливы

Таблица 3.1

Сток талых вод и смыв почвы на водосборах с различными вариантами трассирования 2-рядных лесополос (ОПХ ВНИИЗиЗПЭ)

Варианты опыта			Запас снеговой воды, мм	Сток, мм	Кэф-фициент стока	Смыв поч-вы, т/га (с 1982 г. м ³ /га)
Номер водосбора	Способ размещения лесополос	Расстояние между лесополосами, м				
1	2	3	4	5	6	7
<i>1979 г. (30.01-1.02)</i>						
1	-	-	75	0	0	0
2	КП	300	63	-	-	-
3	П	300	103	4,4	0,04	0
4	КП	150	91	8,5	0,09	0
<i>1979 г. (18.03-2.04)</i>						
1	-	-	124	74	0,60	0,83
2	КП	300	121	не опр.	не опр.	не опр.
3	П	300	126	80	0,64	0,17
4	КП	150	141	79	0,56	0
<i>1980 г.</i>						
1	-	-	110	58	0,53	0,42
2	КП	300	117	19	0,16	0,12

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7
3	П	300	83	50	0,57	0,05
4	КП	150	101	70	0,69	0
<i>1981 г.</i>						
1	-	-	134	25	0,19	0,60
2	КП	300	125	10	0,08	0,05
3	П	300	143	21	0,15	0,05
4	КП	150	134	9	0,07	0,08
<i>1982 г.^{х)}</i>						
1	-	-	112	54	0,48	42,60
2	КП	300	107	20	0,19	24,90
3	П	300	85	13	0,15	6,00
4	КП	150	82	15	0,18	9,50
<i>1986 г.</i>						
1	-	-	56	36	0,64	25,20
2-3	КП, П	300	59	11	0,19	7,50
4	КП	150	58	11	0,19	0,60
<i>1987 г.</i>						
1	-	-	152	35	0,23	4,40
2-3	КП, П	300	167	20	0,12	1,70
4	КП	150	198	17	0,09	0,60
<i>1988 г.</i>						
1	-	-	83	47	0,57	3,70
2-3	КП, П	300	93	14	0,15	1,20
4	КП	150	96	9	0,09	0,60
<i>Средние за 1981-1987 гг.</i>						
1	-	-	102	32	0,31	12,60
2-3	КП, П	300	114	10	0,09	5,60
4	КП	150	130	9	0,07	1,60
<i>Средние за 1981-1991 гг.</i>						
1	-	-	80	24	0,30	8,70
2-3	КП, П	300	95	7	0,07	3,60
4	КП	150	100	6	0,06	1,10

Примечание. ^{х)} С 1982 г. на 2-4-х водосборах в ЛП устроены канавы в сочетании с валами.

40 мм, что хорошо согласуется с результатами экспериментов на стоковых площадках (см. гл. 1). Средний смыв сокращается в несколько

раз. Аналогичные результаты получены и в другом опыте в ОППХ ВНИИЗиЗПЭ за 1986-1988 гг. [158, 284, 379]: в относительно маловодные годы талый сток на вариантах с контурными молодыми (1984-85 гг. посадки) тополевыми ЛП (расположены через 216 м на склоне в сочетании с канавами и валами, в том числе при наличии валов-террас в межполосном пространстве) сокращался в среднем на 5-9 мм (сток 15-19 против 20-28 мм на контроле без ЛП), а смыв в несколько раз.

На водосборе площадью около 14 га со строго контурными однорядными так называемыми снегораспределительными лесополосами из дуба посева 1926 г. на серых лесных почвах ОПХ Новосильской станции сокращение слоя стока в 1959-1969 гг. составило в среднем около 30 мм, а в отдельные годы более 70-80 мм (табл. 3.2; данные за 1963-1969 гг. получены автором, за остальные годы приведены по отчетам станции и экспериментам Г. А. Харитоновой [393]). Таким образом, стокорегулирующий эффект контурных (5 лесополос через 100 м на склоне, вдоль 4-й от водораздела – траншея с валом со времен войны) и контурно-прямолинейных лесополос практически не различается. Существенное уменьшение слоя стока в послевоенный период обусловлено в значительной степени наличием траншеи. Близкие к этому результаты получены в экспериментах В. И. Панова [302, 303, 371 и др.] и А. И. Шабаева [405, 406] с системами контурно-прямолинейных ЛП.

Высокий стокорегулирующий и противоэрозионный эффект контурных (и их модификации – контурно-прямолинейных) ЛП не является предельно высоким. Выполненные в разд. 2.5 расчеты показывают, что возможно размещение ЛП на склонах, обеспечивающее снижение текущего смыва до предельно допустимой величины (1-2 т/га). Ясно, что этот предел обеспечивается в среднем; в отдельные годы его величина может быть существенно больше. Кроме того, есть мнение, что величина допустимого смыва должна быть значительно меньше – 0,4-0,5 т/га [155, 241-244]. Этого можно достичь, уменьшив расстояние между ЛП, что нежелательно из-за дополнительного изъятия пашни под ЛП. Однако существуют другие пути повышения стокорегулирующего и почвозащитного эффекта ЛП, основанные на использовании специфики ЭПП в зоне их влияния. Повышенные снегозапасы в зоне снежных шлейфов обеспечивают, с одной стороны, – отсутствие смыва под ними и усиленное водопоглощение, а с другой – усиление сброса талых вод из верхних шлейфов в центральную часть межполосного пространства, освобождающуюся от снега раньше. Это обуславливает усиление здесь смыва за счет подтекающей из шлейфа воды. Его уменьшение может

Таблица 3.2
Основные показатели водного баланса в весенний период на водосборе с контурными снегораспределительными лесополосами (ОПХ Новосильской ЗАГЛОС)

Годы	Агрофон ^{x)}	Запас снеговой воды + осадки за период снеготаяния, мм	Количество просочившейся в почву и испарившейся воды, мм	Сток, мм ^{xx)}	Коэффициент стока
<i>Довоенный период</i>					
1934	Зябрь	76	24	52	0,68
1937	"-"	100	7	93	0,93
1938	Озимые	107	78	29	0,27
Средние		94	36	58	0,62
<i>Послевоенный период</i>					
1955	Зябрь	135	127	8	0,06
1956	Озимые	173	168	5	0,03
1957	Зябрь	153	152	1	0,07
1958	Озимые	182	177	5	0,03
1959	Зябрь	139	116	23(103)	0,17
1960	"-"	197	60	137(118)	0,70
1963	Озимые	167	136	31(104)	0,19
1964	Зябрь	204	203	1(15)	0,05
1965	"-"	82	81	1(44)	0,01
1966	Зябрь (56)	139	139	0(0)	0
	Озимые (44)				
1967	Стерня (56)	202	199	3(88)	0,01
	Зябрь (44)				
1968	Клевер (56)	185	185	0(14)	0
	Зябрь (44)				
1969	Озимые	97	30	67(52)	0,69
Средние:					
за 1955-1969 гг.		158	136	22 -	0,14
за 1959-1969 гг.		157	128	29(60)	0,18

Примечание. В скобках: ^{x)}доля агрофонов на водосборе в %; ^{xx)}слон стока на полевом контроле без лесополос, приведенный к снегозапасам на водосборе за 1959-1963 гг., – по методике Г. П. Сурмача [363].

быть достигнуто зяблевой вспашкой почвы в зоне снежного шлейфа, что обеспечивает лучшее поглощение талых вод в сравнении с уплот-

ненным агрофоном и меньшее их поступление на центральную часть межполосного пространства, и созданием почвозащитного агрофона (стерня, посев озимых и многолетних трав) в центральной части межполосного пространства. Такой прием крупнополосного размещения агрофонов в межполосном пространстве разработан и защищен а. с. 1404000 [21] совместно с А. Т. Барабановым и А. И. Крупчатниковым.

Другой способ повышения эффективности ЛП основан на регулировании снегоотложения в межполосном пространстве путем посева кулис и изменения ветропроницаемости ЛП. От водораздела к подножию склона кулисы высеваются чаще, а конструкция ЛП делается менее продуваемой. Это обеспечивает на нижних частях склонов повышенное снегонакопление, более поздний сход снега, что и обуславливает дополнительный почвозащитный эффект при транзитном подтоке талых вод. Способ защищен патентом 1799234 в соавторстве с А. Т. Барабановым [309].

Контурно-прямолинейное параллельное трассирование ЛП имеет ряд особенностей, обусловленных двумя ведущими факторами: спецификой рельефа местности и существующими консервативными границами природных и антропогенных рубежей. Эти особенности усложняют параллельную прокладку трасс ЛП и в ряде случаев вызывают необходимость пересечения ими нескольких горизонталей. На рис. 3.2-3.3 показаны некоторые варианты проектных решений с учетом названных факторов. Следует, однако, заметить, что в подавляющем большинстве случаев отмеченные трудности, хотя и усложняют поиск приемлемых проектных решений, но отнюдь их не исключают.

Не останавливаясь специально на вопросах обоснования и расчета других параметров ЛП на склонах, в той или иной степени рассмотренных ранее, перейдем к особенностям проектирования систем ЛП с применением ЭВМ.

3.2. Основные положения системы автоматизированного проектирования (САПР) противоэрозионных мероприятий

До настоящего времени в практике составления проектов внутрихозяйственного землеустройства, лесомелиоративных и противоэрозионных мероприятий использование ЭВМ ограничено довольно узким кругом задач. Они, как правило, используются для выполнения простейших инженерных и стандартных сметно-финансовых расчетов.

В последние годы в отделе защиты почв от эрозии ВНИАЛМИ была поставлена задача разработать основы технологии САПР лесомелиоративных и иных противоэрозионных мероприятий [90, 94]. (Программное обеспечение САПР осуществлялось путем разработки оригинальных программ Т. А. Буровой, Н. Н. Овечко, а также адаптацией известных пакетов программ А. Н. Салугиным, А. В. Филипповым, Б. П. Петрюком [101]). Целью создания САПР является обеспечение автоматизации всего цикла проектной разработки – составление пояснительной записки и расчетно-технологических карт (РТК), выполнение инженерных и сметно-финансовых расчетов, составление рисунков, графиков и т. п.; получения компьютерных карт рельефа, уклонов, текущего смыва, противоэрозионных рубежей (лесополос, валов-террас).

Предполагается, что САПР должна обеспечивать простоту пользования ею, высокое качество и надежность проектирования с использованием труда операторов средней квалификации. Это позволяет сформулировать следующие основные требования к САПР и разработке средств ее реализации.

1. Простота доступа к САПР предполагает выполнение проектных процедур-директив пользователем на привычном для него языке, без обращения к математическому описанию и языку программирования. Иначе говоря, все программное обеспечение САПР выполняется и при необходимости в дальнейшем корректируется программистом-разработчиком.

2. Пользователь должен иметь прямой доступ к САПР, т. е. возможность обращения к ее программно-информационным средствам, обеспечивающим при необходимости оперативный непосредственный ввод информации, отображение (на экране дисплея) и вывод (на принтер) промежуточных и конечных результатов проектирования – таблиц, графиков, схем, карт и т. п.

3. Адаптация САПР к материальным возможностям проектной организации. В зависимости от наличия тех или иных технических средств САПР предполагает различные варианты выполнения проектных операций: от обычного ручного ввода текстовой, цифровой или графической информации до механизированного, автоматизированного и автоматического ввода-вывода.

Возможность адаптации САПР к средствам проектирования, имеющимся у пользователя, обуславливает дополнительные требования к разработчику, обеспечивающие долговечность и живучесть системы

проектирования. Эти требования удовлетворяются использованием модульного принципа построения специализированных программ, отделения баз данных (БД) от управляющих ими программ, создание программных интерфейсов – специальных программ, связывающих между собой отдельные модули и БД с управляющими программами.

Схема технологического процесса САПР представлена на рис. 3.5 и включает функционирование САПР в трех блоках, соответствующих различным этапам выполнения проектных работ. В первом блоке выполняется ввод и предварительная обработка картографической информации. Во втором блоке выполняются различные операции с картами (табл. 3.3), формируются РТК, осуществляются инженерные и сметно-финансовые расчеты. В третьем блоке осуществляется вывод графических, цифровых и текстовых результатов проектирования на печать с помощью плоттеров и принтеров.

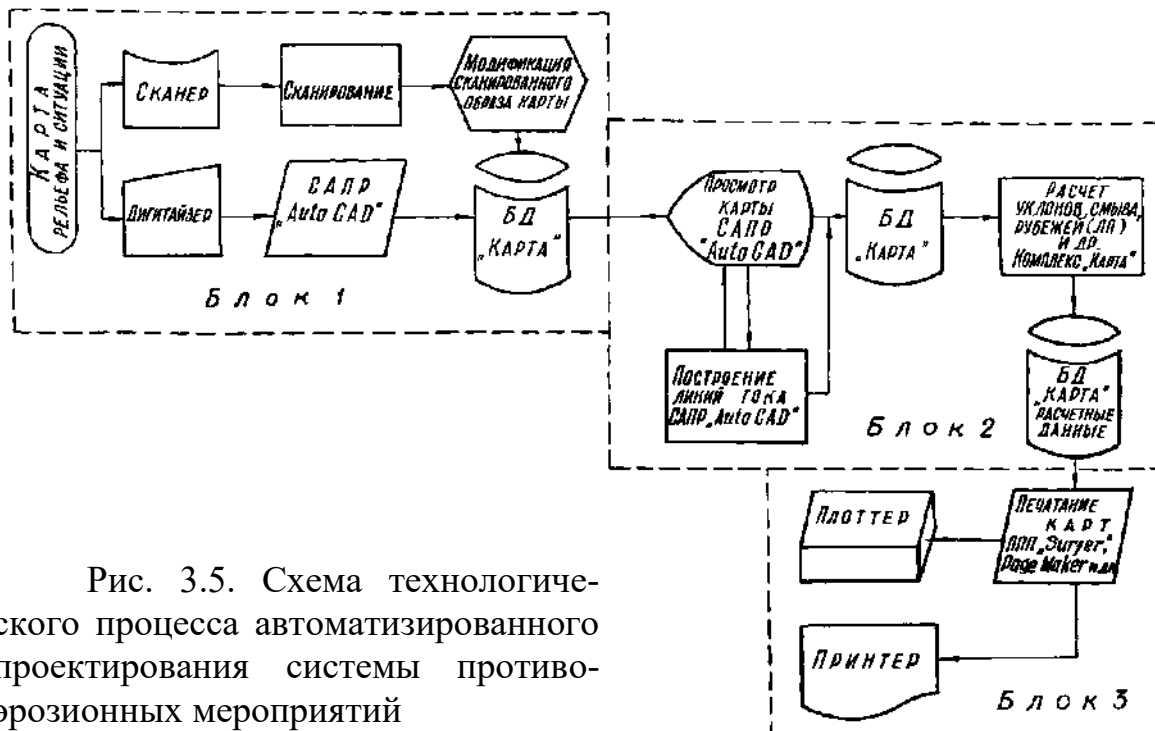


Рис. 3.5. Схема технологического процесса автоматизированного проектирования системы противоэрозионных мероприятий

Рассмотрим особенности выполнения операций по этапам технологического процесса компьютерного проектирования противоэрозионных мероприятий с вариантами применения различных технических средств.

Важнейшей составной частью любого проекта противоэрозионных мероприятий является блок операций (первый на рис. 3.5) с кар-

Таблица 3.3

Технологическая схема обработки топокарт и расчета лесных полос

Технологическая Операция	Пакет прикладных программ	Тип файла	Примечание
Сканирование топокарты	DeskScan II	BMP	Можно использовать любой графический формат
Векторизация по координатам X и Y	R2V for Windows		Предварительная фильтрация изображения в графическом редакторе
Привязка к Z-координате	R2V for Windows	XYZ	
Восстановление карты по координатам X, Y, Z	Surfer 6.04	GRD	
Получение расчетной матрицы координат X, Y, Z	Surfer 6.04		Формат файла GS ASCII
Построение линий тока (ЛТ)	Отлаживаемая*) программа		Используется полученная матрица
Построение продольных профилей склона по ЛТ	Karta*)		
Регрессионный анализ профилей склонов	Karta*)		
Расчет текущих величин уклонов и смыва	Karta*)		
Построение карт текущих величин уклонов и смыва	Surfer 6.04		
Расчет противоэрозионных рубежей-лесополос	Karta*)		
Трассирование лесополос			

*) Программы, разработанные во ВНИАЛМИ.

тографическими материалами и в первую очередь с топокартами. Для выполнения проектных работ требуется нанести на топокарту линии тока (наибольшего падения склонов), построить продольные профили склона, разбить их на фрагменты с генетически однородными условиями формирования поверхности стока, получить параметры функции

формы склона для этих фрагментов, рассчитать уклоны и величины текущего смыва, построить карты их изолиний, рассчитать положение противоэрозионных рубежей, выполнить их контурно-параллельное трассирование и построить карту рубежей. Вся совокупность этих операций может быть выполнена вручную или с применением для расчетов программируемых калькуляторов и ПЭВМ [265]. В ручном варианте наиболее трудоемкими и наименее производительными являются построения продольных профилей склонов и весь цикл картографических работ от изготовления копий топокарт, построения карт уклонов, смыва, рубежей до их оформления. Много времени требуется и для инженерного расчета.

Для повышения производительности труда могут быть использованы технические средства разной сложности (стоимости) и производительности, в частности дигитайзер, позволяющий "скалывать" трассы горизонталей с определенным шагом или по характерным точкам. Этот вариант по производительности копирования топокарты уже превосходит в несколько раз труд чертежника-копировщика, а за счет автоматизации всех последующих операций достигается существенное ускорение проектных работ.

Наиболее совершенным, точным и производительным современным способом создания компьютерной модели топокарты является способ с использованием сканера, в первую очередь в автоматическом режиме сканирования. Сканирование, особенно в многоцветном варианте, сводит до минимума или даже вовсе исключает труд чертежника, позволяет модифицировать карты в любой масштаб, оставлять только топооснову или ситуацию (дороги, границы полей, населенные пункты и т. п.). Этот способ позволяет также максимально ускорить и автоматизировать все проектные процедуры по трассированию линий тока, оценке параметров функций формы склона (см. приложение б), созданию карт изолиний уклонов или крутизны склонов, смыва, ЛП и т. д. с использованием специальных пакетов прикладных программ – ППП (табл. 3.3, рис. 3.6-3.8).

Во втором блоке проектных операций (см. рис. 3.5) наиболее сложной и трудоемкой является процедура формирования РТК, включающих описание технологии ЗЛН (способы и сроки выполнения цикла работ по подготовке почвы, посадке, уходам и т. д. с указанием состава агрегатов, норм выработки, расценок, потребности в материалах и т. п.). При этом необходимо также определить тип ЗЛН, его ши-



Рис. 3.6. Карта текущих значений крутизны склонов, град. Водосбор "Мелоклетский" (ОАО "Красный Октябрь" Клетского р-на Волгоградской обл.)



Рис. 3.7. Карта текущего смыва почв, т/га. Водосбор "Мелоклетский"

рину, способ размещения растений, породный состав, конструкцию и т. п. С этой целью создается специальная база данных (БД), предусматривающая возможность назначения различных параметров ЗЛН в зависимости от почвенно-климатических условий. БД формируется и в дальнейшем корректируется при участии специалиста-технолога с учетом новейших достижений науки и практики защитного лесоразведения. Услуги технолога необходимы и при создании РТК с учетом конкретных условий территории, для которой составляется проект. Это позволяет создать банк разнообразных РТК. В дальнейшем проектирование может выполняться оператором средней квалификации. Аналогично составляются РТК на выполнение почвозащитных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, лугомелиоративных мероприятий, создание гидросооружений и т. п. РТК служат также для определения общего объема работ по созданию типов и видов ЗЛН, выполнению почвозащитных технологий и т. п. с группировкой

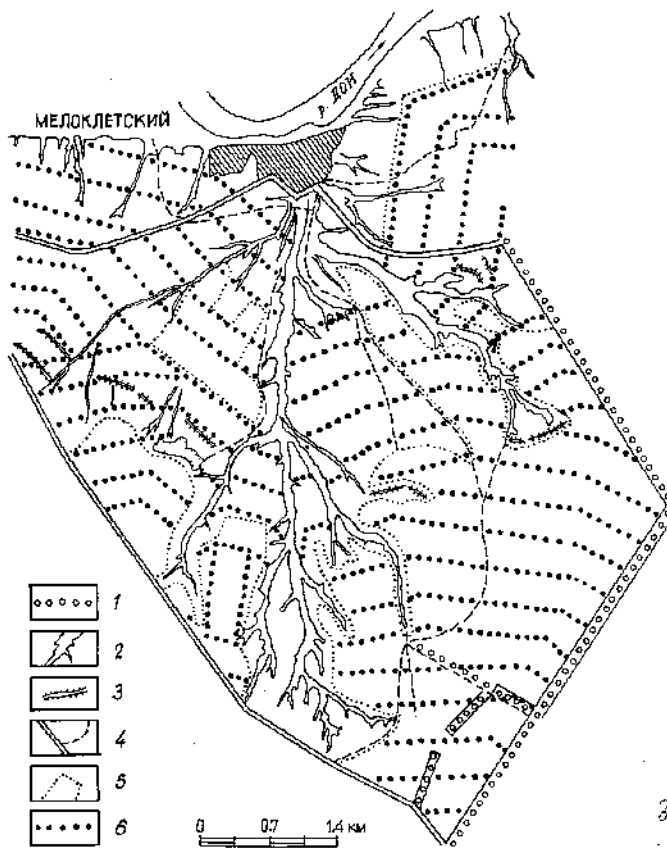


Рис. 3.8. Проект контурно-прямолинейных противоэрозионных лесных полос на водосборе "Мелоклетский":

1 – лесополосы существующие; 2 – лощины, балки, овраги; 3 – водозадерживающие валы; 4 – дороги; 5 – границы пашни; 6 – лесополосы проектируемые

составлены карты текущего уклона и смыва на площади около 8,8 млн га в Челябинской обл.

Практика компьютерного проектирования лесомелиоративных (и иных) противоэрозионных мероприятий с использованием известных и оригинальных пакетов прикладных программ подтвердила правильность избранной технологии САПР, высокое качество и производительность проектных разработок. Вместе с тем остается нерешенным один из самых сложных вопросов – автоматизация контурно-параллельного трассирования противоэрозионных рубежей. Сложность задачи определяется сложностью рельефа местности, который, хотя и подчиняется описанным в работе [95, гл. 3] закономерностям,

их по однотипным объектам и составлением отдельных и сводного сметно-финансовых расчетов. Возможно значительное упрощение составления пояснительной записки на основе унификации ее структуры и типовой компьютерной формы, заполнение которой возможно оператором средней квалификации. Завершается составление проекта выдачей на печать с помощью плоттеров и принтеров графической, текстовой и цифровой информации.

По описанной технологии с вариантами использования разных технических средств во ВНИАЛМИ выполнены проекты лесомелиоративных мероприятий в хозяйствах Волгоградской, Орловской, Курской, Тульской, Челябинской областей и Алтайском крае на общей площади около 300 тыс. га, а также

но в каждом конкретном случае несет на себе отпечаток неповторимого сочетания параметров, определяющих форму горизонталей. Попытки их формализации [87] и типизации [95, рис. 3.16, 3.17, 3.19], а также выяснение генезиса плановых очертаний элементарных водосборов [95, разд. 3.1.3] убеждают в возможности разрешения задачи, однако требуются дополнительные исследования, в том числе разработка трехмерных моделей топографической поверхности.

Кроме того, задача перехода на массовое составление проектов противоэрозионных мероприятий в РФ обуславливает необходимость решения обширного круга вопросов по формированию единых банков картографической и разного рода нормативной информации, разработки компьютерных средств выполнения геодезических, землеустроительных и иных работ, автоматизации составления почвенно-эрозионных, геоботанических, ландшафтных и других карт. Очевидно: решение всех этих задач возможно лишь путем объединения усилий широкого круга специалистов нескольких НИИ, т. е. разработки соответствующей научно-исследовательской и прикладной тематики с координацией усилий РАСХН и заинтересованных министерств и ведомств на общегосударственном уровне. Актуальность этой работы тем более очевидна в связи с мировой тенденцией перехода к автоматизированному проектированию. Немаловажно также сохранение отечественного приоритета в разработке основ САПР противоэрозионных мероприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базе математических моделей, описанных в монографии 1999 г. с использованием теоретических подходов Ю. Б. Виноградова к процессу инфильтрации влаги в почву (с дополнениями, обусловленными подтоком склонового стока в лесное насаждение), выполнены обобщения обширной (за 1938-1994 гг.) экспериментальной информации о стокорегулирующем эффекте лесополос, уплотненной пашни и зяби с подтоком и без него. Лесополосы обеспечивают сокращение слоя полевого стока талых вод в среднем на 5-35 мм, в сочетании с гидротехническими приемами на 10-65 мм (в годы с очень высокой водностью до 70-80), с применением валов-таррас на межполосных полях – на 40-50 мм (до 100) в сравнении с 5-7 мм (максимум до 10-15) стокорегулирующего эффекта наиболее совершенных агротехнических приемов. Снежные шлейфы лесополос способствуют поглощению до 30-60 мм слоя полевого стока. Вне лесополос гидротехнические приемы менее эффективны. Биологические средства усиления водопоглощения в лесополосах (мульча и др.) менее эффективны, но при сочетании с гидротехническими обеспечивают максимально возможный стокорегулирующий эффект лесополос.

Установлены основные закономерности изменения максимального водопоглощения W_m талых вод в лесополосах: его величины наибольшие (в среднем 1400 мм) в черноземной и меньшие в нечерноземной (860 мм) и каштановой (530 мм) зонах; слабая связь с шириной лесополосы при тенденции возрастания с ее увеличением (в среднем до 2900 мм) на черноземах при хорошем состоянии насаждения. Сочетание лесополос с гидротехническими и другими приемами способствует увеличению W_m в среднем до 3300-5000 мм (в отдельных случаях до 12000 и более), т. е. до уровня в девственных лесах, без заметных зональных различий.

Получены параметры функций вероятности превышения величины W_m , построены карты стока талых вод на пашне (в соавторстве с А. Т. Барабановым). Это позволяет выполнять надежные расчеты водопоглощения и стока на пашне, а также стокорегулирующего эффек-

та защитных лесных насаждений (ЗЛН) с применением функции водопоглощения при разнообразном сочетании слоя полевого стока, длины полевого склона, ширины насаждений, почвенно-климатических условий (в первую очередь снегозапасов и влажности мерзлой почвы). Выявлены закономерности повышения стокорегулирующего эффекта (увеличения слоя суммарного водопоглощения и сокращения слоя полевого стока) и снижения стокорегулирующей эффективности (отношения водопоглощения к подтоку) с уменьшением ширины лесополос, увеличением слоя полевого стока и длины склона. Они позволяют строить гибкую оптимальную систему при разном сочетании ширины лесополос и расстояний между ними: узкие лесополосы с частым размещением на склонах и широкие – с редким.

Показана возможность использования при прогнозировании дистанционной оценки поверхностной влажности мерзлой почвы взамен ручного отбора ее образцов, что существенно повышает оперативность и точность прогноза.

В результате анализа эволюции ландшафтов обосновано положение о гомеостазе основных гидрологических характеристик: высокой инфильтрационной способности почв девственных лесов и травянистой целины (W_m до 8000 мм и более), слабого (0-5-10 мм) поверхностного стока или его отсутствия, что обусловлено уникальным сочетанием высокой скважности и исключительной водопрочности почвенной структуры, а также наличием лесной подстилки и степного войлока. Антропогенное вмешательство резко снижает инфильтрационную способность почвы (на пашне W_m обычно 50-100 мм, реже 100-400, максимум 700-1300) и повышает сток талых вод на пашне (в среднем до 5-35 мм в сухой степи и 50-85 в лесостепи и лесной зоне) и на пастбищах (до 60-100 и даже 240 мм в лощинах и балках). В сравнении с травянистой целиной темпы деградации и глубина "деградационной ямы" в лесных насаждениях меньше, и практически полное восстановление высоких инфильтрационных свойств их почв возможно уже через 5-10 лет после посадки насаждений. Это определяет приоритет профилактических мер при освоении новых территорий, а также сохранения и создания "анклавов" лесной и травянистой растительности. В антропогенно нарушенном ландшафте радикальное улучшение гидрологического режима агротехническими приемами не достижимо; требуется комплекс мероприятий, в первую очередь контурных совмещенных лесомелиоративных и гидротехнических рубе-

жей, – не альтернативы другим приемам, а безусловной составной части их системы. Разработана эрозионно-гидрологическая классификация системы почвоводоохранных мероприятий. Такая система в обозримой перспективе может быть только рубежной. Это значит, что сплошь на всей земледельческой территории возвращение гидрологического режима к естественному гомеостазу недостижимо; оно возможно лишь локально в анклавах лесной и травянистой растительности с особым охранным режимом и применением специальных антропогенных средств. Такова дань, которую платит человек за право заниматься земледелием.

Установлена специфика ЭАП (эрозии – аккумуляции) в межполосном пространстве лесополос, что привело к разработке (в соавторстве с А. Т. Барабановым и А. И. Крупчатниковым) приемов и средств совершенствования систем ЗЛН, обеспечивающих дополнительное снижение эрозии.

Для обоснования систем ЗЛН в районах совместного проявления вредоносного действия воды и ветра требуется разработка критериев, определяющих ориентацию полосных ЗЛН с учетом рельефа или направления ветра. Предложен и реализован метод расчета реальной ветроломной эффективности лесополос. Картографирование и районирование территории выявили, что на большей части основных земледельческих районов Северной Евразии размещение полосных ЗЛН с учетом рельефа обеспечивает вместе с тем высокую реализацию их ветроломных функций. Это обусловлено объективными законами ветрового режима средних широт и спецификой ветроломного эффекта ЗЛН, слабо изменяющегося при их отклонении от преобладающего направления ветра. Установлено, что преобладающая ось направлений ветра формируется в виде "колеблющегося" вектора (пучка) направлений, определяется взаимным положением центров низкого и высокого давления, а его вариации – также динамикой этих центров и свойствами подстилающей поверхности.

Совокупность сформулированных принципиальных подходов, предложенных моделей, полученных оценок характеристик эрозионно-гидрологического процесса с учетом его специфики в зоне влияния ЗЛН позволила разработать и реализовать, а также адаптировать известные оригинальные прикладные программы (с использованием систем Surfer, AutoCAD, MathCAD, TV2 и др.) для автоматизации основных процедур системы автоматизированного проектирования

(САПР) лесомелиоративных и иных противоэрозионных мероприятий. Технология САПР включает создание соответствующих баз нормативных данных, компьютерного (сканированного) образа топокарт, перевод графического изображения в текстовый код, прокладку линий тока, расчет уклонов, смыва, положения рубежей (лесополос и др.), построение карт уклонов, текущего смыва, выполнение сметно-финансовых расчетов, тиражирование документации. САПР существенно повышает качество и производительность проектных работ при минимальных потребностях в услугах специалистов высокой квалификации.

Совокупность выполненных разработок может быть использована для планирования, проектирования и осуществления почвозащитных мероприятий в лесомелиорации, эрозиоведении, почвозащитном земледелии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдульманов Ф. А., Гункин И. И. Роль агротехнических приемов в борьбе с эрозией почв // Эрозия почв, защитное лесоразведение и урожай. – Куйбышев, 1975. – Вып. 8. – С. 9-16.

2. Агафонов Б. П. Плоскостная эрозия в Байкальской впадине // Геоморфология. – 1985. – № 3. – С. 29-36.

3. Адамов Н. П. Факторы плодородия русского чернозема. Климат и физические свойства. – Спб., 1904. – Ч.1.

4. Аксенов П. И. Щелевание мерзлой почвы перед стоком // Вестн. с.-х. науки. – 1969. – № 3 – С. 70-78.

5. Алибеков Х. А., Буруменский В. С. О расчете стокорегулирующей эффективности лесополос // Водные ресурсы. – 1981. – № 6. – С. 62-69.

6. Ананьев Г. С., Сыроечковская Е. Д. Инструментальное изучение делювиальных процессов в Забайкалье // Склоны, их развитие и методы изучения: Вопросы географии. – М., 1971. – Сб. 85. – С. 135-141.

7. Андерсон Дж. М. Экология и науки об окружающей среде: биосфера, экосистемы, человек / Пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 165 с.

8. Андерсон М. Г., Берт Т. П. Стратегия моделирования // Гидрогеологическое прогнозирование / Пер. с англ. – М., 1988. – С. 11-26.

9. Андрианов Б. В. Земледелие наших предков. – М.: Наука, 1978. – 167 с.

10. Анри Э. Леса равнин и грунтовые воды // Почвоведение. – 1903. – Т. 5. – № 1.

11. Антипов А. Н., Корытный Л. М., Малик Л. К. Гидрология естественных и преобразованных ландшафтов // Изв. АН СССР, сер. геогр. – 1985. – № 3. – С. 143-144.

12. Антонов В. И. Исследование влияния водорегулирующих лесных полос на количественный и качественный состав стока в лесостепи Среднего Поволжья: Автореф. дис. ...к.с.-х.н. – Волгоград, 1983. – 22 с.

13. Аполлов Б. А., Калинин Г. П., Комаров В. Д. Курс гидрологических прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 420 с.

14. Арманд Д. Л. Естественный эрозионный процесс // Изв. АН СССР, сер. геогр. – 1955. – №6. – С. 3-17.

15. Арманд Д. Л. Антропогенные эрозионные процессы // Сельскохозяйственная эрозия и борьба с ней. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – С. 7-37.

16. Арманд Д. Л. Физико-географические основы проектирования сети полезащитных лесных полос. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 368 с.

17. Арманд Д. Л. Наука о ландшафте (Основы теории и логико-математические методы). – М.: Мысль, 1975. – 288 с.
18. Арнольд Н. О копании канав на пригорках и возвышенностях пахотных полей // Земледельческая газета. – Спб., 1840. – № 102.
19. Аскинази В. О. Равнинные суховеи юго-восточной Европы // Изв. науч.-мелиорац. ин-та. – Л., 1928. – Вып. 17. – 48 с.
20. А. с. 810099 СССР. Способ борьбы с эрозией почв на прибалочных склонах / В. Н. Дьяков, А. Г. Рожков // Открытия. Изобретения. – 1981. – № 9. – С. 4.
21. А. с. 1404000 СССР. Способ защиты почв от водной эрозии на склонах / А. Т. Барабанов, Е. А. Гаршинев и др. // Открытия. Изобретения. – 1988. – № 23. – С. 4.
22. А.с. 1565359 СССР. Способ определения стока воды со склонов / Н. Н. Бобровицкая // Открытия. Изобретения. – 1990. – № 19. – С. 3-5.
23. Афонин М. И. Слово о пользе, значении, собирании и расположении чернозема, особливо в хлебопашестве. – М., 1771.
24. Баблюянец А. Молекулы, динамика, жизнь. Введение в самоорганизацию / Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 375 с.
26. Барабанов А. Т., Гаршинев Е. А. Пути повышения стокорегулирующей эффективности искусственного микрорельефа на пашне // Материалы Всесоюз. науч.-техн. конф. – М., 1980. – С. 17-19.
27. Барабанов А.Т., Гаршинев Е. А. Оценка весеннего поверхностного стока в степи и лесостепи европейской территории РСФСР, Украины и Белоруссии // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1987. – Вып. 2(51). – С. 5-9.
28. Барабанов А. Т., Гаршинев Е. А. Контурная организация территории и лесомелиорация // Земельная реформа и проблемы развития земледелия СССР. – Курск, 1992. – С. 345-346.
29. Барабанов А. Т., Гаршинев Е. А. Контурная организация территории и лесомелиорация // Лесомелиорация и ландшафт. – Волгоград, 1993. – Вып. 1(105). – С. 92-107.
30. Барабанов А. Т., Ломакин М. М. Прогноз стока талых вод // Вестн. с.-х. науки. – 1989. – № 9. – С. 133-135.
31. Барабанов А. Т., Петров П. Т. Оценка метода подтока при изучении эффективности противоэрозионных приемов в Ульяновской области // Методы исследования водной эрозии в противоэрозионной лесомелиорации. – Волгоград, 1989. – Вып. 1(96). – С. 98-104.
32. Барабанов А. Т., Сурмач Г. П., Мальков Г. А. Изучение стока талых вод, смыва и водорегулирующей роли лесных полос в почвозащитном севообороте со светло-каштановыми почвами // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1970. – Вып. 8(60). – С. 22-26.
33. Басов Г. Ф., Грищенко М. Н. Гидрологическая роль лесных полос. – М.: Гослесбумиздат, 1963. – 200 с.

34. Белозер И. И. Агротехническая эффективность сельскохозяйственных культур на склонах // Вестн. с.-х. науки. – 1966. – № 1. – С. 84-86.
35. Белолипский В. А., Шелякин Н. М., Игуменцев А. Ф. О методах изучения эрозионных процессов // Почвоведение. – 1985. – № 5. – С. 98-105.
36. Белонин Н. Н. О направлении суховеев и размещении лесных полос // Агроклиматические условия степи Украинской ССР и пути их улучшения. – Киев, 1950. – Т. 1. – С. 55-57.
37. Беннетт Х. Х. Основы охраны почв / Пер. с англ. – М.: Изд-во ИЛ, 1958. – 412 с.
38. Бетс К. Лесные полосы и их значение в сельском хозяйстве / Пер. с англ. – М.: Сельхозгиз, 1930.
39. Блютген И. География климатов / Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1972. – Т. 1. – 428 с.
40. Бобровицкая Н. Н. Водная эрозия на склонах и сток речных наносов: Автореф. дис. ... д.г.н. – Спб., 1995. – 58 с.
41. Бова Н. В. Ветер в Поволжье. – Саратов, 1947. – 114 с.
42. Бова Н. В. О направлении ветра при метелях и суховеях на юго-востоке СССР // Сельское хоз-во Поволжья. – 1957. – № 1. – С. 43-45.
43. Болотов А. Т. Мысль о водорослях // Экономический магазин, 1781.
44. Большаков В. В., Иванов А. Н. Сборник задач по гидрометрии, инженерной гидрологии и регулированию стока. – М.: Высшая школа, 1975. – 184 с.
45. Бондаренко Ю. В. Исследование основных параметров систем защитных лесных насаждений на берегах гидрографической сети южной части Приволжской возвышенности: Автореф. дис. ... к.с.-х.н. – Волгоград, 1981. – 25 с.
46. Бондаренко Ю. В., Зыков И. Г. Водорегулирующая эффективность полосных лесных насаждений различных параметров в гидрографической сети // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1978. – Вып. 2(27). – С. 21-22.
47. Борец В. П. Влияние приемов агротехники на сток, водную эрозию светло-каштановых почв и урожай сельскохозяйственных культур: Автореф. дис. ... к.с.-х.н. – Саратов, 1973. – 22 с.
48. Борец В. П., Новиков Н. Е. Противозерозионная эффективность и рост лесных насаждений юга Нечерноземной зоны // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1983. – Вып. 2(79). – С. 128-132.
49. Борец В. П., Тубольцев Е. Я. Влияние агролесомелиоративных мероприятий на сток талых вод // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1987. – Вып. 3(52). – С. 12-16.
50. Борисов А. А. Климаты СССР. – М.: Просвещение, 1967. – 293 с.
51. Борисов А.А. Климаты СССР. – М.: Просвещение, 1976. – 296 с.

52. Борткевич В. М. Укрепление оврагов водосборными валами и канавами // Сб. статей по песчано-овражным работам. – Петроград, 1915. – Вып. 5.
53. Будыко М. И. Глобальная экология. – М.: Мысль, 1977. – 327 с.
54. Буруменский В. С., Кумани М. В. Противоэрозионная эффективность стокорегулирующих лесных полос // Теоретические основы противоэрозионных мероприятий. – Одесса, 1979. – Ч. 2. – С. 13-14.
55. Бурыкин А.М. Зональные и микроразнообразные особенности эрозии (на примере субтропических областей) // Науч. тр. ВАСХНИЛ. – М.: Колос, 1975. – С. 9-13.
56. Бурыкин А. М. Темпы эрозии почв в естественных и техногенных ландшафтах // Почвоведение. – 1986. – № 4. – С. 80-89.
57. Бурыкин А. М. Устойчивость почв к водной эрозии и ее динамика // Почвоведение. – 1987. – № 12. – С. 110-120.
58. Бучинский И. Е. Засухи и суховеи. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 214 с.
59. Бялый А. М. Система лесных полос и воспроизводство водных ресурсов чернозема // Почвоведение. – 1980. – №10. – С. 87-88.
60. Бялый А. М., Панов В. И., Нигматулин И. С., Овсянникова Е. М. Влияние широких водораздельных и государственных лесных насаждений на формирование антропогенного водного режима и грунтовых вод // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1983. – Вып. 2(79). – С. 161-170.
61. Величкин В. Е. Экспериментальное изучение поглощения летних осадков в лесных полосах правобережья Нижней Волги // Науч.-техн. бюл. ВНИИЗПЭ. – Курск, 1975. – Вып. 5. – С. 41-44.
62. Величкин В. Е. Водорегулирующая и противоэрозионная роль полосных лесных насаждений // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1981. – Вып. 2(73). – С. 71-77.
63. Величко А. А. Эволюционный подход к проблеме: человек и окружающая среда // Изв. АН СССР, сер. геогр. – 1987. – № 6. – С. 71-74.
64. Вериге С. А., Разумова П. П. Почвенная влага. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 328 с.
65. Вернадский В. И. Несколько слов о ноосфере / Философские мысли натуралиста. – М.: Наука, 1988. – 520 с.
66. Вильчек В. М. Прощание с Марксом (Алгоритмы истории). – М.: Прогресс-Культура, 1993. – 224 с.
67. Виноградов Ю. Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. Опыт критического анализа. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 312 с.
68. Водный баланс основных экосистем Центральной лесостепи: Материалы эксперимент. исследований. (Приложения) / Под ред. А. М. Грина. – М., 1974. – 133 с.

69. Водогрецкий В. Е., Зайцева Э. А., Ефимова Л. В. Склоновый сток и его изменение под влиянием агротехнических и лесомелиоративных мероприятий // Тр. ГГИ. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – Вып. 206. – С.172-207.

70. Водорегулирующая роль таежных лесов / М. В. Рубцов, А. А. Дедюгин, Ю. Н. Салмина, В. И. Гурцев. – М.: Агропромиздат, 1990. – 223 с.

71. Войсков А. И. Воздействие человека на природу // Землеведение. – 1894. – Кн. II.

72. Возникновение и развитие земледелия / Отв. ред. В. Д. Блаватский, А. В. Никитин – М.: Наука, 1967. – 232 с.

73. Волеваха В. А., Ромушкевич В. И. Суховеи на Украине. – Киев: Изд-во Киев. ун-та, 1972. – 47 с.

74. Волобуев В. Р. Соотношение между тепловым режимом почв и климатом приземного слоя воздуха // Почвоведение. – 1983. – № 2. – С. 52-63.

75. Володин В. М. Агроэкологические основы регулирования почвенного плодородия: – Дис. ...д.с.-х.н. в форме науч. докл. – Минск, 1991. – 59 с.

76. Воронов В. В. Изучение водорегулирующей роли лесных полос и средств ее усиления // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1975. – Вып. 1(17). – С. 10-13.

77. Воскресенский С. С. Типичные профили склонов // Вопр. географии. – М., 1971. – Сб.85. – С.10-24.

78. Гаврилица А. О., Папук В. В. Крутизна склона и механизм его влияния на достоктовую поливную норму при дождевании // Почвоведение. – 1989. – № 12. – С.111-117.

79. Гайворон Т. Д. О возможности прогнозирования эрозионных процессов на основе палеогеографического анализа // Науч.-техн. бюл. ВНИИЗПЭ. – Курск, 1979. – Вып. 3(22). – С. 13-16.

80. Гайворон Т. Д. Стадии развития овражно-балочных форм и их связь с этапами земледельческого освоения // Геоморфология. – 1985. – № 4. – С. 66-70.

81. Гаршинев Е. А. Величина водопоглощения в насаждениях и некоторые факторы, ее определяющие // Матер. науч.-техн. конф. ... – Волгоград, 1968. – С. 33-38.

82. Гаршинев Е. А. Изучение водорегулирующей роли противоэрозионных насаждений на серых лесных почвах Центральной лесостепи: Автореф. дис. ... к.с.-х.н. – Воронеж, 1971. – 20 с.

83. Гаршинев Е. А. Расчет реальной дальности ветроломного влияния лесополос // Тезисы докладов. – Челябинск, 1980. – С. 34-35.

84. Гаршинев Е. А. Картирование осей преобладающих направлений ветров на основе количественного анализа их повторяемостей // Науч.-техн. бюл. ВНИИЗиЗПЭ. – Курск, 1981. – Вып. 2(29) – 81. – С. 62-68.

85. Гаршинев Е. А. Размещение противозрозионных лесонасаждений при контурной организации территории // Проблемы и резервы контурного земледелия. – М.: Колос, 1982. – С. 87-100.

86. Гаршинев Е. А. Классификация форм эрозионного размыва на основе генетического анализа их пространственно-временной эволюции // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1984. – Вып. 2(43). – С. 11-15.

87. Гаршинев Е. А. Аналитическое описание формы горизонталей // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1987. – Вып. 2(51). – С.55-56.

88. Гаршинев Е. А. Выбор способа размещения лесополос на водосборах с учетом направления вредоносных ветров // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1988. – Вып. 1(93). – С. 30-42.

89. Гаршинев Е. А. Оценка эффективности ветроломных лесополос на юго-востоке ЕТС на основе регрессионно-статистического анализа повторяемости направлений ветра // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1989. – Вып. 3(98). – С. 70-84.

90. Гаршинев Е. А. Обоснование способа расчета смыва и расстояний между лесными полосами по критерию допустимой эрозии // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1990. – Вып. 1(99). – С. 96-105.

91. Гаршинев Е. А. Ориентация лесных полос в Алтайском крае с учетом преобладающего направления ветра // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1990. – Вып. 2(60). – С. 8-13.

92. Гаршинев Е. А. Водопоглощение при подтоке в лесное насаждение // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1995. – Вып. 1(106). – С. 158-173.

93. Гаршинев Е. А. К обоснованию концепции ледяного экрана, как ведущего фактора усвоения влаги мерзлой почвой // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1996. – Вып. 1(107). – С. 98-113.

94. Гаршинев Е. А. Научные основы управления эрозионно-гидрологическим процессом на сельскохозяйственных землях и сопряженных территориях // Сб. лекций межд. учеб. курсов ЮНЕП / ЦМП / ВНИАЛМИ. – Москва-Волгоград, 1998. – С. 40-52.

95. Гаршинев Е. А. Эрозионно-гидрологический процесс и лесомелиорация: теория и модели. – Волгоград, 1999. – 196 с.

96. Гаршинев Е. А., Барабанов А. Т., Зыков И. Г. Роль и место лесомелиорации в комплексе противозрозионных мероприятий // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1987. – Вып. 3(52). – С. 5-7.

97. Гаршинев Е. А., Барабанов А. Т., Зыков И. Г. Основные направления противозрозионной мелиорации // Вестн. с.-х. науки. – 1988. – № 1. – С. 145-151.

98. Гаршинев Е. А., Зарудная Т. Я. Оценка стокорегулирующей роли приемов повышения водопоглощения в молодых лесополосах // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1984. – Вып. 2(43). – С. 44-46.

99. Гаршинев Е. А., Зарудная Т. Я. Оценка приемов ускоренного повышения водопоглощения в молодых лесополосах на типичных черноземах ЦЧО // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1985. – Вып. 3(86). – С. 62-73.

100. Гаршинев Е. А., Зарудная Т. Я. Оценка вида аналитической аппроксимации связи водопоглощения в лесных полосах с величиной подтока талого стока // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1991. – Вып. 3(104). – С. 51-63.

101. Гаршинев Е. А., Салугин А. Н., Овечко Н. Н., Филиппов А. В. Использование математических пакетов для обработки картографической информации в целях проектирования противоэрозионных мероприятий // Тезисы науч. конф. – Саратов, 1998. – С. 135-136.

102. Гаршинев Е. А., Сурмач Г. П. Повышение эффективности водорегулирующей роли лесонасаждений на серых лесных почвах // Вестн. с.-х. науки. – 1971. – № 7. – С. 93-99.

103. Гаршинев Е. А., Сурмач Г. П., Барабанов А. Т. Расчет водопоглощения в лесной полосе при поступлении талого стока разной обеспеченности в условиях ЦЧЗ // Науч.-техн. бюл. ВНИИЗПЭ. – Курск, 1979. – Вып. 4(23). – С. 50-58.

104. Герасименко В. П. Оценка влияния лесонасаждений на сток и водный баланс в период весеннего половодья // Водные ресурсы. – 1974. – № 4. – С. 43-54.

105. Герасименко В. П., Буруменский В. С., Шадрин В. И. Методика расчета весеннего склонового стока // Науч.-техн. бюл. ВНИИЗиЗПЭ. – Курск, 1985. – Вып. 1(44)-85. – С. 25-32.

106. Герасимов И. П. Овраги и балки (суходолы) степной полосы // Проблемы физической географии. – М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1950. – Вып. 15. – С. 27-44.

107. Глебова М. Я. Направление метелевых ветров на европейской территории СССР // Тр. ГГО. – Л., 1958. – Вып. 85. – С. 78-80.

108. Гончаров Н. Ф. Влияние приемов обработки почвы под озимые на эрозию склоновых земель в лесостепи ЦЧО: Автореф. дис. ... к.с.-х.н. – Воронеж, 1983. – 17 с.

109. Горохов Г. И. Размещение полезащитных лесных полос при введении правильных севооборотов // Соц. сельское хоз-во. – 1939. – № 6. – С. 51-62.

110. Горохов Г. И. Размещение защитных лесных полос // Землеустроительное проектирование. – М.: Колос, 1969. – С. 337-359.

111. Горшенин Н. М. Эрозия горных лесных почв и борьба с ней. – М.: Лесн. пром-сть, 1974. – 128 с.

112. Горшенин Н. М. Водорегулирующая и почвозащитная роль лесов Карпат // Материалы Всесоюз. совещ. по водоохр.-защит. роли гор. ле-

сов. – Красноярск, 1976. – С. 3-9.

113. Грин А. М. Влияние подстилающей поверхности на формирование весеннего поверхностного стока и смыв почвы в условиях Курской области // Сб. работ Курской ГМО. – Л., 1963. – Вып. 2. – С. 79-97.

114. Грин А. М. Динамика водного баланса Центрально-Черноземного района. – М.: Наука, 1965. – 148 с.

115. Грин А. М. Ретроспективный мониторинг – синхронный анализ изменений во времени природной и антропогенной составляющих геосистем // Человек и окружающая среда в древности и средневековье. – М., 1985.

116. Гришанин К. В. Динамика русловых потоков. – Л.: Гидрометеопиздат, 1979. – 341 с.

117. Грызлов Е. В. Почвозащитная система земледелия. – Ростов-на-Дону, 1975. – 136 с.

118. Грызлов Е., Левченко В. Как лучше предотвратить смыв? // Земледелие. – 1968. – № 9. – С. 30-32.

119. Гумилев Л. Н. Этногенез и биосфера Земли. – Л.: Гидрометеопиздат, 1990. – 526 с.

120. Девдариани А.С. Вклад Западной Европы, США и СССР в изучение рельефа поверхности Земли математическими методами // Рельеф Земли и математика. – М., 1967. – С.5-17.

121. Дедков А. П., Мозжерин В. И. Эрозия и сток наносов на Земле. – Казань: Изд-во Каз. ун-та, 1984. – 264 с.

122. Демидов В. В. К вопросу о противоэрозионной роли прибалочных лесных полос // Науч.-тех. бюл. ВНИИЗПЭ. – Курск, 1979. – Вып. 3(22). – С. 36-40.

123. Демидов В. В. Комплексное влияние лесных полос и агротехнических приемов на эрозию почвы и урожайность сельскохозяйственных культур на черноземах Курской области: Автореф. дис. ... к.с.-х.н. – Волгоград, 1983. – 25 с.

124. Демидов В. В. Оценка водопоглотительной способности лесных полос, усиленных простейшей гидротехникой // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1989. – Вып. 4(96). – С. 104-111.

125. Денисов Н. А. Основы почвоведения в тропиках и субтропиках // Учебное пособие для студентов факультета тропического и субтропического сельского хозяйства. – Краснодар, 1974.

126. Дзержевский Б. Л. Пути исследования происхождения суховея // Вестник АН СССР. – 1956. – № 3. – С. 74-78.

127. Добрынин Ф. Д., Карпович К. И., Прокофьев А. М., Петров П. Т. Некоторые вопросы по защите почв от водной и ветровой эрозии в правобережной лесостепи Среднего Поволжья // Тр. Ульянов. с.-х. оп. ст. – Ульяновск: Приволж. кн. изд-во, Ульяновск. отд-е, 1975.

128. Докучаев В. В. Наши степи прежде и теперь // Избр. соч. – М.: Сельхозгиз, 1954. – С. 449-512.

129. Докучаев В. В. Труды экспедиции, снаряженной Лесным департаментом, под руководством проф. Докучаева // Избр. соч. – М.: Сельхозгиз, 1954. – С. 513-542.

130. Долгилевич М. И. Теоретические и экспериментальные исследования вопросов защиты почв от ветровой эрозии на Украине: Автореф. дис. ... д.б.н. – М., 1972. – 45 с.

131. Долгилевич М. И. Некоторые методологические вопросы исследования сельскохозяйственной продуктивности лесоаграрных ландшафтов // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1983. – Вып. 2(79). – С. 26-41.

132. Долгилевич М. И., Васильев Ю. И., Сажин А. Н. Системы лесных полос и ветровая эрозия. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 160 с.

133. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1979. – 416 с.

134. Дремцов С. Рассказ о том, как у нас на Руси началось и шло земледелие с самых древних времен и до наших дней. – М.: Тип. Вильде, 1899. – 125 с.

135. Дубах А. Д. Лес как гидрологический фактор. – М.–Л.: Гослесбумиздат, 1951.

136. Дьяков В. Н. Влияние ширины прибалочной лесной полосы на поверхностный сток // Науч.-техн. бюл. ВНИИЗПЭ. – Курск, 1976. – Вып. 4(11). – С. 53-57.

137. Дьяков В. Н. Сток и эрозия на горных склонах при рубках главного пользования // Науч. тр. ВАСХНИЛ. – М.: Колос, 1977. – С. 236-247.

138. Дьяков В. Н. О влиянии водорегулирующей лесной полосы на поверхностный сток // Науч.-техн. бюл. ВНИИЗПЭ. – Курск, 1978. – Вып. 2(17). – С. 66-71.

139. Дьяков В. Н. Повышение стокорегулирующей функции лесных полос // Лесное хоз-во. – 1979. – № 9. – С. 37-39.

140. Дьяков В. Н. Водорегулирующая эффективность лесных полос в условиях Центральной лесостепи // Лесоведение. – 1980. – № 5. – С. 13-20.

141. Дьяков В. Н. Лесонасаждения в системе почвозащитного земледелия // Науч.-техн. бюл. ВНИИЗиЗПЭ. – Курск, 1983. – Вып. 1(36) – 83. – С. 81-87.

142. Дьяков В. Н. Агролесомелиорация в системе земледелия на склонах. – М.: Россельхозиздат, 1987. – 110 с.

143. Дьяков В. Н. Агролесомелиорация заовраженных земель // Сельскохозяйственное использование заовраженных земель. – М.: Агропромиздат, 1989. – С. 64-98.

144. Дьяков В. Н. Почвозащитная эффективность лесных полос в условиях контурного земледелия // Экологические проблемы сохранения и воспроизводства почвенного плодородия. – Курск, 1989. – С. 178-188.
145. Дьяков В. Н. Агролесомелиорация в контурном земледелии // Контурное земледелие и организация механизированных работ на склонах. – Воронеж, 1991. – С. 86-102.
146. Дьяков В. Н. Почвозащитная эффективность лесных насаждений на сельскохозяйственных землях // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1991. – Вып. 2(103). – С. 109-114.
147. Дьяков В. Н. Узкие лесные полосы на склонах // Вестн. с.-х. науки. – 1991. – № 2. – С. 152-154.
148. Дьяков В. Н. Почвозащитная эффективность узких лесных полос // Вестн. с.-х. науки. – 1992. – № 1. – С. 159-162.
149. Дьяков В. Н. Противоэрозионная эффективность лесных полос в условиях современного сельскохозяйственного производства // Докл. РАСХН. – 1993. – № 4. – С. 33-37.
150. Дюнин А. К. Механика метелей (вопросы теории проектирования снегорегулирующих средств). – Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1963. – 378 с.
151. Заварина М. В. К вопросу о природе суховея (Критический обзор литературы) // Тр. ГГО. – Л., 1951. – Вып. 30 (92). – С. 4-27.
152. Заварина М. В. Суховеи юго-востока европейской части СССР // Микроклиматические и климатические исследования в Прикаспийской низменности. – М., 1953. – С. 79-85.
153. Зайченко К. И. Закономерности распространения луговых почв в балках степи и полупустыни юго-востока европейской части РСФСР // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1990. – Вып. 1(99). – С. 111-125.
154. Зарудный Я. К. Лесные полосы с валами-террасами // Земледелие. – 1985. – № 2. – С. 42-44.
155. Заславский М. Н. Эрозиоведение. – М.: Высшая школа, 1983. – 320 с.
156. Заславский М. Н., Каштанов А. Н. Почвозащитное земледелие. – М.: Россельхозиздат, 1979. – 207 с.
157. Заславский М. Н., Ларионов Г.А., Литвин Л.Ф. Механизм и закономерности проявления процесса // Эрозионные процессы. – М., 1984. – С. 31-44.
158. Здоровцов И. П., Векленко В. И. Научно-практические принципы конструирования и функционирования природоохранных систем земледелия с контурно-мелиоративной организацией территории // Вестн. с.-х. науки. – 1989. – № 12. – С. 50-58.
159. Зубов А. Р. Эффективность стокорегулирующих лесных полос и противоэрозионных гидротехнических сооружений в Донбассе: Автореф. дис. ... к.с.-х.н. – Волгоград, 1988. – 24 с.

160. Зубов А. Р., Шелякин Н. М. Использование гидротехнических средств усиления водорегулирующих лесных полос и кротования для увлажнения склоновых земель Донбасса // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1984. – Вып. 2(43). – С. 47-48.

161. Зыков И. Г. Научные основы лесной мелиорации гидрографической сети степных районов европейской части СССР: Автореф. дис. ...д.с.-х.н. – Волгоград, 1983. – 48 с.

162. Зыков И. Г., Антонов В. И. Трансформация поверхностного стока и эрозионных процессов на мелиорированных склонах в лесостепи Среднего Поволжья // Лесное хозяйство. – 1984. – № 10. – С. 52-54.

163. Зыков И. Г., Антонов В. И. Изменение стока под влиянием водорегулирующих лесных полос в лесостепи Среднего Поволжья // Вестн. с.-х. науки. – 1986. – № 9. – С. 131-133.

164. Ивонин В. М. Результаты отдельного и совместного применения элементов противоэрозионного комплекса на склоновых землях в Ростовской области. – Автореф. дис. ... к.с.-х.н. – Персиановка, 1972.

165. Ивонин В. М. О ширине водорегулирующих лесных полос при их сочетании с гидротехническими сооружениями // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1980. – Вып. 3(34). – С. 5-8.

166. Ивонин В. М. Агролесомелиорация склонов Западной Сибири // Вестн. с.-х. науки. – 1982. – № 6. – С. 112-123.

167. Ивонин В. М. Агролесомелиорация разрушенных оврагами склонов. – М.: Колос, 1983. – 174 с.

168. Ивонин В. М. Теоретические основы противоэрозионной агролесомелиорации // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1983. – Вып. 2(79). – С. 117-127.

169. Ивонин В. М. Очистка шахтных вод в балках Донецкого кряжа // Мелиорация и водное хоз-во. – 1991. – № 3. – С. 10-13.

170. Ивонин В. М. Противоэрозионные мелиорации водосборов в районах оврагообразования. – М., 1992. – 378 с.

171. Ивонин В. М., Миронченко Ф. А. Раздельное и совместное применение элементов противоэрозионного комплекса на почвах склонов в Ростовской области // Почвоведение. – 1973. – № 3. – С. 86-90.

172. Ивонин В. М., Уваров В. М., Васенков Г. И. Полумодельные исследования в противоэрозионной агролесомелиорации // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 1982. – № 6. – С. 51-55.

173. Идзон П. Ф., Пименова Г. С. Влияние леса на сток рек. – М.: Наука, 1975. – 111 с.

174. Инструктивные указания по проектированию и выращиванию защитных лесных насаждений в равнинных районах СССР. – М.: Колос, 1966. – 71 с.

175. Инструктивные указания по проектированию и выращиванию защитных лесных насаждений в равнинных районах РСФСР. – М.: Россельхозиздат, 1970. – 72 с.

176. Инструктивные указания по проектированию и выращиванию защитных лесных насаждений на землях колхозов и совхозов СССР (проект). – 1970. – 70 с.

177. Инструктивные указания по проектированию и выращиванию защитных лесных насаждений на землях колхозов и совхозов СССР (проект). – М., 1972.

178. Инструктивные указания по проектированию и выращиванию защитных лесных насаждений на землях сельскохозяйственных предприятий. – М.: Колос, 1973. – 49 с.

179. Инструктивные указания по проектированию и выращиванию защитных лесных насаждений на землях сельскохозяйственных предприятий РСФСР. – М.: Россельхозиздат, 1979. – 45 с.

180. Инструктивные указания по созданию и эксплуатации защитных лесных насаждений на землях сельскохозяйственных предприятий (проект). – М., 1987. – 96 с.

181. Инструкция по определению расчетных гидрологических характеристик при проектировании противоэрозионных мероприятий на европейской территории СССР. – ВСН 04-77 / Госкомгидромет. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 62 с.

182. Инструкция по проектированию и выращиванию защитных лесных насаждений в СССР (проект). – Волгоград, 1964.

183. Инструкция по проектированию защитных лесных полос при внутриколхозном землеустройстве в засушливых районах / Наркомзем СССР. – М., 1938.

184. Инструкция по проектированию и размещению защитных лесных насаждений на полях колхозов и совхозов в степных и лесостепных районах европейской части СССР / Главк землеустройства МСХ СССР. – М., 1952.

185. Инструкция по полезащитным лесным полосам и противоэрозионным насаждениям в колхозах и совхозах УССР. – Киев-Харьков: Сельхозгиз УССР, 1947.

186. Инструкция по созданию защитных лесных насаждений на полях колхозов и совхозов Украинской ССР. – Киев: Изд-во УАСХН, 1961.

187. Казаков В. Е., Айникеев Р. С. Промерзание и оттаивание почвы при различной обработке в Северо-Казахстанской области // Почвоведение. – 1961. – № 2. – С. 69-74.

188. Казанкин А. П. Актуальность восстановления горно-защитных лесов Приэльбрусья // Лес. хоз-во. – 1982. – № 8. – С. 27-28.

189. Казанкин А. П. Защитные и водорегулирующие функции леса в горных экосистемах Северного Кавказа: Автореф. дис. ... д.б.н. – Красноярск, 1989.

190. Калужский В. А. Комплекс агролесомелиоративных мероприятий и его воздействие на сток и водную эрозию почв на Приволжской возвышенности: Автореф. дис. ... к.с.-х.н. – Саратов, 1970. – 21 с.

191. Калужский В. А., Проездов П. Н. Воздействие комплекса агролесомелиоративных мероприятий на формирование стока и эрозии // Сб. науч. тр. НИИСХ ЮВ. – Саратов, 1985. – С. 128-135.

192. Калюжный И. Л., Павлова К. К. Формирование потерь талого стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 160 с.

193. Каминский А. А. Климат и погода в равнинной местности: Климат Воронежской губернии. – Л.: Новая деревня, 1925. – Ч. 1.

194. Карамзин А. Н. Климат Бугуруслановского уезда. – Самара, 1912.

195. Картамышев Н. И. Основы почвозащитной обработки почв ЦЧО (теоретическое обоснование): Автореф. дис. ... д.с.-х.н. – Кишинев, 1989. – 32 с.

196. Картамышев Н. И., Порядин В. А., Солошенко В. М. Эффективность щелевания при возделывании сельскохозяйственных культур на склонах. – Воронеж, 1991. – 63 с.

197. Каулин В. Н. Агролесотехнические мероприятия как фактор влагонакопления и метод борьбы с эрозией почвы // Сб. работ Курской ГМО. – Л., 1965. – Вып. 3. – С. 54-72.

198. Каулин В. Н. Взаимодействие агролесомелиоративных приемов и гидрометеорологических факторов // Борьба с эрозией почв. – М.: Россехозиздат, 1968. – С. 143-165.

199. Качинский Н. А. Замерзание, размерзание и влажность почвы в зимний сезон в лесу и на полевых участках. – М.: Изд-во МГУ, 1927. – 168 с.

200. Керимханов С У. О классификации пастбищной эрозии на горных склонах // Вопросы методики почвенно-эрозионного картирования. – М., 1972. – С. 98-109.

201. Керкби М. Дж. Гидролого-гидрогеологические условия склонов // Гидрогеологическое прогнозирование / Пер. с англ. – М., 1988. – С. 54-102.

202. Китредж Дж. Влияние леса на климат, почвы и водный режим / Пер. с англ. – М.: Изд-во ИЛ, 1951.

203. Коваленко А. П. Щелевая обработка почвы, как прием борьбы с водной эрозией на посевах озимых: Автореф. дис. ... к.с.-х.н. – Воронеж, 1989. – 24 с.

204. Козловская М. Э. Исследования эрозии и аккумуляции в различных регионах России: Автореф. дис. ... к.с.-х.н. – М., 1995. – 24 с.

205. Козменко А. С. Краткий предварительный отчет заведующего А.С. Козменко о ходе оценочно-гидрологических исследований в 1909 году. – Тула, 1909.

206. Козменко А. С. Борьба с эрозией в земледельческих районах СССР // Борьба с эрозией почв в СССР. – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1938. – С. 33-55.

207. Козменко А. С. Теоретические основы борьбы с эрозией почв // Итоги работы института, опытных станций и пунктов. – Волгоград, 1961. – Вып. 35, т. I. – С. 67-99.

208. Комаров В. Д. Весенний сток равнинных рек европейской части СССР, условия его формирования и методы прогнозов. – М.: Гидрометеопиздат, 1959. – 295 с.

209. Комаров М. И., Олейник Д. Д. Ячейкоделатель для обработки сложных склонов // Земледелие. – 1966. – № 8. – С. 47-50.

210. Контурное земледелие и организация механизированных работ на склонах / Под ред. И. П. Здоровцова, В. М. Солошенко. – Воронеж, 1991. – 224 с.

211. Контурно-мелиоративное земледелие: Методические рекомендации / В. Г. Ткаченко, В. К. Филиппов, В.В. Вольнов и др. – Новосибирск, 1982. – 85 с.

212. Копеев Б. А. Водная эрозия на склоновых землях Северного Казахстана // Сб. науч. тр. ВНИИЗХ. – Целиноград, 1984. – С. 123-130.

213. Коронкевич Н. И. Гидрология антропогенного направления: теория, методы исследований // Вопросы антропогенных изменений водных ресурсов. – М., 1976. – С. 5-24.

214. Коронкевич Н. И. Зональное сопоставление стока половодья с различно дренированных водосборов // Исследования формирования водных ресурсов. – М., 1976. – С. 117-132.

215. Коронкевич Н. И. Характеристика водных ресурсов // Природные ресурсы Русской равнины в прошлом, настоящем и будущем. – М., 1976. – С. 236-295.

216. Коронкевич Н.И. О влиянии уклона на поверхностный сток // Изв. АН СССР, сер. геогр. – 1985. – № 4. – С. 57-65.

217. Коронкевич Н. И., Чернышев Е. П. Воздействие на водные ресурсы и эрозию на начальной стадии их формирования // Природные ресурсы Русской равнины в прошлом, настоящем и будущем. – М., 1976. – С. 295-321.

218. Короткевич Ф. Н. О величине и характере твердого элементарного стока // Метеорология и гидрология. – 1940. – № 9. – С. 114-116.

219. Корреляционно-регрессионный анализ в противозерозионной лесомелиорации с применением программируемых микрокалькуляторов (ме-

тодические рекомендации с примерами решения задач) / И. Г. Зыков, Е. А. Гаршинев, Г. И. Васенков, А. Т. Барабанов. – Волгоград, 1986. – 103 с.

220. Косоножкин В. И., Дмитренко В. Н. Измерение скорости потока в мелкой ручейковой сети // Науч. тр. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. – М., 1983. – С. 104-106.

221. Костычев П. А. Почвы черноземной области России, их происхождение, состав и свойства. – Л.: Изд-во АН СССР, 1951. – Ч. I.

222. Костюкевич Н. Поверхностный сток на суглинистых почвах БССР в условиях леса и поля // Изв. АН БССР. – Минск, 1949. – № 4.

223. Котлярова О. Г. Почвозащитная система в интенсивном земледелии Центрально-Черноземной зоны. – Воронеж: Ц.-Ч. кн. изд-во, 1990. – 268 с.

224. Котов А. В. Влияние лесных насаждений на сток талых вод и смыв на каштановых почвах правобережья Нижней Волги // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1970. – Вып. 8(60). – С. 32-35.

225. Кремень А. Г. Противозерозионная обработка почвы фигурными катками: Автореф. дис. ... к.с.-х.н. – Новочеркасск, 1973. – 13 с.

226. Кренке А. Н. Способствовать гармоническому развитию природно-антропогенных систем // Изв. АН СССР, сер. геогр. – 1987. – № 6. – С. 66-68.

227. Кренке А. Н. Антропогенные изменения географической зональности и их влияние на соотношение тепла и влаги в климатической системе // Изв. АН СССР, сер. геогр. – 1989. – № 3. – С. 43-57.

228. Крупчатников А. И., Ананьев В. С. Влияние системы лесополос на эрозию почвы и урожайность // Науч.-техн. бюл. ВНИИЗиЗПЭ. – Курск, 1990. – Вып. 3(66). – С. 47-50.

229. Крупчатников А. И., Ананьев В. С. Мелиоративная и почвозащитная роль севооборотов на склоновых землях // Науч.-техн. бюл. ВНИИЗиЗПЭ. – Курск, 1990. – Вып. 1(64). – С. 16-22.

230. Крупчатников А. И., Мащенко С. С., Ананьев В. С. Влияние экспозиции склонов на эрозию почвы и урожайность // Почвоведение. – 1989. – № 3. – С. 103-112.

231. Крупчатников А. И., Мащенко С. С., Ананьев В. С. Почвозащитная эффективность сочетаний основных элементов системы земледелия // Экологические проблемы сохранения и воспроизводства почвенного плодородия. – Курск, 1989. – С. 151-161.

232. Кузник И. А. Агроресомелиоративные мероприятия, весенний сток и эрозия. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 220 с.

233. Кузник И. А., Безменов А. И. Просачивание талых вод в мерзлую почву // Почвоведение. – 1963. – № 7. – С. 59-66.

234. Кузник И. А., Лысов А. В. Опыт изучения стока и эрозии на Приволжской возвышенности // Изв. АН СССР, сер. геогр. – 1974. – № 6. – С. 84-91.

235. Кулик Н. Ф., Чумаков П. Г. Выбор оптимальных направлений размещения лесных полос на песчаных землях // Защитное лесоразведение на Северном Кавказе. – Новочеркасск, 1987. – С. 3-10.

236. Куницкий Е. И. Мелиоративная роль садозащитных лесных полос // Вестн. с.-х. науки. – 1983. – № 6. – С. 131-138.

237. Куницкий Е. И. Мелиоративная и противоэрозионная роль садозащитных лесных полос на склонах в правобережье Нижней Волги: Автореф. дис. ... к.с.-х.н. – Волгоград, 1989. – 23 с.

238. Леонтьева Е. А. Суховеи восточной части СССР // Геофизика и метеорология. – 1927. – Т. 4, вып. 3 и 4.

239. Лепилин Г. Н., Бондаренко Ю. В. Влияние агролесомелиоративных насаждений на гидрологический режим и биопродуктивность агроценозов овражно-балочных земель // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1983. – Вып. 2(79). – С. 135-144.

240. Лесомелиорация при контурном земледелии // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1988. – Вып. 1(93). – 206 с.

241. Лисецкий Ф. Н. Оценка скорости воспроизводства почвенного ресурса // Докл. ВАСХНИЛ. – 1986. – № 6. – С. 16-18.

242. Лисецкий Ф. Н. Закономерности формирования гумусового горизонта зональных почв Русской равнины // Агрохимия и почвоведение. – Киев, 1990. – Вып. 53. – С. 3-7.

243. Лисецкий Ф. М. Просторова-часова організація і ґрунтозахисне впорядкування агроландшафтів: Автореф. дис. ... д.г.н. – Одеса, 1994. – 35 с.

244. Лисецкий Ф. Н., Белов В. В. Принципы рационального использования почвенного ресурса в районах активного проявления эрозионных процессов // Мелиорация и охрана почв. – Харьков, 1990. – С. 185-188.

245. Литовченко А. Ф. Экспериментальное изучение элементов водного баланса горных водосборов. – Киев: Вища школа, 1986. – 187 с.

246. Ломакин М. М. Мульчирующая обработка почвы на склонах. – М.: ВО Агропромиздат, 1988. – 184 с.

247. Лопырев М. И., Калюгин П. Б. Взаимоувязанное проектирование контурных лесных полос и контурной обработки на склонах // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1988. – Вып. 1(93). – С. 5-18.

248. Лысов А. В. Сток и эрозия на волжских склонах Приволжской возвышенности и воздействие на них комплекса противоэрозионных мероприятий: Автореф. дис. ... к.с.-х.н. – Саратов, 1968. – 18 с.

249. Лысов А.В., Проездов П. Н. Формирование стока и смыва на южных черноземах Приволжской возвышенности // Науч.-техн. бюл. ВНИИЗиЗПЭ. – Курск, 1983. – Вып. 1(36) – 83. – С. 74-80.

250. Лысов А. В., Проездов П. Н. К вопросу проектирования противоэрозионных мероприятий и водохозяйственных объектов на черноземах Среднего Поволжья // Науч.-техн. бюл. ВНИИЗиЗПЭ. – Курск, 1983. – Вып. 4(39) – 83. – С. 15-24.

251. Львович М. И. Принципы размещения защитных лесных полос на полях колхозов и совхозов // Лес и степь. – 1949. – № 7. – С. 10-24.

252. Львович М. И. Вопросы методики проектирования полезащитных лесонасаждений // Вопросы гидрометеорологической эффективности полезащитного лесоразведения. – Л., 1950. – С. 57-68.

253. Львович М. И. Гидрометеорологическое действие лесных полос и принципы их размещения на полях колхозов и совхозов // Тр. ГГИ. – Л., 1950. – Вып. 23(77). – С. 3-57.

254. Львович М. И. Человек и воды. Преобразование водного баланса и речного стока. – М.: Географгиз, 1963. – 568 с.

255. Львович М. И. Мировые водные ресурсы и их будущее. – М.: Мысль, 1974. – 448 с.

256. Львович М. И. Вода и жизнь. – М.: Мысль, 1986. – 256 с.

257. Львович М.И., Братцева Н. Л., Карасик Г. Я., Медведева Г. П., Мелешко А. В. Карта современной эрозии суши земного шара // Изв. АН СССР, сер. геогр. – 1989. – № 3. – С. 17-30.

258. Макарычев Н. Т. Научные основы лесомелиоративных мероприятий по борьбе со снежными заносами // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1983. – Вып. 2(79). – С. 154-160.

259. Маккавеев Н. И. Работа водных потоков как агент денудации // Эрозионные процессы. – М., 1984. – С. 5-9.

260. Манченко В. И. Водная эрозия почвы в юго-западных районах Ростовской области и меры борьбы с нею: Автореф. дис. ... к.с.-х.н. – Персиановка, 1974. – 19 с.

261. Маслов Б. С. Промерзание и оттаивание торфяной почвы в условиях Мещерской низменности // Почвоведение. – 1960. – № 11. – С. 93-99.

262. Массон В. М. Древние земледельцы / История СССР с древнейших времен до наших дней. – М.: Наука, 1966. – Т. 1.

263. Медведев И. В. Противоэрозионная роль полосного размещения сельскохозяйственных культур на склонах // Науч.-техн. бюл. ВНИИЗПЭ. – Курск, 1980. – Вып. 1(24) – 80. – С. 21-26.

264. Методика изучения способов сочетания лесомелиорации с другими элементами систем земледелия при контурной организации территории / А. Т. Барабанов, Е. А. Гаршинев. – Волгоград: изд. ВНИАЛМИ, 1987. – 46 с.

265. Методика полевого моделирования эрозии, расчета смыва и расстояний между лесополосами / Е. А. Гаршинев, А. Т. Барабанов, И. Г. Зыков и др. – М., 1991. – 42 с.

266. Методические рекомендации по проектированию комплекса противоэрозионных мероприятий для проектов внутрихозяйственного землеустройства колхозов и совхозов, входящих в зону крупномасштабного эксперимента / Д. Е. Ванин, Г. П. Сурмач, А. Г. Рожков, ...Е. А. Гаршинев и др. – Курск: изд. ВНИИЗПЭ, 1978. – 179 с.

267. Планирование и проведение многофакторных опытов по разработке систем земледелия: Методические рек. / В. Д. Панников, Н. П. Панов, М. В. Верещак, Д. Е. Ванин, В. П. Горьков, М. К. Пружин, Е. А. Гаршинев и др. – М.: изд-во ВАСХНИЛ, 1983. – 72 с.

268. Методические рекомендации по составлению проектов внутрихозяйственного землеустройства с комплексом противоэрозионных мероприятий на расчетной основе / Д. Е. Ванин, Г. П. Сурмач, И. П. Здоровцов, ...Е. А. Гаршинев и др. – М.: ЦНТИ ПиР. – 69 с.

269. Методические рекомендации по полосному размещению посевов и залужению ложбин / Г. И. Толстых, М. И. Головкин, М. С. Баранов. – Луганск, 1990. – 50 с.

270. Методические рекомендации по учету поверхностного стока и смыва почв при изучении водной эрозии / И. В. Боголюбова, Н. Н. Бобровицкая, В. Н. Дьяков, Г. Н. Лысак, А. Г. Рожков. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 88 с.

271. Методические указания по определению потенциального стока с элементарных водосборов и проектированию почвоводоохранных мероприятий при контурно-мелиоративном земледелии / В. А. Белолипский, Н. М. Шелякин и др. – Луганск, 1990. – 35 с.

272. Методы исследования водного баланса территории и его элементов // Под ред. А. М. Грина. – М., 1973. – 220 с.

273. Михович А. И. Баланс влаги в дубравах правого берега Северского Донца // Лесоводство и агролесомелиорация. – 1970. – Вып. 20. – С. 103-112.

274. Михович А. И. Водоохранные лесонасаждения. – Харьков: Прапор, 1981. – 63 с.

275. Моисеев Н. Н. Человек и ноосфера. – М.: Молодая гвардия, 1990. – 351 с.

276. Молчанов А. А. Гидрологическая роль леса. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – 486 с.

277. Молчанов А. А. Гидрологическая роль леса. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 488 с.

278. Молчанов А. А. Гидрологическая роль полевых защитных лесных полос и методика ее изучения. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 188 с.

279. Молчанов А. А. Суммарное испарение и транспирация в лесу и на безлесных площадях // Вопр. географии. – М., 1963. – Сб. 60. – С. 55-76.

280. Молчанов А. А. Лес и окружающая среда. – М.: Наука, 1968. – 247 с.

281. Музыченко Г. Б. Эффективность лесных полос, совмещенных с гидросооружениями, при контурной организации территории // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1984. – Вып. 2(43). – С. 39-40.

282. Мустафаев Х. М. Влияние лесной полосы на сток талых и ливневых вод // Лесное хоз-во. – 1956. – № 9. – С. 81-82.

283. Мустафаев Х. М. Эрозия почв и борьба с ней в Азербайджанской ССР // Науч. тр. ВАСХНИЛ. – М.: Колос, 1975. – С. 23-26.

284. Мясоедов С. С., Здоровцов И. П. Противоэрозионные лесные насаждения в системе почвозащитного земледелия с контурной организацией территории // Науч.-техн. бюл. ВНИИЗи ЗПЭ. – Курск, 1988. – Вып. 2(57) – 88. – С. 42-52.

285. Назаров Г. В. Влияние подстилающей поверхности на склоновый сток в степной зоне // Вопросы антропогенных изменений водных ресурсов. – М.: Изд-во ИГ АН СССР, 1976. – С. 25-46.

286. Никитин А. П. Меры защиты водохранилищ лесостепной зоны от заиления и загрязнения (на примере Куйбышевского водохранилища): Автореф. дис. ... к.с.-х.н. – Волгоград, 1979. – 26 с.

287. Никитин А. П., Спирина А. Г. Роль лесных насаждений в защите водоемов от заиления и загрязнения // Водные ресурсы. – 1985. – № 1. – С. 109-114.

288. Никитин П. Д. Агролесомелиорация // БСЭ. – М., 1949. – С. 361-362.

289. Николаенко В. Т. О защите питьевых водохранилищ лесными насаждениями // Защита водохранилищ и борьба с эрозией почв. – Волгоград, 1964. – Вып. 64. – С. 121-128.

290. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного / Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 344 с.

291. Новиков Н. Е. Оценка водопоглотительной способности узких лесных полос способом напуска // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1989. – Вып. 1(96). – С. 88-98.

292. Новиков Н. Е. Эффективность гидротехнических сооружений в лесной полосе и на лугу // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1991. – Вып. 3(104). – С. 41-50.

293. Новиков Н. Е., Павловский Е. С., Борец В. П. Защитные насаждения Новосильской ЗАГЛОС (1923-1957 гг.). – Волгоград: изд. ВНИАЛМИ, 1995. – 108 с.

294. Окладников А. П. Палеолит // История России с древнейших времен до наших дней. – М.: Наука, 1966. – Т. 1.

295. Олейник Д. Д., Комаров М. И. Противоэрозионное уплотнение зяби // Науч. тр. ВАСХНИЛ. – М., 1975. – С. 182-183.

296. Онуфриенко Л. Г. Весенний сток с малых водосборов в условиях овражно-балочного рельефа // Вопросы земледелия и борьбы с эрозией почв в степных и лесостепных районах СССР. – Саратов, 1959. – Т. 2. – С. 425-433.

297. О плане полезащитных лесонасаждений, внедрения травопольных севооборотов, строительства прудов и водоемов для обеспечения высоких и устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах европейской части СССР: Постановление Совета Министров СССР и ЦК ВКП (б). – М.: ОГИЗ – Госполитиздат, 1948. – 48 с.

298. Павловский Е. С. Таксационное описание лесных насаждений Каменной степи (1962 г.). – Воронеж: Коммуна, 1963. – 324 с.

299. Павловский Е. С. Концепция современной агролесомелиорации. – Волгоград, 1992. – 39 с.

300. Панов В. И. О повышении противоэрозионной роли защитных лесных полос // Сб. науч. работ Поволжской АГЛОС. – Куйбышев, 1965. – Вып. 6. – С. 194-201.

301. Панов В. И. Основные факторы водопоглощения и методы активного воздействия на них с целью повышения водорегулирующей и противоэрозионной эффективности лесных полос // Сб. науч. тр. Поволжской АГЛОС. – Куйбышев, 1972. – Вып. 7. – С. 160-171.

302. Панов В. И. Водный баланс и эрозия на черноземах степного Заволжья: Автореф. дис. ... к.г.н. – М., 1975. – 31 с.

303. Панов В. И. Воднобалансовые исследования на опытных водосборах с различными ландшафтами в степной зоне Поволжья // Сб. науч. тр. Поволжской АГЛОС. – Куйбышев, 1978. – Вып. 9. – С. 38-58.

304. Панов В. И. Связь между склоновым и речным стоком // Сб. науч. тр. Поволжской АГЛОС. – Куйбышев, 1986. – С. 3-21.

305. Панов В. И., Сурмач Г. П. Повышение водорегулирующей роли лесных полос при помощи гидротехники // Сб. науч. тр. Поволжской АГЛОС. – Куйбышев, 1975. – Вып. 8. – С. 68-84.

306. Панфилов Я. Д. К вопросу о влиянии защитных лесных полос на скорость и направление ветра // Полезащитные полосы. – М., 1936. – Вып. 6. – С. 94-116.

307. Парниковый эффект, изменение климата и экосистемы / Пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 558 с.

308. Парсон Р. Природа предъявляет счет (Охрана природных ресурсов в США). – М.: Прогресс, 1969. – 567 с.

309. Патент 1799234 СССР. Способ защиты почв от эрозии на склонах / А. Т. Барабанов, Е. А. Гаршинев // Открытия. Изобретения. – 1993. – № 8. – С. 4.

310. Пенман Х. Л. Растения и влага / Пер с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 162 с.

311. Перегудов Ф. И., Тарасенко Ф. П. Введение в системный анализ. – М.: Высшая школа, 1989. – 367 с.

312. Петелько А. И. Разработка противоэрозионных мероприятий в садах на смытых серых лесных почвах // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1978. – Вып. 2(27). – С. 65-67.

313. Петелько А. И. Противоэрозионная эффективность буферных посевов трав и простейших гидротехнических сооружений в садах на склонах // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1980. – Вып. 3(34). – С. 12-13.

314. Петров В. И. Водный баланс сосновых лесов в горах Северо-Западного Кавказа // Природа заповедников и ее изменения под влиянием естественных и антропогенных факторов. – М., 1982. – С. 112-115.

315. Петров В. И. Вопросы теории и практики экологического мониторинга в агролесомелиорации // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1983. – Вып. 2(79). – С. 49-63.

316. Плащев А.В. Влияние Велико-Анадольского леса на жидкий и твердый сток // Респ. тематич. науч. сб. – Киев, 1967. – Вып. 13. – С. 35-43.

317. Плейстоцен / К. К. Марков, А. А. Величко, Г. И. Лазуков, В. А. Николаев. – М.: Высшая школа, 1968. – 304 с.

318. Плой Дж., Гэбриэлс Д. Определение потерь почвы и экспериментальные исследования // Эрозия почвы / Пер. с англ. – М., 1984. – С. 98-154.

319. Подгорный В. К. Почвоохранная роль валов-террас на склоновых землях центра Русской равнины: Автореф. дис. ... д.с.-х.н. – Харьков, 1988. – 32 с.

320. Подгорный В. К., Еремина Р. Ф. К вопросу о восстановлении плодородия выемочных частей валов-террас после их строительства // Тез. докл. V делегат. съезда Всесоюзн. об-ва почвоведов. – Минск, 1977. – Вып. 7. – С. 63-64.

321. Полуэктов Е. В. Эрозия почв на Дону и меры борьбы с ней. – Ростов-на-Дону, 1984. – 161 с.

322. Полуэктов Е. В. Регулирование водного режима эродированных почв противоэрозионными приемами // Почвоведение. – 1993. – № 3. – С. 80-85.

323. Полуэктов Е. В., Музыкаченко Г. Б., Скрипанев С. Ф. Роль лесных насаждений в защите от эрозии черноземов в Ростовской области // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. — Волгоград, 1988. – Вып. 1(93). – С. 133-141.

324. Полуэктов Е. В., Скрипанев С. Ф. Повышение противоэрозионной эффективности прибалочных лесных полос // Лесн. хоз-во. – 1981. – № 6. – С. 26-28.

325. Поляков Б. В. Гидрологический анализ и расчеты. – Л.: Гидрометеиздат, 1946. – 480 с.

326. Порядин В. А. Эффективность щелевания черноземов на склонах лесостепной зоны в целях повышения противоэрозионной устойчивости и продуктивности: Автореф. дис. ... к.с.-х.н. – Воронеж, 1985. – 22 с.

327. Прогноз смыва почв при поливе по бороздам // Прогнозирование и предупреждение эрозии почв при орошении / В. Я. Григорьев, С. Ф. Краснов, М. С. Кузнецов и др. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – С. 113-123.

328. Программа и методика проведения научно-производственного эксперимента по изучению комплексов противоэрозионных мероприятий на бассейнах малых рек в Курской области / Д. Е. Ванин, А. Г. Рожков, А. В. Посохов, ... Е. А. Гаршинев и др. – Курск, 1980. – 56 с.

329. Потапенко Я. И. Система мелиоративного земледелия с горизонтально-полосной противоэрозионной организацией территории // Преградим путь эрозии. – Ростов, 1970. – С. 143-157.

330. Потапенко Я. И., Толоков Н. Р., Манченко В. И., Музыченко Б. А. Защита почв от эрозии. – М.: Колос, 1975. – 128 с.

331. Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант / Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1994. – 272 с.

332. Проблемы и резервы контурного земледелия. – М.: Колос, 1982. – 135 с.

333. Прогнозирование и предупреждение эрозии почв при орошении / В. Я. Григорьев, С. Ф. Краснов, М. С. Кузнецов, Г. А. Ларионов, Л. Ф. Литвин. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 208 с.

334. Проездов П. Н. Воздействие мелиоративных мероприятий на элементы водного баланса и эрозию почв в черноземной степи Приволжской возвышенности: Автореф. дис. ... к.с.-х.н. – Саратов, 1983. – 20 с.

335. Пружин М. К. Влияние длины и крутизны склонов на смыв почвы при снеготаянии в ЦЧО // Почвоведение. – 1983. – № 7. – С. 126-131.

336. Пынзарю Н. М. К обоснованию параметров противоэрозионных лесных полос в районе правобережья Нижней Волги // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1980. – Вып. 3(34). – С. 17-19.

337. Раков А. Ю. Эффективность контурного размещения лесных полос при защите почв от ветровой и водной эрозии // Докл. ВАСХНИЛ. – 1986. – № 4. – С. 41-42.

338. Рекомендации по созданию комплекса агролесомелиоративных противоэрозионных мероприятий / Г. П. Сурмач, Е. А. Гаршинев, А. П. Кузнецов и др. – Волгоград, 1973. – 114 с.

339. Рекомендации по лесной мелиорации при контурной организации территории в районах активного проявления водной эрозии / И. Г. Зыков, А. Т. Барабанов, Е. А. Гаршинев и др. – Волгоград, 1989. – 34 с.

340. Рожков А. Г. Борьба с оврагами. – М.: Колос, 1981. – 199 с.

341. Рожков А. Г., Подгорный В. К. Противоэрозионная и агрономическая эффективность валов-террас на пашне // Вестн. с.-х. науки. – 1981. – № 7. – С. 26-31.

342. Рудометов А. В. Влияние агролесомелиоративных мероприятий на сток с малых водосборов в Каменной степи: Инф. письмо № 11. УГМС ЦЧО. – Курск, 1960.

343. Рудометов А. В. Влияние агролесомелиоративных мероприятий на сток талых вод по склону в Каменной степи // Сб. работ Курской ГМО. – М.: Гидрометеиздат, 1960. – Вып. 1.

344. Самохвалов Н. Ф. Климатические условия суховеев // Вестн. АН КазССР. – 1950. – № 7(64). – С. 84-94.

345. Самохвалов Н. Ф. Суховеи Казахстана // Тр. Каз. НИГМИ. – 1953. – Вып. 1. – С. 83-108.

346. Сапожникова С. А. О климате оазисов в условиях Средней Азии // Метеорология и гидрология. – 1952. – № 3.

347. Сешагири Н. Против использования природы в военных целях / Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1983. – 236 с.

348. Скоморохов А. И. О двух тенденциях в развитии овражно-балочного рельефа и возможностях противоэрозионной защиты почв // Геоморфология. – 1984. – № 1. – С. 103-111.

349. Смалько Я. А. Ветрозащитные особенности лесных полос разных конструкций. – Киев: Госсельхозиздат УССР, 1963. – 192 с.

350. Соболев С. С. Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1948. – Т. 1. – 305 с.

351. Соболев С. С. Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – Т. 2. – 248 с.

352. Соболев С. С. Защита почв от эрозии и повышение их плодородия. – М.: Сельхозиздат, 1961. – 232 с.

353. Созыкин Н. Ф. Основные результаты лесогидрологических исследований Истринского опорного пункта ВНИИЛМ // Материалы совещ. ... – Валдай, 1965.

354. Справочник по климату СССР. Ч. III. Ветер. – Л.: Гидрометеиздат, 1966, 1967, 1968. – Вып. 1-13, 17-20, 28-30.

355. Станкевич Е. Ф. К вопросу о величине стока наносов в разных ландшафтных зонах // Изв. АН СССР, сер. геогр. – 1986. – № 4. – С. 119-121.

356. Страхов Н. М. О некоторых закономерностях денудации и переноса осадочного материала на площадях гумидных климатов // Современные осадки морей и океанов. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – С. 5-27.

357. Субботин А. И. Сток талых и дождевых вод. – М.: Гидрометеиздат, 1966. – 376 с.

358. Субрегиональная программа действий по борьбе с опустыниванием (НПДБО) для юго-востока европейской части Российской Федерации // А. А. Аверьянов, А. Т. Барабанов, ... Е. А. Гаршинев и др. – Волгоград: ВНИАЛМИ / ЦМП, 1999. – 314 с.

359. Сурмач Г. П. Пути борьбы с эрозией почв в СССР // Итоги работы института, опытных станций и пунктов. – Волгоград, 1961. – Вып. 35, т. I. – С. 45-66.

360. Сурмач Г. П. Повышение противоэрозионного влияния лесных полос на пахотных склонах // Тр. ВАСХНИЛ. – М., 1967. – С. 102-107.

361. Сурмач Г. П. Рельефообразование и современные процессы почвенной эрозии в степном Поволжье // Тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1970. – Вып. 1(61). – С. 18-138.

362. Сурмач Г. П. Водорегулирующая и противоэрозионная роль насаждений. – М.: Лесная пром-сть, 1971. – 111 с.

363. Сурмач Г. П. Водная эрозия и борьба с ней. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 254 с.

364. Сурмач Г. П. Теоретические основы контурного размещения лесных полос на территории // Проблемы и резервы контурного земледелия. – М.: Колос, 1982. – С. 36-47.

365. Сурмач Г. П. Рельефообразование, формирование лесостепи, современная эрозия и противоэрозионные мероприятия. – Волгоград, 1992. – 175 с.

366. Сурмач Г. П., Барабанов А. Т., Гаршинев Е. А., Ломакин М. М. К оценке методов изучения увлажнительной роли противоэрозионных приемов // Науч.-техн. бюл. ВНИИЗПЭ. – Курск, 1976. – Вып. 6. – С. 11-16.

367. Сурмач Г. П., Барабанов А. Т., Гаршинев Е. А. Эффективность искусственного микрорельефа на зяби в Поволжье и Центральном районе европейской части РСФСР // Сб. науч. тр. ВНИИЗХ. – Целиноград, 1982. – С. 122-129.

368. Сурмач Г. П., Величкин В. Е. О водорегулирующей роли лесных полос на темно-каштановых почвах правобережья Среднего Дона // Почвоведение. – 1976. – №5. – С. 115-120.

369. Сурмач Г. П., Гаршинев Е. А., Барабанов А. Т. О стокорегулирующей эффективности микрорельефа зяби на черноземах Курской области // Науч.-техн. бюл. ВНИИЗПЭ. – Курск, 1977. – Вып. 1(12). – С. 32-38.

370. Сурмач Г. П., Гаршинев Е. А., Барабанов А. Т. Расчет водопоглощения в лесной полосе при поступлении талого стока разной обеспеченности в условиях ЦЧЗ // Науч.-техн. бюл. ВНИИЗПЭ. – Курск, 1979. – Вып. 4(23). – С. 50-58.

371. Сурмач Г. П., Гаршинев Е. А., Панов В. И., Котов А. В. Гидрологическая и противоэрозионная роль лесных насаждений // Науч. тр. ВАСХНИЛ. – М., 1975. – С. 220-299.

372. Сурмач Г. П., Ломакин М. М., Шестакова Л. П. Прогнозирование стока талых вод // Земледелие. – 1989. – № 4. – С. 29-31.

373. Сухарев И. П. Гидрологическая и противоэрозионная роль лесных полос. – Воронеж, 1966. – 120 с.

374. Сухарев И. П. Регулирование и использование местного стока. – М.: Колос, 1967. – 192 с.

375. Сухарев И. П. Регулирование и использование местного стока. – М.: Колос, 1976. – 272 с.

376. Сухарев И. П., Пашнев Г. С. Пруды Центрально-Черноземной полосы. – Воронеж, 1968. – 150 с.

377. Тарасов В. И. Водорегулирующая роль лесных насаждений на склоновых землях Донбасса // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1984. – Вып. 2(43). – С. 41-43.

378. Тейяр П. де Шарден. Феномен человека. – М.: Наука, 1987. – 240 с.

379. Технологии почвозащитных систем земледелия с контурно-мелиоративной организацией территории и методы их эколого-экономической оценки / И. П. Здоровцов, С. С. Мясоедов, В. М. Володин и др. – Курск, 1991. – 204 с.

380. Тимофеев Д. А., Чернышев Е. П. Изменения структуры стока и эрозии в пределах водосбора // Геоморфология. – 1994. – № 1. – С. 3-16.

381. Ткаченко В. Г. Контурно-мелиоративное земледелие в условиях Алтайского края // Проблемы и резервы контурного земледелия. – М.: Колос. – 1982. – С. 24-31.

382. Тлеуов С. С. Противоэрозионная эффективность основной обработки черноземов Северного Казахстана: Автореф. дис. ... к.с.-х.н. – Алма-Ата, 1988. – 23 с.

383. Троицкий В. А., Жернова М. Н. Влияние леса на поверхностный сток // Тр. ВНИИЛХ. – М., 1938. – Вып. 8.

384. Трофимов Г. Н. Потери дождя при поверхностном стокообразовании в Чаткало-Кураминских горах: Автореф. дис. ... к.г.н. – Ташкент, 1972. – 22 с.

385. Тубольцев Е. Я. Противоэрозионная эффективность агрономических приемов и лесных насаждений юга Нечерноземной зоны: Автореф. дис. ... к.с.-х.н. – Волгоград, 1989. – 24 с.

386. Тубольцев Е. Я. Влияние системы лесных насаждений и гидротехнических устройств на гидрологический режим водосборов // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1991. – Вып. 3(104). – С. 63-75.

387. Уатт К. Е. Ф. Экология и управление природными ресурсами. Количественный подход / Пер. с англ. – М.: Мир, 1971. – 464 с.

388. Уваров В. М. Стокорегулирующая и противоэрозионная роль контурных лесных полос в лесостепи Западной Сибири // Сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1988. – Вып. 1(93). – С. 142-147.

389. Урываев В. А. Экспериментальные гидрологические исследования на Валдае. – Л.: Гидрометеиздат, 1953. – 232 с.

390. Хайруллин Ш. Ш. Выровненная зябь в засушливых районах Оренбуржья. – Оренбург, 1959. – 72 с.

391. Харитонов Г. А. Лес как фактор защиты почвы от эрозии и приемы противоэрозионной лесомелиорации // Борьба с эрозией почв в СССР. – М.– Л., 1938. – С. 181-215.

392. Харитонов Г. А. Агролесомелиорация Средне-Русской возвышенности. – Воронеж, 1958. – 251 с.

393. Харитонов Г. А. Водорегулирующая и противоэрозионная роль леса в условиях лесостепи. – М.: Гослесбумиздат, 1963. – 255 с.

394. Холуп'як К. Л. Підвищення ефективності протиерозійних лісових насаджень. – Київ, 1961. – 154 с.

395. Холуп'як К. Л. Устройство противоэрозионных лесных насаждений. – М.: Лесн. пром-сть, 1973. – 152 с.

396. Цубербиллер Е. А. Агроклиматическая характеристика суховеев на территории орошения Куйбышевского гидроузла // Тр. ЦИП. – Л., 1953. – Вып. 29(56). – С. 60-69.

397. Цубербиллер Е. А. Агроклиматическая характеристика суховеев. – Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 91 с.

398. Цыганков А. В., Никитин С. И., Алешин В. М. О некоторых взглядах на развитие эрозии // Уч. зап. Волгоградского пединститута. – Волгоград, 1964. – Вып. 18. – С. 141-148.

399. Чернышев Е. П. Смыв почвы и мутность воды в условиях Клинско-Дмитровской гряды // Изв. АН СССР, сер. геогр. – 1964. – № 3.

400. Чернышев Е. П. Твердый сток в основных естественных экосистемах и сельскохозяйственных угодьях // Водный баланс основных экосистем Центральной лесостепи. Материалы экспериментальных исследований. – М., 1974. – С. 213-276.

401. Чернышев Е. П. Тенденция изменения эрозии на территории южной части Русской равнины // Вопросы антропогенных изменений водных ресурсов. – М., 1976. – С. 47-63.

402. Чернышев Е. П., Иванова Н. Б., Коронкевич Н. И. Резервы дополнительного увлажнения и сохранения почвенной влаги на пашне центра и юга Русской равнины // Почвоведение. – 1990. – № 1. – С. 87-94.

403. Шабаев А. И. Почвозащитное земледелие. – Саратов, 1985. – 94 с.

404. Шабаев А. И. Пути совершенствования почвозащитного земледелия на эрозионноопасных землях Поволжья // Сб. науч. тр. НИИСХ ЮВ. – Саратов, 1985. – С. 3-19.

405. Шабаев А.И. Эрозия почв и совершенствование научных основ почвозащитного земледелия в Поволжье: Автореф. дис. ... д.с.-х.н. – Кичинев, 1988. – 46 с.

406. Шабает А. И., Тюков А. П. Влияние противозерозийного комплекса на сток талых вод и эрозию почв // Проблемы и резервы контурного земледелия. – М.: Колос, 1982. – С. 100-103.

407. Шакиров Ф. Х. Водопоглотительный и стернемульчирующий агромелиоративные комплексы в нечерноземной зоне Поволжья // Науч. тр. ВАСХНИЛ. – М., 1975. – С. 13-18.

408. Шевченко М. А. Влияние агролесомелиоративных мероприятий на сток талых вод с малых водосборов // Сб. работ Курской ГМО. – М., 1963. – Вып. 2. – С. 79-88.

409. Шелякин Н. М., Белолипский В. А., Головченко И. Н. Контурно-мелиоративное земледелие на склонах. – Киев: Урожай, 1990. – 168 с.

410. Шикломанов И. А. Антропогенные изменения водности рек. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 302 с.

411. Шмюгге Т. Дистанционные методы определения влажности почв // Гидрогеологическое прогнозирование / Пер. с англ. – М., 1988. – С. 133-160.

412. Шпак И. С. Влияние леса на водный баланс водосборов. – Киев: Наукова думка, 1968. – 284 с.

413. Шпак И. С. Зависимость коэффициента стока от влажности и глубины промерзания почвы // Почвоведение. – 1969. – № 12. – С. 57-61.

414. Янковский П. В. Увлажнительные работы как мероприятие в борьбе с оврагами // Мелиоративный журнал. – 1909.

415. Bates C. G., Henry A. J. Forest and streamflow at Wagon Wheel Gap, Colorado. – Final report. – Monthly Weather Rev. Suppl. – 1928. – № 30.

416. Burger H. Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer // Mitteilungen der Schweiz. Anstalt für das forst. versuch. – Zürich, 1954. – Bd. 31. – S. 9-58.

417. Ellison L., Coaldrake J. Soil mantle movement in relation to forest clearing in southern Queensland // Ecology. – 1954. – № 35. – P. 380-388.

418. Engler A. Untersuchungen über den Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer // Mitteilungen der Schweiz. Anstalt für das forst. versuch. – Zürich, 1919. – Bd. 12. – S. 626.

419. Fournier F. Climat et erosion. – Paris, 1960. – 201 p.

420. Milliman J. D., Meade R. H. World-wide delivery of river sediment to the oceans // J. Geol. – 1983. – V. 91. – P. 1-21.

421. Musgrave G. W. Estimating land erosion-sheet erosion // C. R. Ass. Int. Hydrologie Sc.-Rome, 1954. – № 1. – P. 207-215.

422. Penman H. L. The movement and availability of soil water. – Soils and Fert. – 1956. – V. 19.

423. Skidmore E. L., Hagen L. J. Reducing Wind Erosion with Barrier // Transactions of the ASAE. Joseph Mich. – 1977. – Vol. 20. – № 5. – P. 911-915.

Приложение 1

Таксационно-лесоводственная характеристика лесных насаждений и почвенно-геоморфологические условия на гидрологических стационарах с лесными насаждениями и сельхозугодьями

Почвы/ крутизна, град; экспозиция склона	Вид (происхождение)/ ширина, м	Годы: посадки/ описания	Состав/сомкнутость (толщина подстилки, см)	Размещение, м/число рядов	H_{cp}/D_{cp} , м/см
1	2	3	4	5	6
1. Нечерноземная зона					
<i>1.1. Московская обл., Волоколамский р-н, у с. Жуковка – правый берег р. Рузы [289]</i>					
Дп/3	П(и)/30-82	1940 1959	10Олх + Б/0,8	-	9/7
<i>1.2. Татарстан, Верхнеуслонский р-н – правый берег Куйбышевского водохранилища [286]</i>					
Дк, Лс/ 4,9; В	П(и)/60	1965/1974	10Б/0,7(0,3)	1×1,5	-
Лс/4,3; В	П(и)/70	1965/1974	10С/0,8(1,2)	0,75×1,4	-
Лс, Дк/ 6,5; В	П(е)/80	1944/1974	7Лп3К+Д,ед.В/0,8(2, 5)	-	-
Дк, Лс/ 3,2; В	П(и)/110	1965/1974	10Лс/0,8(0,7)	0,85×1,5	-
Лс, Дк/ 5,4; В	П(и)/145	1965/1974	10Б/0,7(0,3)	1×1,5	-
Дк/5,3; В	П(е)/450	1944/1974	5К4Лп1Д+В/0,5(2,0)	-	-
<i>1.3. Орловская область</i>					
<i>1.3.1. ОПХ Новосильской ЗАГЛОС</i>					
<i>1.3.1.1. Стационар между устьями лоцины Б. Зеренки и Генералова верха [291]</i>					
Лс/2-3; ЗСЗ	П(и)/4-10	1960/1972	5Б5Т/0,7(0)	1×2,5/4	12(Б);8 (Т)/13 (Б); 8(Т)
<i>1.3.1.2. Склон, примыкающий справа к суходолу "Слобода" [49, 386]</i>					
Лс/2-3; СЗ	С(и)/6	1949/1980	10Лс/-	0,5×2/4	13/13

Продолжение прилож. 1

1	2	3	4	5	6
Лс/6-8; СЗ	С(и)/24	1932/1980	10Б/0,7	0,5×1,5/ 18	16/14
<i>1.3.1.3. Урочище Колодезное [82, 293]</i>					
Лс/ 2-3; ССЗ	П(и)/12,5-60	1932/1965	10Б/0,6(0,5)	1,5×2	12/14
Лс/2-3; ССЗ	П(и)/12,5-60	1932/1980	10Б/0,6(0,5)	1,5×2	20/30
Лс/2-3; ССЗ	П(и)/60	1932/1965	5Е5Св/1,0(3)	1,5×2	12(Е,С)/ 13(С); 10(Е)
Лс/2-3; ССЗ	П(и)/60	1932/1980	5Е5Св/1,0(3)	1,5×2	18(Е,С)/ 18(С); 14(Е)
<i>1.3.1.4. Присетевой склон, падающий слева к Одинокскому суходолу в приустьевой части [362]</i>					
Лс/ 6; ЗСЗ	П(и)/35	1930/1960	10Б, куст./0,6	-	12/15
<i>1.3.1.5. Водосбор со снегораспределительными лесополосами [82]</i>					
Лс/ -3; ВСВ	С(и)/1	1926/1969	10Д	0,3×0,3/ 3	10-12/ 10-12
<i>1.3.2. Моховской мехлесхоз, Новодеревеньковский р-н [393]</i>					
Лс/13-16; В	Б(е)/40	1894/1938	10Д(К, Лп)/0,8(1-2)	-	17/17
Лс/13-16; 3	Б(е)/40	1894/1938	10Д(К, Лп)/0,8(1-2)	-	13/12
<i>1.4. Курская область</i>					
<i>1.4.1. К-з им. Дзержинского Курского р-на [136]</i>					
Лтс/3,5-4; СВ	П(и)/10-55	1950/1972	10Д-гнезд./ (0,7)	1×5	12
<i>1.4.2. К-з "Прогресс" Фатежского р-на [138]</i>					
Лтс/2-4; ЮВ	С(и)/20	1971/1974	Б,Лп, куст./ (0,8)	0,7× 1,5	3
<i>1.4.3. К-з "Прогресс" и с-з "Коллективист" Львовского р-на [114]</i>					
Лтс/3; СЗ	С(и)/30	1952/1959	Д,К, куст.	-/12	7-8
Лтс/2; СВ	П(е)/массив	1909/1959	Д,Ко,В,Ос,Я,Ябл	-	15-20
<i>1.5. Украина, Черниговская обл.; Придеснянская стоковая станция [114, 296, 357]</i>					
Лс	Б(е)/20-40	-	Ос., куст	-	-
2. Черноземная зона					
<i>2.1. Самарская обл., Поволжская АГЛОС, лесополоса 34 [305, 362, 371]</i>					
Чоб	С(и)/12	1950/1966	Лс,Яз,Ко, куст.	1×1,5/ 9(ок.0)	7/8

Продолжение прилож. 1

1	2	3	4	5	6
<i>Лесополоса 37</i>					
Чоб	С(и)/17	1950/1965	Д,Б,Ко,Яз	1×1,5/11(0,6)	8/9
<i>Лесополоса 5</i>					
Чоб	С(и)/21	1950/1967	Б,Д,Яз,Ко, куст.	1×1,5/(1)	13/14
<i>Лесополоса 51</i>					
Чоб	П(и)/24	1966/1970	10Б	1×3/(0)	3/2
<i>Лесополоса 49</i>					
Чоб	П(и)/31	1965/1967	-	-(0)	4/5
<i>2.2. Пензенская обл., учхоз Пензенского СХИ [12]</i>					
Чвщ/2,5-3; СЗ	С(и)/12,5	1965/1980	4Б2Д2Лп2Ко	1×2	12/12
<i>2.3. Курская обл., Медвенский р-н, ОППХ ВНИИЗиЗПЭ [100]</i>					
Чвщ/1-2; ССЗ	С(и)/3	1978/1979	10Т/1,0	1,5×3/2	15/15 (1990 г.)
Чвщ, т/3; ЮЮВ	П(и)/9;18	1979/1981	10Т,куст./1,0	1,5×3/3,6(0,5)	10/8
<i>2.3. То же [154]</i>					
Чвщ/6; С	П(и)/15,5	1977/1979	10Т, куст./1,0	1×2,5(3)/6(0,5)	12/10
<i>2.3. То же [140]</i>					
Чт/4-5; СВ	П(и)/10	1950/1976	10Яо/1,0	0,7×1,5/(0,5)	7/8
<i>2.3. То же [123]</i>					
Чвщ, т/3-5; Ю	П(и)/14	1953/1979	10Б,куст./0,8	1×1,5/7(0,5)	14/18
<i>2.4. Воронежская обл., Таловский р-н, ОПХ НИИСХ ЦЧП (Каменная степь), лесополоса 85 [33, 298]</i>					
Чоб/1-3	П(и)/45-50	1904/1938	9Д1Яо/0,8	-	18/24 (1962 г.)
<i>Лесополоса 72 [298, 373]</i>					
Чоб/В	П(и)/2,5-45	1907/1948	6Яо3Д1Б+ ГрЯп/0,9	-	18/25 (1962 г.)
<i>Лесополоса 74 [198, 298, 343]</i>					
Чоб/2-3; В	П(и)/20-60	1908/1951	8Д2Яо/0,8	-	18/23 (1962 г.)
<i>Лесополоса 120</i>					
Чоб/6; В	П(и)/25	1940/1952	5Б4Т1Кяс/0,8	-	9/12 (1962 г.)

1	2	3	4	5	6
<i>2.5. Ростовская обл.</i>					
<i>2.5.1. К-з "Рассвет" Усть-Донецкого р-на [164]</i>					
Чоб/3-4; Ю	П(и)/17	-	-	-/8	10
<i>2.5.2. ОПХ "Рассвет" ДЗНИИСХ [321]</i>					
Чсп/6; 3	С(и)/16	1969/1978	10Аб/0,6	-/4	8
3. Каишановая зона, Волгоградская обл.					
<i>3.1. Клетский оп. пункт ВНИАЛМИ, лесополоса 33 [62]</i>					
КТ/ССВ	С(и)/8	1949/1969	бД4Кяс	-/5	(5-6)/(1-2)
<i>Лесополосы 32 и 3</i>					
КТ/ССВ	С(и)/20	1934/1969	ДЯзКяс,о;куст./ 0,8-0,9	-/13	10/(1-4)
<i>3.2. Камышинский оп. пункт ВНИАЛМИ [371]</i>					
Ко/2; СВ	С(и)/10	1926/1967	-	-	6-7/(1-2)
<i>3.3. С-з "Балыклейский" Дубовского р-на [76]</i>					
Ко/4-6; 3	П(и)/18-22	1963/1970	10Вп	0,7×3 /9	3,5
<i>3.4. ОПХ ВНИАЛМИ, г. Волгоград, лесополоса 13 [45]</i>					
Кс/8-12; С	С(и)/9	1951/1977	10Вп,куст./0,6	0,7×1,5	4/7
- "	С(и)/16,5	- " -	3Д4Вп2Яз1Ябл/0,7	"	4/5
<i>Лесополоса 85 [236]</i>					
Кс/1,5-6; Ю	С(и)/10	1963/1969	10Вп	-/3	4-5
<i>Лесополоса 9 [149, 371]</i>					
Кс/3; В	С(и)/11-12	1949/1961	10Вп,куст./0,9	0,7×1,5/ 8	7-8/10(1,2)
<i>Лесополоса 17 [716]</i>					
Кс/7; Ю	С(и)/30	1951/1961	Вп,Д,куст.	0,7×1,5/ 19	4,3

Примечание. дп – дерново-подзолистые; дк – дерново-карбонатные; лс, лтс – серые, темно-серые лесные; чвиц, т, об, сп – черноземы выщелоченные, типичные, обыкновенные, северо-приазовские; кт, о, с – темно-каштановые, каштановые, светло-каштановые; в знаменателе – крутизна склона, градусы.

П – присетевое, С – стокорегулирующее, Б – балочное насаждение, в скобках и – искусственное, е – естественное происхождение.

Приложение 2

**Распределение величин максимального поглощения талых вод W_m , мм,
в лесных насаждениях в связи с изменением KW_c
(по результатам группового регрессионного анализа)**

Шифр (номер) стационара, номер ЛП (см. приложение 1)	$B_{лп}$, м	Диапазон коэффициента водопоглощения KW_c			
		0-0,33	0,34-0,66	0,67-1,0	0-1,0
1	2	3	4	5	6
<i>1. Нечерноземная зона</i>					
1,1	30	-	-	2020-1	2020-1
1,1	45	-	-	3300-1	3300-1
1,1	82	-	-	4300-1	4300-1
1,2	60	320-4	-	-	320-4
1,2	70	-	400-4	-	400-4
1,2	80	-	610-3	-	610-3
1,2	110	230-4	-	-	230-4
1,2	145	-	300-4	-	300-4
1,2	450	-	410-1	750-2	700-3
1.3.1.1	4	740-5	-	-	740-5
1.3.1.1	10	110-5	150-1	(130-1)	120-7
1.3.1.2	6	130-1	1300-2	2240-6	1400-9
1.3.1.2	24	100-2	300-2	800-5	310-9
1.3.1.3	12,5	120-8	400-1	3210-11	1250-20
1.3.1.3	27	100-6	500-4	3910-10	1600-20
1.3.1.3	44	100-3	210-6	1600-11	540-20
1.3.1.4	35	-	170-2	350-2	320-4
1.3.2	40	-	400-4	(700-4)	2410-8
1.4.1	10	120-1	100-1	4910-3	3110-5
1.4.1	20	100-1	-	3600-4	2430-5
1.4.1	30	-	100-1	800-3	200-4
1.4.1	40	-	80-1	2300-4	1640-5
1.4.2	20	-	-	(400-5)	(400-5)
1.4.3	30	-	400-1	1500-2	500-3
1,5	20	100-3	800-2	6600-5	500-10
1,5	40	0-1	200-1	3010-1	1800-10
<i>2. Черноземная зона</i>					
2.1, ЛП 34	12	420-3	-	1520-5	600-8
2.1, ЛП 37	17	-	630-1	1900-5	1300-6
2.1, ЛП 51	24	-	700-3	-	700-3

1	2	3	4	5	6
2.1, ЛП 49	31	-	-	6730-4	6730-4
2.2	12,5	430-2	-	-	430-2
2.3	3	-	420-1	-	420-1
2.3	9	300-1	3900-3	-	3900-4
2.3	18	100-1	400-14	1400-4	700-19
2.3	15,5	730-1	1820-2	2740-2	1440-5
2.3	10	430-2	-	1100-7	500-9
2.3	14	130-1	-	1540-6	1430-7
2.4, ЛП 85, 72	2,5	100-4	3540-3	5550-2	1300-9
2.4, ЛП 85, 72	10	200-16	1510-7	3210-9	440-32
2.4, ЛП 85, 72	20	110-13	1000-5	6710-14	640-32
2.4, ЛП 85, 72	30	300-9	400-2	4200-20	1110-31
2.4, ЛП 85, 72	45	-	640-2	2000-13	1200-15
2.4, ЛП 74	20	100-2	400-6	1400-11	330-19
2.4, ЛП 74	40	100-1	-	7400-8	3300-9
2.4, ЛП 74	60	30-1	-	2600-7	1800-8
2.4, ЛП 120	25	200-5	300-8	920-5	300-18
2.4, Теллерманов лес:	10	540-1	-	1400-2	1000-3
2.4, черноземы	20	-	-	1600-3	1600-3
2.4, черноземы	40	-	-	2600-3	2600-3
2.4, черноземы	60	-	-	5640-3	5640-3
2.4, солонцы	10	140-1	-	-	140-1
2.4, солонцы	30	200-1	-	-	200-1
2.5.1	17	110-3	200-2	910-7	210-12
<i>3. Капитановая зона</i>					
3.1, ЛП 33	8	-	320-1	300-4	310-5
3.1, ЛП 32 и 3	20	30-1	210-1	(80-3)	200-5
3,2	10	-	-	1430-4	1430-4
3,3	18-22	20-1	-	2000-3	2000-4
3.4, ЛП 13	9	100-2	300-1	1040-1	140-4
3.4, ЛП 13	16,5	-	230-3	2130-3	240-4
3.4, ЛП 85	10	-	300-5	500-4	320-9
3.4, ЛП 9	11	-	300-1	(200-1)	320-2
3.4, ЛП 9	12	10-1	-	1220-3	1220-4
3.4, ЛП 17	30	-	320-2	(200-4)	900-6

Примечание. Второе число в графах 3-6 – количество годоплощадок. В скобках – для годоопытов без подтока ($W_m = W_c = h_p n$, $KW_c = 1$).

Приложение 3

Распределение величин максимального поглощения талых вод W_m (в скобках – число годовариантов) – в связи с изменением коэффициента водопоглощения KW_c на вариантах применения приемов усиления водопоглощения в лесонасаждениях и вне их (по результатам группового регрессионного анализа)

Вариант усиления водопоглощения	Ширина варианта опыта, м	Значения W_m , мм, в диапазоне KW_c			
		0-0,33	0,34-0,66	0,67-1,0	0-1,0
1	2	3	4	5	6
1. Нечерноземная зона					
<i>А) Без лесных полос</i>					
1.3.1.1. Новиков Н. Е., 1990-1993					
Луг	5	500 (3)	-	-	500 (3)
Луг + В	5	1200 (3)	-	-	1200 (3)
Луг + К	5	1500 (3)	-	-	1500 (3)
Луг + В + К	5	3000 (9)	3600 (3)	-	3100 (12)
1.3.1. Петелько А. И., 1973-1974 (Бугровский сад)					
Луг + В + К + Хв	0,8	-	9000 (2)	24000 (4)	14000 (6)
- "	0,8	-	4800-6700 ^{x)} (2)	2600-8500 ^{x)} (4)	2600-8500 ^{x)} (6)
<i>Б) С лесными полосами</i>					
1.3.1.1. Гаршинев Е. А., Новиков Н. Е., 1972-1975					
М	10	0 (2)	-	700 (2)	100 (4)
1.3.1.3. Гаршинев Е. А., 1964-1970					
Б	14	30 (1)	1100 (4)	190-240 ^{xx)} (2)	1100 (7)
1.3.1.1. Гаршинев Е. А., Новиков Н. Е., 1973-1975, 1987-1993					
В	10	5 (1)	600 (5)	-	500 (6)
1.3.1.1. Новиков Н. Е., 1987-1993					
В	4	700 (3)	8000 (2)	-	7300 (5)
1.4.2. Дьяков В. Н., 1974-1977					
- " -	20	-	-	220-540 ^{xx)} (4)	220-540 ^{xx)} (4)
1.3.1. Гаршинев Е. А., 1964-1969 (снегораспределители)					
К	2,5	600 (2)	-	44000 (4)	2200 (6)
К	2,5	-	-	2300-5500 ^{x)} (4)	-
1.3.1.1. Новиков Н. Е., 1987-1993					
- " -	4	-	-	130000 (4)	130000 (4)

1	2	3	4	5	6
- " -	"	-	-	-	3600-6700 ^x (3)
В + К	4	400(3)	20000(3)	66000(26)	55000(34)
- " -	"	300-460 ^x (3)	850-11000 ^x (26)	4000-27000 ^x (26)	-
- " -	7	1600(3)	2600(1)	26000(9)	3600(13)
- " -	"	-	-	1800-5000 ^x (9)	-
- " -	10	400(2)	4500(2)	12000(9)	6000(13)
- " -	10	-	-	33000(6)	33000(6)
В + К	10	-	-	130-930 ^x (6)	130-930 ^x (6)
1.3.1.3. Гаршинев Е. А., Новиков Н. Е., 1972-1988					
- " -	14	100(2)	350(3)	1800(9)	400(14)
1.4.2. Дьяков В. Н., 1974-1977					
- " -	20	-	-	190-570 ^x (4)	190-570 ^x (4)
2. Черноземная зона					
<i>А) Без лесных полос</i>					
2.3. Демидов В. В., 1978-1981					
В + К	0,8	-	4000 (2)	3000 ^{xx} (1)	5100(3)
2.3. Дьяков В. Н., 1985-1986					
- " -	"	-	400(2)	-	400(2)
<i>Б) С лесными полосами</i>					
2.3. Гаршинев Е. А., Зарудная Т. Я., 1981-1986					
М	18	-	200(2)	15000(7)	7900(9)
2.3. Гаршинев Е. А., Зарудная Т. Я., 1981-1986					
- " -	"	-	-	200-1000 ^{xx} (5)	-
Л	18	-	-	1500(5)	1500(5)
"	9	-	-	14000(4)	14000(4)
К	18	-	-	4100(6)	4100(6)
В	18	-	-	6200(4)	6200(4)
2.1. Панов В. И., 1965-1970					
- " -	12-31	-	-	13000(14)	13000(14)
- " -	- " -	-	-	-	200-850 ^{xx} (8)
2.3. Дьяков В. Н., 1976-1979					
- " -	10	-	-	260-820 ^{xx} (4)	260-820 ^{xx} (4)
2.3. Здоровцов И. П., 1986-1988					
В + К	3	600 (6)	-	-	600(6)
2.3. Здоровцов И. П., 1988					
В + К	3	-	1500(2)	-	1500(2)

Продолжение прилож. 3

1	2	3	4	5	6
2.3. Гаршинев Е. А., Дьяков В. Н., 1982, 1986-1988					
- " -	3	-	3700 (3)	6600(6)	5300(9)
2.3. Дьяков В. Н., 1981-1991					
- " -	3	-	-	3000(11)	3000(11)
2.3. Дьяков В. Н., 1976-1979					
- " -	10	-	-	260-820 ^{xx} (4)	260-820 ^{xx} (4)
2.3. Демидов В.В., 1978-1981; Дьяков В. Н., 1985-1986					
- " -	14	-	-	13000(6)	13000(6)
- " -	- " -	-	-	460-890 ^{xx} (3)	-
2.3. Зарудный Я. К., 1979-1983					
- " -	15,5	-	1900 (3)	3800(2)	2200(5)
2.3. Гаршинев Е.А., Зарудная Т. Я., 1981-1986					
- " -	18	-	-	32000(12)	32000(12)
2.3. Гаршинев Е. А., Зарудная Т. Я., 1981-1986					
В + К	18	-	-	200-860 ^{xx} (10)	-
М + В + К	18	-	-	200-700 ^{xx} (14)	200-700 ^{xx} (14)
Л + В + К	18	-	-	280-1500 ^{xx} (6)	280-1500 ^{xx} (6)
2.3. Гаршинев Е. А., Зарудная Т. Я., 1983-1986					
- " -	9	-	3900 (4)	-	3900(4)
- " -	- " -	-	-	61000(4)	61000(4)
- " -	- " -	-	-	1400-8300 ^x (4)	1400-8300 ^x (4)
3. Капитановая зона, с лесными полосами					
3.3. Воронов В. В., 1972					
М	18	-	-	60 ^{xx} (1)	60 ^{xx} (1)
3.1. Величкин В. Е., 1974					
- " -	20	-	-	100 ^{xx} (1)	100 ^{xx} (1)
3.4. Бондаренко Ю. В., 1977-1980					
Хв(м)	16,5	-	300 (3)	900(1)	300(4)
3.4. Ивонин В. М., 1977-1979					
Пз	15	-	200 (4)	3200(5)	1100(9)
3.4. Сурмач Г. П., 1960-1966					
		-	-	-	400-1200 ^x (6)

1	2	3	4	5	6
3.4. Сурмач Г. П., Воронов В. В., Мальков Г. А., 1967-1971					
"	11-12	-	-	1100(5)	1100(5)
"	"	-	-	110-390 ^{xx} (3)	110-390 ^{xx} (3)
3.2. Котов А. В., 1967-1970					
"	10	-	-	130-160 ^{xx} (4)	130-160 ^{xx} (4)
3.2. Пынзарю Н. М., 1977-1978					
"	12	-	-	1500(5)	1500(5)
3.4. Бондаренко Ю. В., 1977-1980					
В	3	-	740(3)	280 ^{xx} (1)	750(4)
"	6	-	450(2)	1100(2)	700(4)
"	9	-	600(7)	900(13)	640(2)
"	16,5	-	-	700(4)	700(4)
3.4. Куницкий Е. И., 1969-1976					
В + К	10	-	-	2800(9)	2800(9)
"	"	-	-	30-170 ^{xx} (7)	30-170 ^{xx} (7)
3.4. Воронов В. В., 1970-1972					
"	"	-	-	4000(5)	4000(5)
"	"	-	-	60-560 ^{xx} (4)	60-560 ^{xx} (4)
3.4. Бондаренко Ю. В., 1977-1980					
"	16,5	-	-	130-650 ^{xx} (10)	130-650 ^{xx} (10)
3.1. Величкин В. Е., 1969-1974					
"	8	-	-	20-630 ^{xx} (6)	20-630 ^{xx} (6)
В + К	20	-	-	1000(6)	1000(6)
"	"	-	-	20-70 ^{xx} (4)	20-70 ^{xx} (4)
3.4. Бондаренко Ю. В., 1977-1979					
В + (К + Хв)	16,5	-	-	3100(40)	3100(4)
"	"	-	-	130-280 ^{xx} (3)	130-280 ^{xx} (3)

Примечание. Для каждого стационара указаны номер (см. приложение 1), автор и (или) исполнитель, годы исследований. х) реальная величина W_c в эксперименте; xx) в годы с $W_c = P_c$ и отсутствием стока с поля; Б – борозды, В – вал, К – канава, М – мульча, Пз – плетневые запруды, Хв – хворост, Хв (м) – хворост в междурядьях.

Приложение 4

Изменение основных гидрологических характеристик весеннего периода на полевых склонах в зависимости от расстояния до опушек лесных полос $L_{\text{скл}}$, м (данные опытов на стоковых площадках без подтока)

Вариант	$L_{\text{скл}}$	$h_{\text{сн}}$	W_c	$S_{\text{п}}$	KW_c	W_m	Авторы и исполнители
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Новосильская ЗАГЛОС							
<i>1.1. Ур. Колодезное, зяблевая вспашка</i>							
<i>1969 г.</i>							
П	> 150	48	28	20	0,58	40	А. Т. Барабанов
П + Ш	0-150	107	70	37	0,65	110	Е. А. Гаршинев
<i>1970 г.</i>							
П	> 150	123	24	99	0,20	20	А. Т. Барабанов
П + Ш	0-150	253	149	104	0,59	210	Е. А. Гаршинев
<i>1972 г.</i>							
П	> 150	55	39	16	0,71	70	А. Т. Барабанов, Е. Я. Тубольцев
П + Ш	0-150	58	38	19	0,66	60	Е. А. Гаршинев, Н. Е. Новиков
<i>1973 г.</i>							
П	> 150	64	31	33	0,48	30	А. Т. Барабанов, Е. Я. Тубольцев
П + Ш	0-150	66	34	32	0,52	40	Е. А. Гаршинев, Н. Е. Новиков
<i>1974 г.</i>							
П	> 150	84	27	57	0,32	30	А. Т. Барабанов, Е. Я. Тубольцев
П + Ш	0-150	42	11	31	0,26	10	Е. А. Гаршинев, Н. Е. Новиков
<i>1975 г.</i>							
П	> 150	71	27	44	0,38	30	А. Т. Барабанов, Е. Я. Тубольцев
П + Ш	0-150	64	21	43	0,33	20	Н. Е. Новиков
<i>Средние за 1969-1975 гг.</i>							
П	> 150	74	29	45	0,39	30	
П + Ш	0-150	98	54	44	0,55	70	
(П+Ш)/П		1,3	1,9	0,98	1,4	2,3	

1	2	3	4	5	6	7	8
1.2. Ур. Б. Зеренки							
<i>1972 г., озимые</i>							
П	70-180	26	9	17	0,35	10	Н. Е. Богулина
Ш	6-56	52	35	17	0,67	60	"-
П + Ш	0-150	74	55	19	0,74	120	Е. А. Гаршинев
<i>1973 г., зяблевая вспашка</i>							
П	70-180	30	15	15	0,50	20	Н. Е. Богулина
Ш	6-56	40	29	11	0,72	60	"-
П + Ш	0-150	42	23	19	0,55	30	Е. А. Гаршинев
<i>1974 г., зяблевая вспашка</i>							
П	70-180	24	12	12	0,50	10	Н. Е. Богулина
Ш	6-56	44	18	26	0,41	20	"-
П + Ш	0-150	26	3	23	0,12	3	Е. А. Гаршинев
<i>1975 г., зяблевая вспашка</i>							
П	70-180	55	55	0	1,0	-	Н. Е. Богулина
Ш	6-56	102	102	0	1,0	-	"-
П + Ш	0-150	72	72	0	1,0	-	Е. А. Гаршинев
<i>Средние за 1972-1975 гг.</i>							
П	70-180	34	23	11	0,68	40	
Ш	6-56	60	46	14	0,77	110	
П + Ш	0-150	54	38	16	0,70	70	
(П + Ш)/П	-	1,6	1,7	1,5	1,0	1,75	
Ш/П	-	1,8	2,0	1,3	1,1	2,75	
2. К-з им. Ленина Сосновского р-на Тамбовской обл.							
<i>1975 г., зяблевая вспашка</i>							
<i>Склон выше ЛП</i>							
П	75-150	92	92	0	1,0	-	С. И. Шкулев
Ш	0-75	111	111	0	1,0	-	"-
П + Ш	0-150	89	89	0	1,0	-	"-
<i>Склон ниже ЛП, многолетние травы (клевер)</i>							
П	75-150	87	87	0	1,0	-	"-
Ш	0-75	94	94	0	1,0	-	"-
П + Ш	0-150	86	86	0	1,0	-	"-
<i>1976 г.</i>							
<i>Склон выше ЛП, зяблевая вспашка</i>							
П: 1	75-150	115	107	8	0,93	790	"-
2	" - "	118	110	8	0,93	830	"-

1	2	3	4	5	6	7	8
Ш: 1	0-75	158	155	3	0,98	4100	-"
2	- " -	136	128	8	0,94	1100	-"
П + Ш: 1	0-150	108	107	1	0,99	5800	-"
2	- " -	114	110	4	0,96	1600	-"
<i>Склон ниже ЛП, многолетние травы (клевер)</i>							
П: 1	75-150	99	79	20	0,80	210	-"
2	- " -	84	60	24	0,71	120	-"
Ш: 1	0-75	106	92	14	0,87	360	-"
2	"	99	83	16	0,84	270	-"
П + Ш: 1	0-150	100	83	17	0,83	260	-"
П + Ш: 2	0-150	90	72	18	0,80	480	С. И. Шкулев
3. С-з "Прутской" Павловского р-на Алтайского края, зябь (плоскорез) 1988 г.							
П	50-60	85	69	16	0,81	200	В. М. Лешин
Ш	20-30	125	71	54	0,56	100	-"
1989 г.							
П	50-60	37	36	1	0,96	420	-"
Ш	20-30	76	73	3	0,96	880	-"
1990 г.							
П	50-60	85	15	70	0,18	20	-"
Ш	20-30	104	83	21	0,80	220	-"
<i>Средние за 1988-1990 гг.</i>							
П	50-60	69	40	29	0,58	60	
Ш	20-30	102	76	26	0,74	160	
Ш/П	-	1,5	1,9	0,9	1,3	2,7	

Примечание. Числа в 1 графе: 1 – у продуваемой ЛП с подчисткой ветвей на высоту 1,5-2 м; 2 – та же ЛП без подчистки ветвей (контроль), как и в 1975 г.; П – поле вне шлейфа, Ш – под снежным шлейфом.

Влияние подтока на водопоглощающую и стокорегулирующую роль ближнего (Б), среднего (С) и дальнего (Д) ярусов снежных шлейфов ЛП на разных агрофонах в севообороте. Длина полевого склона $L_n = 600$ м

Ярус шлейфа и расстояние от ЛП, м	Агрофон	S_n	P_c	W_c	KW_c	W_m	ΔS
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Новосильская ЗАГЛОС, исполнитель А. П. Ложкин							
<i>1.1. Склон выше ЛП</i>							
Д 60-40	Оз	0	81	74	0,91	390	0
" "	"-	107	3300	560	0,17	510	16
С, 40-20	"-	0	82	82	1,0	-	0
Д+С, 60-20	"-	0	82	73	0,99	360	0
" "	"-	85	1400	350	0,25	360	18
Б, 20-0	"-	0	82	82	1,0	-	0
С+Б, 40-0	"-	0	82	71	0,87	280	0
Д+С+Б, 60-0	"-	0	82	82	1,0	-	0
"-	"-	150	1600	330	0,21	330	24
"-	Ст. яр	0	82	56	0,69	100	0
"-	"	70	860	390	0,45	460	28
"-	М.т 1г.	0	55	15	0,29	15	0
"-	"-	86	1600	360	0,23	370	28
"-	М.т 2г.	0	55	49	0,89	230	0
"-	"-	187	2100	230	0,11	230	16
<i>1991 г.</i>							
Д, 60-40	Ст. оз	0	72	40	0,56	50	0
"-	"-	107	4600	350	0,08	350	9
С, 40-20	"-	0	72	52	0,72	100	0
Д+С, 60-20	"-	0	72	43	0,60	60	0
"-	"-	55	840	210	0,25	210	8
Б, 20-0	"-	0	70	50	0,71	100	0
С+Б, 40-0	"-	0	86	66	0,75	140	0
Д+С+Б, 60-0	"-	0	68	48	0,71	90	0
"-	"-	160	1700	190	0,11	190	12
"-	"-	160	1700	190	0,11	190	12
"-	О. в	0	50	32	0,64	50	0
"-	"-	124	1200	410	0,34	460	38
"-	Фр	0	57	48	0,84	160	0
"-	"-	82	880	220	0,25	220	16

1	2	3	4	5	6	7	8
-"	М.т 1г.	0	48	39	0,81	110	0
-"	-"	52	660	240	0,36	290	16
-"	М.т 2г.	0	62	57	0,92	360	0
-"	-"	77	890	240	0,27	170	16
<i>1992 г. (сток отсутствовал)</i>							
Все варианты опыта	О.в, оз, м.т1 и 2г.	0	54-80	54-80	1,0	-	0
<i>1.2. Склон ниже ЛП 1993 г.^{х)}</i>							
Д, 40-60	О.в	0	32	0	0	0	0
-"	-"	70	2200	120	0,06	120	4
С, 20-40	-"	70	2100	30	0,02	30	0,4
Д+С, 20-60	-"	0	33	0	0	0	0
-"	-"	77	1300	60	0,04	60	2
Б, 0-20	-"	0	29	0	0	0	0
-"	-"	75	2300	100	0,04	100	3
С+Б, 0-40	-"	0	32	0	0	0	0
-"	-"	72	1200	0	0	0	0
Д+С+Б, 0-60	-"	0	25	0	0	0	0
-"	-"	38	420	0	0	0	0
<i>1994 г.</i>							
Д, 40-60	О.в	0	127	7	0,06	7	0
-"	-"	380	11600	1300	0,11	1300	39
С, 20-40	-"	400	12100	1300	0,10	1300	37
Д+С, 20-60	-"	0	131	21	0,16	21	0
-"	-"	340	5200	760	0,14	760	42
Б, 0-20	-"	0	153	13	0,08	13	0
-"	-"	410	12600	1200	0,09	1200	33
С+Б, 0-40	-"	0	136	16	0,12	16	0
-"	-"	470	7200	340	0,05	340	13
Д+С+Б, 0-60	-"	0	135	26	0,19	26	0
-"	-"	480	4900	830	0,17	830	69
<i>Средние за 1990-1994 гг. (без 1992 г.)</i>							
Д, 60-40-60	-	0	78	40	0,51	50	-
-"	-	170	5100	580	0,11	580	18
Д+С, 60-20-60	-	0	80	34	0,42	40	-

1	2	3	4	5	6	7	8
-"	-	140	2100	340	0,16	340	18
Б, 20-0-20	-	0	84	36	0,43	40	-
-"	-	(175)	(5250)	(340)	(0,06)	(340)	(42)
С+Б, 40-0-40	-	0	84	38	0,46	40	-
Д+С+Б, 60-0-60	-	0	78	39	0,50	50	-
-"	-	210	2100	340	0,16	340	26
2. Клетский опорный пункт (к-з "Кр. Октябрь"), исполнитель А. В. Терешкин 1988 г.							
Д, 60-40	О.В	0	63	51	0,81	150	0
Д, 60-40	О.В	25	820	45	0,55	45	0,03
Д+С, 60-20	-"	0	37	27	0,74	60	0
-"	-"	2	70	28	0,40	30	0,2
Д+С+Б, 60-0	-"	0	43	41	0,95	390	0
-"	-"	0	43	36	0,83	110	0
-"	-"	5	90	50	0,56	90	0,6
-"	Оз.	0	63	50	0,78	120	0
-"	-"	9	150	90	0,60	140	4
1989 г.							
Д, 60-40	О.В	0	20	19	0,95	290	0
-"	-"	0,7	40	20	0,50	35	0,2
Д+С, 60-20	-"	0	22	19	0,86	100	0
-", 60-10	-"	0	20	17	0,85	75	0
Д+С+Б, 60-0	-"	0	22	21	0,95	170	0
-"	М.Т 1Г.	0	21	18	0,86	70	0
1990 г.							
Д, 60-40	О.В	0	25	19	0,76	40	0
-"	-"	1	50	28	0,56	40	0,3
Д+С, 60-20	-"	0	20	13	0,65	20	0
-"	-"	4	80	40	0,50	60	2
-", 60-10	-"	0	20	14	0,70	25	0
-"	-"	0,8	30	24	0,80	60	1
Д+С+Б, 60-0	-"	0	23	17	0,74	30	0
-"	-"	1	32	26	0,81	70	1
-"	М.Т 2Г.	0	32	10	0,31	10	0
-"	-"	0,9	40	16	0,40	20	0,6
1991 г., 10-12.01							
Д, 60-40	О.В	0	26	25	0,96	330	0

1	2	3	4	5	6	7	8
-"	-"	4	140	110	0,79	290	3,0
Д+С, 60-20	-"	0	25	25	1,0	(310)	0
Д+С+Б, 60-0	-"	0	24	24	1,0	(310)	0
<i>1991 г., 16-23.03</i>							
Д, 60-40	О.в	0	51	25	0,49	30	0
Д+С, 60-20	-"	0	51	29	0,57	20	0
-"	-"	1,4	80	30	0,38	30	0,6
Д+С+Б, 60-0	-"	0	48	24	0,50	30	0
-"	-"	48	480	110	0,23	110	8
<i>1992 г.</i>							
Д, 60-40	О.в	0	74	61	0,82	190	0
-"	-"	11	420	150	0,36	210	3,0
Д+С, 60-20	-"	0	80	60	0,75	130	0
Д+С, 60-20	О.в	17	350	200	0,57	290	9,0
Д+С+Б, 60-0	-"	0	88	73	0,83	380	0
-"	-"	14	230	160	0,70	330	11,0
<i>Средние за 1988-1992 гг.</i>							
Д, 60-40	О.в	0	43	33	0,77	170	0
-"	-"	8	290	70	0,24	120	1,3
Д+С, 60-20	-"	0	39	29	0,74	110	0
-"	-"	6	140	75	0,54	100	5,0
Д+С+Б, 60-0	-"	0	41	33	0,80	200	0
-"	-"	17	210	90	0,43	150	5,0

Примечание. Сокращенные обозначения агрофонов: Оз – озимые; Ст.яр, Ст.оз – стерня яровых и озимых культур; М.т 1г., 2г. – многолетние травы 1-го и 2-го года жизни; Фр – фрезерная обработка; О.в – отвальная вспашка.

^{х)}В 1993 г. на ОД без подтока снегозапасы приняты равными стоку.

В скобках – ориентировочные и расчетные величины.

В графе 3 $S_n = 0$ для ОД при отсутствии подтока с полевого склона.

Фактические H_ϕ и расчетные H_p отметки и уклоны I_p , параметры a, b, H_{\max}, H_{\min} и ошибки отметок ε и уравнения логистической функции (2.12) m_{yx} , м, для продольных профилей склонов в разных районах Сев. Евразии

L , м	H_ϕ , м	H_p , м	ε , %	$I_p = \operatorname{tg} \alpha$
1	2	3	4	5
1. Орловская обл.				
<i>1.1. ОПХ Новосильской ЗАГЛОС, профиль 6.1а</i>				
0	217,75	217,72	-	0,006
170	216,25	216,00	-1,5	0,014
280	213,75	213,92	1,2	0,022
380	211,25	211,32	0,6	0,028
460	208,75	208,95	2,2	0,030
570	206,25	205,81	-6,8	0,026
670	203,75	203,55	-5,0	0,019
780	201,25	201,88	43,9	0,011
1210	200,00	199,97	-17,0	0,0000
$a = 2,85$	$b = 0,00635$	$H_{\max} = 218,75$	$H_{\min} = 199,82$	$m_{yx} = 0,33$
<i>1.2. Колхоз "Маяк" Новосильского р-на, профиль 2.2</i>				
0	260	259,75	-	0,007
185	257,5	257,45	-0,1	0,019
255	255	255,84	2,4	0,026
330	252,5	253,46	2,9	0,036
385	250	251,23	4,1	0,044
455	247,5	247,80	1,1	0,053
500	245	245,30	1,2	0,057
550	242,5	242,34	-0,7	0,060
605	240	239,00	-5,0	0,060
675	237,5	234,89	-15,0	0,056
695	235	233,79	-8,1	0,054
715	232,5	232,73	1,8	0,051
740	230	231,47	15,0	0,048
$a = 3,45$	$b = 0,00596$	$H_{\max} = 261,00$	$H_{\min} = 220,20$	$m_{yx} = 1,16$
<i>1.3. Колхоз "50 лет Октября" Мценского р-на Профиль 10</i>				
0	305	304,6	-	0,012
145	300	301,1	1,9	0,041
220	295	296,9	3,6	0,072
285	290	291,1	2,4	0,105
325	285	286,5	3,6	0,125

Продолжение прилож. 6				
1	2	3	4	5
380	280	279,0	-2,4	0,144
430	275	271,7	-9,8	0,147
455	270	268,1	-6,7	0,142
485	265	263,9	-4,5	0,133
505	260	261,3	7,6	0,124
$a = 3,83$	$b = 0,00924$	$H_{\max} = 306,00$	$H_{\min} = 242,01$	$m_{\text{вх}} = 1,82$
Профиль 27				
0	285	284,1	-	0,016
85	280	282,1	4,2	0,033
175	275	277,8	6,2	0,064
250	270	271,7	4,3	0,098
310	265	265,1	0,4	0,120
365	260	258,2	-6,0	0,129
410	255	252,4	-10,1	0,124
445	250	248,2	-8,5	0,113
480	245	244,5	-3,0	0,099
520	240	240,9	9,3	0,081
$a = 3,38$	$b = 0,00922$	$H_{\max} = 286,00$	$H_{\min} = 230,00$	$m_{\text{вх}} = 1,93$
2. Курская обл., ОППХ ВНИИЗиЗПЭ Медвенского р-на				
Профиль 9				
0	200	200,4	-	0,005
200	197,5	197,8	0,6	0,025
270	195	195,4	0,8	0,043
320	192,5	192,9	0,8	0,060
360	190	190,2	0,4	0,076
390	187,5	187,7	0,4	0,089
420	185	184,8	-0,3	0,101
450	182,5	181,6	-2,0	0,113
470	180	179,2	-1,8	0,120
490	177,5	176,8	-1,8	0,125
505	175	174,9	-0,2	0,128
520	172,5	172,9	1,4	0,130
$a = 4,62$	$b = 0,0085$	$H_{\max} = 201,00$	$H_{\min} = 140,00$	$m_{\text{вх}} = 0,52$
Профиль 139				
0	207,5	208,0	-	0,004
200	205	205,7	1,2	0,022
270	202,5	205,7	1,8	0,039
330	200	200,7	1,2	0,060
365	197,5	198,3	1,5	0,075

Продолжение прилож. 6

1	2	3	4	5
410	195	194,4	-0,9	0,096
430	192,5	192,4	-0,0	0,106
465	190	188,4	-3,2	0,122
480	187,5	186,5	-2,0	0,128
495	185	184,5	-1,0	0,134
510	182,5	182,5	0,0	0,139
530	180	179,6	-0,8	0,143
545	177,5	177,5	0,0	0,145
$a = 4,91$	$b = 0,00873$	$H_{\max} = 208,50$	$H_{\min} = 141,40$	$m_{\text{вх}} = 0,81$
3. Воронежская обл., ОПХ НИИСХ ЦЧП (Каменная степь) Таловского р-на				
<i>Профиль 5</i>				
0	259	259,0	-	0,003
195	258	257,9	-0,0	0,007
392	255,5	255,7	0,3	0,015
557	252,5	252,4	-0,0	0,025
657	249,5	249,4	-0,0	0,034
732	246,5	246,5	0,1	0,042
807	243,5	243,1	-0,5	0,050
857	240,5	240,5	-0,0	0,055
907	237,5	237,6	0,1	0,060
954	234,5	234,6	0,3	0,064
1002	231,5	231,4	-0,0	0,068
1032	229,5	229,3	-0,2	0,070
$a = 4,33$	$b = 0,00378$	$H_{\max} = 260,00$	$H_{\min} = 182,10$	$m_{\text{вх}} = 0,16$
4. Волгоградская обл., Клетский р-н				
<i>4.1. Колхоз "Кр. Октябрь"</i>				
<i>Профиль 1</i>				
0	412,3	412,1	-	0,004
225	410	410,6	0,9	0,009
575	405	404,8	-0,2	0,026
700	400	400,8	1,5	0,036
850	395	394,4	-1,1	0,049
950	390	389,1	-1,9	0,056
1025	385	384,7	-0,6	0,060
1100	380	380,1	0,3	0,062
$a = 4,03$	$b = 0,00359$	$H_{\max} = 413,30$	$H_{\min} = 344,00$	$m_{\text{вх}} = 0,64$
<i>Профиль 5.1</i>				
0	412,3	412,0	-	0,003
350	410	410,4	1,4	0,006

Продолжение прилож. 6

1	2	3	4	5
<i>Профиль 5.1</i>				
875	405	404,5	-1,7	0,016
1050	400	401,4	7,0	0,019
1325	395	395,7	4,8	0,021
1625	390	389,8	-1,9	0,017
2000	385	384,6	-7,9	0,010
3850	380	380,0	-1,6	0,000
$a = 3,25$	$b = 0,00253$	$H_{\max} = 413,30$	$H_{\min} = 379,95$	$m_{\text{вх}} = 0,72$
<i>4.2. Совхоз "Кременской", Профиль 2.2</i>				
0	250	250,5	-	0,138
50	245	243,6	-3,3	0,135
85	240	239,0	-2,8	0,130
100	235	237,0	6,8	0,127
150	230	231,0	4,0	0,114
185	225	227,2	11,0	0,103
250	220	221,2	7,9	0,081
350	215	214,5	-4,7	0,052
525	210	208,4	-30,5	0,020
1200	205	205,0	14,2	0,000
$a = 0,0256$	$b = 0,00615$	$H_{\max} = 295,00$	$H_{\min} = 204,95$	$m_{\text{вх}} = 1,47$
<i>4.3. ОПХ "Камышинское" НВ НИИСХ Дубовского р-на Профиль 6</i>				
0	400	397,0	-	0,001
385	395	396,0	0,8	0,003
1000	390	392,5	2,1	0,008
1550	385	385,3	0,3	0,018
1825	380	379,2	-0,7	0,026
2075	375	371,7	-3,1	0,033
2225	370	366,2	-3,7	0,038
2325	365	362,2	-2,9	0,041
2375	360	360,1	0,1	0,043
2475	355	355,6	0,8	0,045
2550	350	352,1	2,7	0,047
2625	345	348,5	4,7	0,049
2800	340	339,7	-0,3	0,051
2850	335	337,1	3,3	0,051
3050	330	326,9	-5,2	0,050
$a = 4,70$	$b = 0,00162$	$H_{\max} = 398,17$	$H_{\min} = 270,94$	$m_{\text{вх}} = 2,36$

1	2	3	4	5
<i>Профиль 16</i>				
0	395	395,6	-	0,000
1075	390	392,2	0,5	0,008
1325	385	389,5	1,1	0,014
1875	380	374,9	-1,3	0,044
1950	375	371,3	-0,9	0,051
2025	370	367,1	-0,7	0,059
2050	365	365,6	0,1	0,062
2075	360	364,0	1,1	0,065
$a = 7,03$	$b = 0,00221$	$H_{\max} = 396,00$	$H_{\min} = 0,00$	$m_{\text{vx}} = 3,89$
<i>5. Алтайский край, Павловский р-н, колхоз "Кр. Звезда"</i>				
<i>Профиль 7</i>				
0	210	209,6	-	0,004
345	205	206,4	4,3	0,015
572	200	201,5	5,6	0,02
792	195	194,3	-2,8	0,036
920	190	189,6	-2,2	0,036
1092	185	183,7	-10,3	0,030
1220	180	180,2	2,6	0,023
$a = 3,34$	$b = 0,00387$	$H_{\max} = 211,00$	$H_{\min} = 172,50$	$m_{\text{vx}} = 1,17$
<i>Профиль 8</i>				
0	210	209,9	-	0,002
728	205	205,4	1,3	0,012
1072	200	199,7	-0,7	0,020
1272	195	195,1	0,5	0,025
1495	190	189,3	-3,4	0,026
1695	185	184,2	-5,2	0,024
1848	180	180,7	7,8	0,020
$a = 3,76$	$b = 0,00259$	$H_{\max} = 210,90$	$H_{\min} = 170,00$	$m_{\text{vx}} = 0,63$
<i>Профиль 12</i>				
0	185	184,1	-	0,004
250	180	182,6	7,5	0,007
748	175	176,2	4,2	0,018
1048	170	169,6	-1,2	0,024
1250	165	164,5	-2,2	0,025
1452	160	159,5	-3,1	0,023
1655	155	155,1	1,5	0,019
2030	150	149,6	-6,7	0,010
$a = 3,04$	$b = 0,00251$	$H_{\max} = 186,00$	$H_{\min} = 145,00$	$m_{\text{vx}} = 1,29$

Приложение 7

Повторяемость направлений ветра n и реальная дальность ветроломного влияния лесополос R для метеостанций юго-востока Сев. Евразии, %

Номер и название метеостанции	Величина n по румбам				Величина $R_{абс}/R_{отн}$ по осям			
	С/Ю	СВ/ЮЗ	В/З	ЮВ/СЗ	С-Ю	СВ-ЮЗ	В-З	ЮВ-СЗ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Выпуск 9. Уральское УГМС</i>								
132.Зилаир	7/11	11/17	15/15	10/14	55/82	62/92	67/100	58/86
<i>Выпуск 10. Украина</i>								
14. Ромны	9/11	9/13	17/15	11/15	54/81	59/89	66/100	63/95
16. Ивановская оп.ст.	13/12	13/11	13/13	13/12	60/98	60/98	61/100	61/100
64. Веселый Подол	12/10	12/14	13/13	13/13	59/93	60/95	63/100	60/95
67. Кременчуг	10/10	10/15	17/16	8/14	53/80	62/93	66/100	59/89
69.Богодухов	12/10	12/13	18/11	11/13	57/89	61/95	64/100	60/93
71. Харьков, обсерватория	12/8	15/10	15/14	14/12	56/86	60/92	65/100	61/93
74. Купянск	15/9	12/14	13/12	13/12	60/98	61/100	61/100	60/98
91. Старобельск	14/11	10/11	12/13	16/13	60/93	56/87	60/93	64/100
92. Беловодск	13/11	7/10	13/14	17/15	59/86	53/77	62/91	68/100
94. Ворошиловград	6/5	12/12	23/18	12/12	45/59	61/81	75/100	61/81
124. Синельниково	9/13	12/13	17/10	14/12	58/92	60/95	63/100	61/96
125. Чаплино	12/11	16/11	17/9	13/11	59/95	62/100	62/100	59/95
130. Краматорск	14/12	17/10	18/11	10/8	58/87	66/100	61/92	57/86
134.Ясиноватая	12/12	12/10	18/11	15/10	57/91	59/95	62/100	62/100
135. Донецк, АМСГ	9/6	13/12	17/12	20/11	55/79	56/81	69/100	62/89
138. Велико-Анадоль	8/9	11/13	21/14	11/13	51/73	61/88	69/100	61/88
167. Запорожье	15/12	17/11	15/9	11/10	62/96	64/100	59/92	57/89
172. Бердянск, порт	11/7	24/13	21/10	5/9	54/75	72/100	67/93	49/68
185. Аскания-Нова	13/7	18/13	16/11	11/11	57/89	64/100	64/100	55/85
188. Геническ	13/15	16/9	20/13	12/12	53/77	61/89	68/100	60/88
213. Почтовое	5/4	22/13	32/9	5/10	44/57	70/92	76/100	50/65
217. Херсонес, маяк	15/19	27/9	4/7	8/11	73/100	68/93	50/68	51/69
<i>Выпуск 12. Приволжское УГМС</i>								
98. Сырт	13/14	8/10	13/15	13/14	59/89	57/86	60/90	66/100
100. Оренбург, ГМС	13/9	13/18	18/10	9/10	57/86	66/100	63/95	54/81
107. Кувандык	3/8	14/13	20/24	9/9	43/56	66/86	76/100	57/75
115. Домбаровский	10/11	9/18	9/21	9/13	56/86	63/96	65/100	58/89
143.Новоузенск	13/9	11/13	16/14	11/13	56/87	61/95	64/100	61/95

1	2	3	4	5	6	7	8	9
144. Александров-Гай	11/10	13/12	14/16	11/13	56/86	61/93	65/100	60/92
<i>Выпуск 13. Северо-Кавказское УГМС</i>								
6. Новоаннинский	13/13	13/14	9/12	15/11	63/100	60/95	58/92	59/93
10. Динамо	9/10	10/17	13/16	14/11	56/84	61/92	66/100	59/89
11. Михайловка	12/12	13/12	13/12	14/12	60/98	60/98	61/100	61/100
12. Камышин	7/11	18/19	11/13	9/22	59/90	57/87	65/100	61/93
13. Палласовка	12/10	14/12	16/15	10/11	55/85	63/98	64/100	58/90
14. Ольховка	16/9	12/12	16/9	11/15	60/98	59/96	60/98	61/100
16. Быково	11/10	18/15	10/13	11/12	61/95	64/100	63/98	54/84
19. Клетская	9/15	6/17	15/15	11/12	57/90	61/96	63/100	61/96
20. Иловля	8/11	11/10	14/17	14/15	54/81	56/84	66/100	64/96
23. Дубовка	15/7	21/11	10/12	7/17	62/98	63/100	62/98	55/87
24. Волгоград, ГМО	12/12	19/10	13/12	11/11	60/93	64/100	61/95	57/89
30. Котельниково	6/5	9/11	24/15	16/14	46/62	55/74	74/100	65/87
31. Казанская	6/6	8/11	20/20	16/13	46/62	56/75	74/100	66/89
32. Вешенская	7/5	14/12	20/19	11/12	47/63	62/83	74/100	59/79
36. Индустрия	13/9	14/14	16/11	14/9	58/92	63/100	63/100	58/92
37. Обливская	8/7	17/12	21/16	10/9	49/69	66/92	71/100	56/78
41. Лихая	9/6	9/12	17/13	18/16	54/78	53/76	69/100	66/95
50. Ростов-на-Дону, ГМО	8/4	14/11	31/17	8/7	40/52	67/88	76/100	57/75
57. Зимовники	6/9	10/11	27/15	14/8	45/62	61/84	72/100	62/86
63. Зерноград	7/5	16/14	24/15	12/7	47/63	66/89	74/100	55/74
73. Верхний Баскунчак	11/9	16/11	17/14	11/11	55/83	63/95	66/100	58/87
77. Харабали	9/7	14/11	20/15	14/10	51/72	61/87	70/100	60/85
80. Астрахань, ГМО	10/7	13/9	21/13	15/12	52/75	58/84	69/100	63/91
83. Укатный, остров	8/4	13/9	27/13	13/13	46/62	59/79	74/100	63/85
91. Аршань-Зельмень	6/5	11/8	25/24	11/10	39/50	61/79	77/100	63/81
94. Сарпа	9/8	13/8	20/12	17/13	53/77	56/82	68/100	65/95
96. Элиста	8/5	14/7	23/18	13/12	46/62	59/79	74/100	63/85
112. Белоглинная	4/3	18/14	31/18	5/7	38/47	72/89	80/100	52/64
122. Темрюк	13/10	18/15	20/7	6/11	58/85	68/100	62/91	52/76
130. Армавир	3/3	7/8	17/14	41/7	51/67	41/53	76/100	74/97
166. Ставрополь	4/5	7/13	18/22	18/13	45/59	55/72	76/100	66/86
168. Величаевское	7/2	16/5	26/9	14/21	49/65	52/69	75/100	66/87
173. Киан	2/2	5/7	46/23	11/4	23/26	64/72	88/100	67/76

1	2	3	4	5	6	7	8	9
174. Ачикулак	11/3	16/4	29/15	7/15	44/59	61/82	74/100	63/85
179. Зеленчукская	13/14	12/6	13/8	14/20	64/94	52/76	58/85	68/100
190. Георгиевск	6/4	9/4	23/14	21/19	47/63	46/62	74/100	73/98
199. Грозный	4/4	11/8	26/17	6/24	43/55	55/70	78/100	66/84
201. Оджоникидзевская	4/2	6/8	22/37	8/13	31/37	60/71	84/100	67/80
206. Прохладная	9/6	15/13	26/12	6/13	48/67	65/91	71/100	56/78
209. Нальчик	8/5	15/35	18/17	6/6	57/74	77/100	69/89	39/50
<i>Вариационно-статистические характеристики величин n и R</i>								
Максимум X_{\max}	17/30	27/35	51/37	41/24	73/100	77/100	92/100	82/100
Минимум X_{\min}	1/0	0/1	4/1	3/4	19/20	35/42	50/68	39/50
Среднее $\bar{x} = \Sigma X/N$	9/7	13/11	21/14	12/12	50/72	61/86	70/99	61/86
Стандартное отклонение $s = \sqrt{\Sigma(X - \bar{X})^2/(N-1)}$	3,2/4,0	4,4/4,1	7,2/4,2	5,1/3,2	8,5/17	6,1/11	7,0/4,4	6,3/10
Коэффициент вариации $V = 100S/\bar{X}$	37/54	35/37	34/29	41/27	17/23	10/13	10/4,5	10/12
Ошибка среднего $m_x = S/\sqrt{N}$	0,2/0,2	0,3/0,3	0,5/0,3	0,3/0,2	0,5/1,1	0,4/0,7	0,4/0,3	0,4/0,6
Относительная ошибка среднего $m_x\% = 100m_x/\bar{X}$	2,3/3,4	2,2/2,3	2,1/1,8	2,6/1,7	1,1/1,5	0,6/0,8	0,6/0,3	0,7/0,8

Повторяемость направлений ветра n и реальная дальность ветроломного влияния лесополос R для метеостанций Алтайского края, %

Номер и название метеостанции	Величина n по румбам				Величина $R_{абс}/$ по осям $R_{отн}$			
	С/Ю	СВ/ ЮЗ	В/З	ЮВ/ СЗ	Ю-С	ЮЗ- СВ	З-В	ЮВ- СЗ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
82. Тальменка	13/17	8/33	7/7	4/11	70/97	72/100	54/75	46/63
83. Камень-на-Оби	7/11	4/26	6/18	17/11	59/90	60/92	65/100	58/89
84. Сорокино	6/15	11/27	6/10	18/7	66/100	64/96	61/92	51/77
85. Хабары	9/15	11/29	7/14	7/8	63/87	72/100	60/83	47/65
86. Тогоул	11/18	16/26	6/10	8/5	68/91	74/100	55/74	45/60
87. Барнаул, агро	11/17	9/30	7/12	6/8	65/90	72/100	56/77	47/65
88. Барнаул	6/14	14/31	5/16	8/6	62/83	74/100	63/85	43/58
89. Ново-Кытманово	6/10	10/41	5/17	4/7	60/76	78/100	66/84	38/48
90. Бaeво	7/9	13/36	9/13	7/6	60/78	76/100	66/86	40/52
91. Тюменцево	10/22	14/29	5/7	7/6	72/97	74/100	52/70	44/59
92. Ребриха	10/14	11/35	5/14	5/6	64/84	76/100	59/77	41/53
93. Славгород	10/14	8/23	10/16	8/11	59/89	66/100	61/92	54/81
94. Завьялово	13/11	10/35	6/10	5/10	66/90	73/100	58/79	43/58
95. Бийск-Зональная	5/7	16/23	16/16	10/7	52/72	70/97	72/100	48/66
96. Соусканиха	8/8	36/26	6/9	4/3	65/77	84/100	64/74	29/34
97. Алейская ж.-д. станция	6/7	18/45	5/10	3/6	64/77	83/100	66/79	29/34
98. Кулунда	8/11	12/28	8/14	9/10	61/88	69/100	64/92	48/69
99. Родино	6/20	11/29	9/11	7/7	64/87	73/100	58/79	47/64
100. Ключи	8/14	10/22	7/18	10/11	59/90	65/100	62/95	54/83
101. Волчиха	11/23	18/18	4/9	9/8	71/100	69/97	50/70	50/70
102. Белокуриха	9/14	9/32	3/23	2/8	59/77	76/100	62/81	45/59
103. Михайловский содокомбинат	13/16	11/21	7/12	11/9	66/100	66/100	56/84	54/81
104. Солонешное	19/11	14/20	4/16	6/10	65/94	69/100	55/79	51/73
105. Краснощеково	5/16	16/33	9/11	5/5	63/80	78/100	62/79	39/50
106. Рубцовск	9/28	20/26	2/7	2/6	75/94	79/100	47/59	41/51
107. Угловское	13/23	9/20	8/13	9/5	66/95	69/100	51/73	54/78
108. Змеиногорск	8/39	13/13	2/4	18/3	80/100	63/78	39/48	58/72
<i>Вариационно-статистические характеристики величин n и R</i>								
Минимум X_{\min}	5/7	4/13	2/4	2/3	52/72	60/78	39/48	29/34
Максимум X_{\max}	19/39	36/45	16/23	18/11	80/100	84/100	72/100	58/89

Продолжение прилож. 8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Среднее \bar{X}	9±1 16±3	13±2 28±3	6±1 12±2	18±2 7±1	65±2 90	72±3 100	59±3 81	46±6 64
Стандартное отклонение S	9,9/6,8	5,8/7,0	2,8/4,2	4,2/2,3	5,6/-	5,9/-	6,8/-	7,3/-
Коэффициент вариации V	35/44	45/25	44/34	56/32	8,8/-	8,2/-	12/-	16/-
Абсолютная ошибка среднего m_x	0,6/1,3	1,1/1,4	0,5/0,8	0,8/0,4	1,1/-	1,1/-	1,3/-	1,4/-
Относительная ошибка среднего $m_x\%$	6,7/8,5	8,6/4,9	8,4/6,5	11/6,1	1,7/-	1,6/-	2,3/-	3,1/-
Критерий Стьюдента $t_{\text{факт}} (t_{\text{табл}}=2,1)$	30/6,4	-/-	5,3/9,8	3,8/14	4,7/-	7,6/-	-/-	14/-
Наименьшая существенная разность $НСР_{05}$	2,7/4,0	-/-	2,6/3,3	2,9/3,0	3,3/-	3,7/-	-/-	3,0/-

Статистические характеристики районов Сев. Евразии, выделенных по ориентации относительно осей ветров показателя интегральной ветроломной эффективности лесополос R_{Π}

Статистические характеристики	Значения статистических характеристик по осям направлений ветра			
	С-Ю Ю-С	СВ-ЮЗ ЮЗ-СВ	В-З З-В	ЮВ-СЗ СЗ-ЮВ
1	2	3	4	5
<i>1E (ЮЗ-СВ). Прибалтийско-Печорский</i>				
R_{amin}	43	29	30	23
R_{amax}	85	87	77	84
$R_a \pm ts_r$	61±0,7	63±0,8	60±0,8	57±0,8
R_o	97	100	95	90
s	5,4	5,9	5,7	6,3
V	8,8	9,3	9,5	11,0
s_r	0,37	0,40	0,39	0,42
$s_r\%$	0,60	0,63	0,64	0,75
$t_f(t_t = 2)$	3,7	-	5,4	10,3
HCP ₀₅	1,1	-	1,1	1,2
N	67	106	55	20
$N/(\Sigma N = 248)$	0,27	0,43	0,22	0,08
<i>2E (Ю-С). Североευропейский</i>				
R_{amin}	41	40	38	43
R_{amax}	79	76	80	81
$R_a \pm ts_r$	63±0,4	61±0,4	58±0,5	59±0,4
R_o	100	97	92	94
s	4,9	4,7	5,4	4,6
V	7,7	7,7	9,4	7,8
s_r	0,22	0,21	0,25	0,21
$s_r\%$	0,35	0,35	0,43	0,36
$t_f(t_t = 2)$	-	6,6	15,0	13,2
HCP ₀₅	-	0,61	0,67	0,61
N	260	131	73	82
$N/(\Sigma N = 546)$	0,48	0,24	0,13	0,15
<i>2A (Ю-С). Северный Западно-Сибирский</i>				
R_{amin}	41	44	36	31
R_{amax}	81	77	80	74
$R_a \pm ts_r$	64±1,2	63±1,3	57±1,3	57±1,5

Продолжение прилож. 9

1	2	3	4	5
R_0	100	98	89	89
s	5,6	6,2	6,3	6,9
V	8,7	9,8	11,0	12,1
s_r	0,60	0,67	0,67	0,74
$s_r\%$	0,93	1,1	1,2	1,3
$t_f (t_t = 2)$	-	1,1	7,7	7,3
HCP ₀₅	-	1,8	1,8	1,9
N	50	25	7	8
$N/(\Sigma N = 590)$	0,56	0,27	0,08	0,09
<i>3E (ЮЗ-СВ). Среднепредуральский</i>				
R_{amin}	50	54	55	39
R_{amax}	68	79	71	66
$R_a \pm t_{s_r}$	59±2,3	69±2,9	63±2,1	50±3,4
R_0	86	100	92	72
s	5,1	6,4	4,8	7,1
V	8,6	9,4	7,6	14,6
s_r	1,1	1,4	1,0	1,6
$s_r\%$	1,9	2,0	1,7	3,2
$t_f (t_t = 2)$	5,6	-	3,5	8,9
HCP ₀₅	3,7	-	3,6	4,5
N	0	17	3	2
$N/(\Sigma N = 22)$	0	0,77	0,14	0,09
<i>3A (ЮЗ-СВ). Южный Западно-Сибирский</i>				
R_{amin}	34	45	39	29
R_{amax}	80	84	81	71
$R_a \pm t_{s_r}$	61 ±0,7	67 ±0,7	61 ±0,7	53 ±0,8
R_0	91	100	91	79
s	6,0	5,5	6,0	6,6
V	9,9	8,3	9,9	12,6
s_r	0,37	0,34	0,37	0,41
$s_r\%$	0,61	0,51	0,61	0,78
$t_f (t_t = 2)$	11,9	-	11,9	26,3
HCP ₀₅	1,0	-	1,0	1,1
N	44	184	51	7
$N/(\Sigma N = 286)$	0,15	0,65	0,18	0,02
<i>4E (З-В). Полесско-Центральночерноземный</i>				
R_{amin}	46	45	56	50

1	2	3	4	5
R_{amax}	65	67	75	72
$R_a \pm ts_r$	58±0,5	58±0,5	64±0,5	61±0,5
R_o	91	91	100	95
s	3,2	3,0	3,1	3,2
V	5,5	5,1	4,9	5,1
s_r	0,25	0,23	0,24	0,24
$s_r\%$	0,42	0,39	0,38	0,40
$t_f (t_t = 2)$	17,3	18,0	-	8,8
HCP ₀₅	0,69	0,66	-	0,68
N	13	11	120	48
$N/(\Sigma N = 192)$	0,07	0,06	0,62	0,25
<i>5E (ЮВ-СЗ). Окско-Донской</i>				
R_{amin}	49	55	57	60
R_{amax}	65	62	70	65
$R_a \pm ts_r$	60±3,7	58±1,8	61±3,0	62±1,4
R_o	97	94	98	100
s	4,7	2,4	4,0	1,9
V	7,8	4,2	6,6	3,0
s_r	1,6	0,80	1,3	0,63
$s_r\%$	2,6	1,4	2,2	1,0
$t_f (t_t = 2)$	1,2	3,9	0,69	-
HCP ₀₅	4,0	3,4	3,2	-
N	4	0	2	5
$N/(\Sigma N = 11)$	0,36	0	0,18	0,46
<i>6E (СЗ-ЮВ). Предкарпатский</i>				
R_{amin}	47	30	53	56
R_{amax}	72	64	76	84
$R_a \pm ts_r$	61±1,1	50±1,8	61±1,2	69±1,4
R_o	88	72	88	100
s	4,6	7,6	5,0	6,0
V	7,6	15,2	8,2	8,7
s_r	0,54	0,88	0,58	0,70
$s_r\%$	0,88	1,8	0,96	1,0
$t_f (t_t = 2)$	9,0	16,9	8,8	-
HCP ₀₅	1,8	2,2	1,8	-
N	11	0	6	61
$N/\Sigma N = 78)$	0,14	0	0,08	0,78

Продолжение прилож. 9

1	2	3	4	5
<i>7E (С-Ю). Причерноморский</i>				
R_{amax}	82	64	65	72
$R_a \pm ts_r$	67±2,2	59±1,4	53±2,6	61±1,6
R_o	100	88	79	91
s	6,1	3,7	7,5	4,4
V	9,0	6,2	14,0	7,2
s_r	1,1	0,66	1,3	0,8
$s_{r\%}$	1,6	1,1	2,5	1,3
$t_f (t_t = 2)$	-	6,1	8,2	4,4
HCP_{05}	-	2,6	3,4	2,7
N	25	5	1	2
$N/(\Sigma N = 33)$	0,76	0,15	0,03	0,06
<i>8E (СВ-ЮЗ). Западно-Крымский</i>				
R_{amin}	56	62	60	40
R_{amax}	62	77	65	59
$R_a \pm ts_r$	59±1,4	59±1,4	67±3,0	53±3,9
R_o	88	100	93	79
s	2,0	4,2	1,8	5,3
V	3,3	6,2	2,8	10,1
s_r	0,62	1,3	0,56	1,7
$s_{r\%}$	1,1	2,0	0,90	3,2
$t_f (t_t = 2)$	5,6	-	3,5	6,5
HCP_{05}	3,3	-	3,3	4,9
N	0	10	1	0
$N/(\Sigma N = 11)$	0	0,91	0,09	0
<i>9E (В-З). Южный европейский</i>				
R_{amin}	19	35	50	39
R_{amax}	73	77	92	82
$R_a \pm ts_r$	50±1,1	61±0,8	70±0,9	61±0,8
R_o	71	87	100	87
s	8,5	6,1	7,0	6,3
V	16,9	10,0	9,94	10,4
s_r	0,54	0,39	0,44	0,40
$s_{r\%}$	1,1	0,64	0,63	0,66
$t_f (t_t = 2)$	28,7	15,3	-	15,1
HCP_{05}	1,4	1,2	-	1,2
N	5	29	209	23
$N/(\Sigma N = 266)$	0,02	0,11	0,78	0,09

1	2	3	4	5
<i>9А (В-3). Прикаспийский</i>				
R_{amin}	34	45	52	53
R_{amax}	68	69	81	73
$R_a \pm ts_r$	54±1,4	58±1,1	67±1,2	63±1,1
R_o	81	87	100	94
s	5,8	4,6	4,9	4,6
V	10,8	7,9	7,2	7,4
s_r	0,71	0,56	0,59	0,56
$s_r\%$	1,3	0,97	0,89	0,90
$t_f (t_t = 2)$	14,1	11,1	-	4,9
HCP ₀₅	1,8	1,6	-	1,6
N	3	5	52	12
$N/(\sum N = 72)$	0,04	0,07	0,72	0,17
<i>10а (СВ-ЮЗ). Арало-Туранский</i>				
R_{amin}	41	42	36	38
1	2	3	4	5
R_{amax}	78	82	78	75
$R_a \pm ts_r$	60±1,6	66±1,6	61±1,6	54±1,9
R_o	91	100	92	82
s	6,4	6,3	6,4	7,4
V	10,6	9,5	10,4	13,8
s_r	0,82	0,81	0,82	0,96
$s_r\%$	1,4	1,2	1,3	1,8
$t_f (t_t = 2)$	5,2	-	4,3	9,6
HCP ₀₅	2,3	-	2,3	2,5
N	4	45	8	3
$N/(\sum N = 60)$	0,07	0,75	0,13	0,05
<i>11А (В-3). Центральный среднеазиатский</i>				
R_{amin}	29	55	49	41
R_{amax}	71	76	84	65
$R_a \pm ts_r$	53±3,8	64±2,0	68±3,2	57±2,2
R_o	78	94	100	84
s	10,7	5,9	9,0	6,0
V	20,1	9,3	13,3	10,7
s_r	1,9	1,0	1,6	1,1
$s_r\%$	3,5	1,6	2,3	1,9

Продолжение прилож. 9

1	2	3	4	5
$t_f (t_t = 2)$	6,0	2,1	-	5,7
HCP ₀₅	5,0	3,8	-	3,9
N	6	7	22	2
$N/(\Sigma N = 37)$	0,16	0,19	0,60	0,05
<i>12А (СВ-ЮЗ). Прибалхашский</i>				
R_{amin}	43	43	49	32
R_{amax}	75	81	76	75
$R_a \pm ts_r$	61±4,2	70±6,1	63±3,6	47±6,3
R_o	87	100	90	67
s	7,9	11,1	6,6	11,8
V	12,8	15,8	10,5	24,8
s_r	2,0	2,9	1,7	3,0
$s_r\%$	3,3	4,1	2,7	6,4
$t_f (t_t = 2)$	2,6	-	2,1	5,5
HCP ₀₅	7,4	-	7,1	8,8
N	1	23	1	2
$N/(\Sigma N = 16)$	0,06	0,75	0,06	0,13
<i>13А (С-Ю). Предалтайский</i>				
R_{amin}	67	35	33	37
R_{amax}	83	81	60	78
$R_a \pm ts_r$	75±4,8	63±12	47±7,4	57±11
R_o	100	84	63	76
s	5,6	13,7	8,7	12,9
V	7,5	21,8	18,6	22,7
s_r	2,0	4,8	3,1	4,6
$s_r\%$	2,6	7,7	6,6	8,0
$t_f (t_t = 2)$	-	2,3	7,6	3,6
HCP ₀₅	-	12,5	8,9	12,0
N	6	1	0	1
$N/(\Sigma N = 8)$	0,75	0,125	0	0,125
<i>14А (СЗ-ЮВ). Каракумский</i>				
R_{amin}	48	37	40	47
R_{amax}	75	73	74	78
$R_a \pm ts_r$	63±4,6	54±5,5	58±4,6	66±4,8
R_o	95	82	88	100
s	9,0	10,5	9,0	9,5

1	2	3	4	5
V	14,4	19,4	15,5	14,3
s_r	2,2	2,6	2,2	2,3
$s_{r\%}$	3,5	4,7	3,8	3,5
$t_f (t_t = 2)$	0,94	3,5	2,5	-
HCP_{05}	6,7	7,3	6,7	-
N	5	2	0	10
$N/(\Sigma N = 17)$	0,29	0,12	0	0,59

Примечание. В шифре района арабским числом обозначен номер района, литерами Е и А соответственно европейский и азиатский подрайоны. В обозначении осей ветров первым указан преобладающий румб. N – число метеостанций с преобладанием соответствующей оси в районе. $R_a = R_{абс}$, $R_o = R_{отн}$, $t_f = t_{факт}$, $t_t = t_{табл}$; все статхарактеристики приняты по Б. А. Доспехову [133]: s – основное отклонение, V – коэффициент вариации, s_r – ошибки оценок среднего арифметического.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	220
Глава 1. ЭВОЛЮЦИЯ ЭРОЗИОННО-ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ ПРОТИВОЭРОЗИОННОЙ ЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ.....	222
1.1. Антропогенная модификация факторов эволюции эрозионно-гидрологического процесса.....	222
1.2. Общие тенденции антропогенной эволюции эрозионно-гидрологического процесса.....	228
1.2.1. Эволюция ландшафтов при скотоводстве и земледелии.....	229
1.2.2. Естественный эрозионный процесс и его антропогенная эволюция.....	236
1.3. Противоэрозионная лесомелиорация и специфика эрозионно-гидрологического процесса.....	244
1.3.1. Эрозионно-гидрологический режим в современных лесных насаждениях	244
1.3.2. Локальная стокорегулирующая функция полосных лесонасаждений при подтоке.....	280
1.3.3. Пространственная стокорегулирующая функция лесонасаждений	325
1.4. Антропогенная эволюция эрозионно-гидрологического процесса и система почвоводоохранных мероприятий.....	332
1.4.1. Общая стратегия антропогенного управления эрозионно-гидрологическим процессом.....	332
1.4.2. Эффективность антропогенных приемов управления эрозионно-гидрологическим процессом.....	338
2. РАСЧЕТ ВЕТРОЛОМНЫХ И ПРОТИВОЭРОЗИОННЫХ ЛЕСОПОЛОС.....	360
2.1. Критерий предельной крутизны склона.....	360
2.2. Направление ветра и ветроломная эффективность.....	363
2.3. Повторяемость и вредоносность ветров.....	367
2.4. Оценка интегральной ветроломной эффективности лесополос	374
2.4.1. Особенности ветрового режима отдельных районов...	375
2.4.2. Районирование ветроломной эффективности лесополос	386
2.5. Расчет противоэрозионных лесополос.....	394

Глава 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЛЕСОМЕЛИОРАТИВНЫХ ПРОТИВОЭРОЗИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ.....	400
3.1. Размещение и трассирование противоэрозионных лесополос на склонах.....	401
3.2. Основные положения системы автоматизированного проектирования (САПР) противоэрозионных мероприятий.....	409
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	417
ЛИТЕРАТУРА.....	421
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	448

В. П. Борец

**ФИТОМЕЛИОРАЦИЯ
СКЛОНОВЫХ
ЗЕМЕЛЬ**

Орел, 1998 г.

484

ББК 40.64

Б – 82

В. П. Борец.

«Фитомелиорация склоновых земель».

Редактор-издатель В. М. Лебедин, 1998 г., с. 372.

Настоящая книга является сборником статей преимущественно В. П. Борца и его коллег. Представленный в книге материал – емкое научное изложение влияния комплекса мероприятий, проведенных на Новосильской зональной агролесомелиоративной опытной станции им. А. С. Козменко и позволивших повысить содержание гумуса в средне- и сильноосмытых почвах с 1,5-2,0 до 3-3,5 %. В книге содержится значительный научный и практический опыт, который будет полезен для ученых и практиков, преподавателей и студентов сельскохозяйственных вузов, проектных организаций.

ISBN 5-900849-02-3 I

© Л. А. Борец, А. Д. Задорин, В. М. Лебедин.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Н. А. ВОЛОДИН: ПРЕДИСЛОВИЕ К КНИГЕ В. П. БОРЦА.....	487
А. Д. ЗАДОРИН: ОТ СОСТАВИТЕЛЯ	490
1. АГРОЛАНДШАФТНАЯ РОЛЬ ЛЕСОНАСАЖДЕНИЙ.....	491
1.1. Лесонасаждения – каркас ландшафтного земледелия.....	491
1.2. Из истории полезащитного лесоразведения.....	497
1.3. Агротехнические опыты в системе лесополос.....	504
2. НОВОСИЛЬСКАЯ ЗОНАЛЬНАЯ АГРОЛЕСОМЕЛИОРАТИВ- НАЯ СТАНЦИЯ им. А. С. КОЗМЕНКО ВСЕРОССИЙСКОГО НИИ АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ.....	507
2.1. Почвенно-климатические условия Новосильской ЗАГЛОС.....	507
2.2. Почвенно-климатические условия Новосильской ЗАГЛОС.....	512
2.3. Опытные насаждения на гидрографическом и присетевом фондах Коренной берег р. Зуши.....	520
Глубковский суходол.....	553
Жердевский суходол.....	559
2.4. Оттеняющие насаждения.....	575
2.5. Кольматирующие насаждения.....	579
2.6. Полезащитные лесные полосы.....	582
2.7. Снегосборные и снегораспределительные лесные полосы.....	588
2.8. Насаждения на водосборе с валами и канавами.....	599
2.8. Насаждения на водосборе с валами и канавами.....	601
3. ФИТОМЕЛИОРАЦИЯ СКЛОНОВЫХ ЗЕМЕЛЬ.....	605
3.1. Водорегулирующая и противоэрозионная роль лесных насаждений	605
3.2. Гидрологическая и противоэрозионная функции защитных лес- ных насаждений в сочетании с водоудерживающими валами и канавами.....	613
3.3. Рост лесных насаждений.....	625
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	627
ЛИТЕРАТУРА.....	634

Н. А. Володин,
Председатель Орловского
областного Совета
народных депутатов.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В вопросах создания оптимального ландшафта и защиты почв от водной эрозии трудно переоценить роль Новосильской зональной агролесомелиоративной опытной станции, созданной в Орловской области в 1921 году как опытно-овражная станция. В 1996 году Новосильская ЗАГЛЮС отметила 75-летие. Из них 17 лет ее возглавлял крупный специалист и энтузиаст фитомелиорации Валентин Павлович Борец, сумевший продолжить добрые традиции первого её директора А. С. Козменко.

Основными направлениями исследований в начале пятидесятых годов явились разработки способов выращивания защитных лесных насаждений (Н. Д. Брауде), агротехнических мероприятий для повышения урожаев на эродированных землях (Т. Ф. Антропов), способов хранения и предпосевной обработки семян древесных пород (Т. Г. Глыбин), фитомелиорации прудов (А. С. Козменко), способов по борьбе с размывами берегов и заилением водохранилищ (А. С. Козменко, Т. Г. Глыбин). С 1955 г. начаты исследования лесоводственных мер ухода в противоэрозионных насаждениях (В. А. Каргов), создания кормовой базы на эродированных землях (Т. Г. Глыбин), мелиоративных свойств защитных лесных насаждений (Г. А. Харитонов).

С 1957 по 1974 г. общее научно-методическое руководство на Новосильской ЗАГЛЮС осуществлял Г. П. Сурмач. В этот период руководителями тем были Г. И. Сурмач, Л. И. Расторгуев, В. А. Каргов, Е. А. Гаршинев, А. Т. Барабанов. Главными направлениями исследований были познание факторов стока и смыва, оценка отдельных противоэрозионных способов защиты почв от эрозии, разработка и совершенствование противоэрозионной агротехники. Велись исследования способов лугомелиорации (Т. Г. Глыбин), повышения мелиоративной роли

лесонасаждений (В. А. Каргов, Б. И. Кочергин), облесения оврагов и балок (И. Ф. Дмитриев, С. Н. Кожин, В. Н. Дьяков), сидерации смытых почв (Н. Н. Павлова, М. В. Горунова, Л. Я. Королева) и др.

Исследования влияния систем ЗЛН в комплексе с другими противоэрозионными мероприятиями на уменьшение поверхностного стока и эрозии выполнены в 1962-1975 гг. В. Л. Суховым, Л. Я. Королевой, А. Т. Барабановым, Е. Я. Тубольцевым, М. М. Ломакиным, А. И. Петелько, Н. Е. Богулиной, Т. Г. Глыбиным. Разработкой способов выращивания ЗЛН на эродированных землях в этот же период занимались Н. Е. Новиков, М. Т. Зинина, А. Н. Молоканов.

Научно-методическое руководство исследованиями на Новосильской ЗАГЛОС с 1976 г. осуществляет заведующий отделом защиты почв от эрозии ВНИАЛМИ И. Г. Зыков. Руководителями тем в этот период были И. Г. Зыков, В. М. Ивонин (до 1983 г.), Е. А. Гаршинев (с 1982 г.), Л. Т. Барабанов (с 1984 г.).

В 1979 году директором станции направлен В. П. Борец. При нем круг изучаемых вопросов на станции значительно расширился. Помимо традиционной противоэрозионной тематики начато изучение вопросов регулирования численности энтомофитов (Т. С. Бурдаева), лесоводственных уходов за ЗЛН (Н. Е. Новиков), выращивания полевых защитных лесных полос (Н. А. Шумарин), лесорастительных условий эродированных земель (Ю. Н. Коблев, Г. В. Апыхтин), теплового баланса и энергетического режима территории с системами ЗЛН (Г. И. Дурнев, А. И. Петелько), почвозащитной роли элементов и комплекса противоэрозионных мероприятий (В. П. Борец, Н. Е. Петелько, В. И. Вялов, Е. Я. Тубольцев), экономической эффективности ЗЛН (Н. В. Астафьев, А. Г. Реус), лесосырьевой продуктивности ЗЛН (Н. Е. Новиков), противоэрозионной устойчивости почв (Г. И. Васенков), влияния ЗЛН на перераспределение радионуклидов (В. П. Борец, Т. С. Бурдаева).

Проведены исследования, закончившиеся составлением рекомендаций производству, по контурной организации территории хозяйств начаты исследования роли ЗЛН в условиях земледелия на ландшафтной основе.

Крупным вкладом в развитие эрозионных исследований стал предложенный Е. А. Гаршиневым и другими способ изучения эрозионных процессов на микроделянках с регулируемым поступлением на них поверхностного стока, признанный изобретением (а. с. 886766), который значительно сократил сроки исследований.

Важным направлением совершенствования системы противоэрозионных мероприятий стал способ расчета смыва почвы (а. с. 1449905, авторы Е. А. Гаршинев, А. Т. Барабанов, И. Г. Зыков, Г. И. Бахирев), обеспечивающий не только инженерный расчет противоэрозионных мероприятий, но и его выполнение на ЭВМ в автоматическом режиме.

Результаты исследований на Новосильской ЗАГЛОС стали основой ряда кандидатских и докторских диссертаций Г. П. Сурмача, А. Т. Барабанова, Е. А. Гаршинева.

Основные результаты исследований Новосильской ЗАГЛОС опубликованы в монографиях А. С. Козменко («Основы противоэрозионной мелиорации», 1954; «Борьба с эрозией почв», 1954), Г. П. Сурмача («Водорегулирующая и противоэрозионная роль насаждений», 1971, «Водная эрозия и борьба с ней», 1976; «Рельефообразование, формирование лесостепи, современная эрозия и противоэрозионные мероприятия», 1992), М. И. Долгилевича, Г. И. Швевса, И. Г. Зыкова («Научные основы прогнозирования и система предупреждения эрозионных процессов», 1992), А. Т. Барабанова («Агролесомелиорация в почвозащитном земледелии», 1993), Н. Е. Новикова, Е. С. Павловского, В. П. Борца, («Защитные насаждения Новосильской ЗАГЛОС», 1995), сборник научных трудов ВНИАЛМИ «Лесомелиорация Центрального Нечерноземья», 1991 г., других сборниках и бюллетенях ВНИАЛМИ, многочисленных научных статьях сотрудников опытной станции института.

ОТ СОСТАВИТЕЛЯ

В 1996 году аграрная научная общественность и практики лесоводы торжественно отметили 75-летие Новосильской зональной агролесомелиоративной опытной станции (НАГЛОС) Всероссийского НИИ агролесомелиорации, широко известной в России, странах СНГ и других зарубежных государствах работами по противоэрозионной лесомелиорации, начатыми выдающимся эрозиоведом А. С. Козменко, имя которого носит эта станция.

17 лет (1979-1996 гг.) ее возглавлял Валентин Павлович Борец, достойный последователь Алексея Семеновича. Жизнь его оборвалась неожиданно. Осталась масса недоделанных начинаний, в т.ч. и проведение научной конференции, посвященной юбилею станции, и докторская диссертация по защите почв от эрозии – дело, которому посвящена была жизнь.

Проблема защиты почв от эрозии встала перед Валентином Павловичем сразу после окончания института, когда молодой агроном начал трудовую деятельность в совхозах Волгоградской области на землях, подверженных водной эрозии. Эта проблема позвала его в аспирантуру, потом и на Новосильскую ЗАГЛОС.

Автору этих строк приходилось много раз обсуждать готовящуюся монографию – докторскую диссертацию, рукопись которой не сохранилась. Настоящая монография, составленная на основании опубликованных работ, явилась, в какой-то мере, отражением впечатлений этих обсуждений. Это не избранные, труды, а цельная работа, обобщающая (естественно не в полной мере) научную деятельность Валентина Павловича Борца.

Приношу искреннюю благодарность директору ЗАГЛОС А. И. Петелько, заместителю директора ВНИАЛМИ А. Т. Барабанову за помощь в сборе опубликованных В. П. Борцом работ.

А. Д. Задорин,
чл. корр. РАСХН,
академик РЭА

1. АГРОЛАНДШАФТНАЯ РОЛЬ ЛЕСОНАСАЖДЕНИЙ

1.1. Лесонасаждения – каркас ландшафтного земледелия

Охрана земли, повышение ее плодородия – неперемное условие дальнейшего прогресса в сельском хозяйстве. Это крупнейшая государственная проблема. Защита почв – это дело всего нашего общества. Любую порчу земли следует рассматривать как антиобщественный поступок.

Земли южной части Центрального района России в пределах Среднерусской возвышенности относятся к числу эродированных. Это обусловлено как природными условиями, так и антропогенной деятельностью. Около 60 % территории региона имеют уклон $0,05^\circ$, а коэффициент расчленённости территории древней гидрографической сетью равен $0,8-1,4$ км/км². Геологическое строение местности отличается тем, что поверх твердых коренных пород, трудно поддающихся размыву (девонские известняки), залегает толща рыхлых песчано-глинистых грунтов.

Эрозия почв – это, по выражению А. С. Козменко, болезнь земли. Она подобна раковой опухоли, исподволь разрушающей естественное плодородие склоновых земель и, в конечном счете, приводящей к резкому снижению их продуктивности. Вред, причиняемый эрозией, выражается в смыве и размыве почв и почвогрунтов и в уменьшении пахотнопригодной площади; в истощении почвенного плодородия, снижении урожаев сельскохозяйственных культур; и заилении рек, прудов и водоемов, в дренаже и иссушении территории.

Интенсивному развитию эрозионных процессов способствовали низкая культура земледелия и безжалостная вырубка лесов в дореволюционное время. Например, по данным М. А. Цветкова, с 1790 по 1914 гг. лесистость Орловской губернии уменьшилась с 29,8 до 17,2 %. Бессистемная вырубка лесов продолжалась в годы империалистической и гражданской войн и в последующие за ними годы хозяйственной разрухи, а также в период временной немецкой оккупации. В 1961 году лесистость области составляла всего 6,5 %. В насто-

ящее время она равна 9,1 % при самой высокой в регионе распаханности территории 72 %. Вследствие указанных причин в области имеется около 1 млн. га смытых почв, или 41 % всей пашни.

Наиболее опасен смыв почвы. Если на поле в 100 га возник овраг, предположим, глубиной и шириной в один метр, то объем грунта, вынесенного за пределы участка, составляет 500 кубометров. Возникновение такого оврага сразу же будет замечено работниками сельского хозяйства. Но если на этом же поле будет смыто только 5 мм верхнего слоя почвы, а это можно определить только при условии проведения тщательнейших исследований, то потери почти неощутимы. Но они обязательно скажутся в процессе дальнейшей эксплуатации земли.

Современная эрозия почв – это продукт деятельности человека. Ее пагубное воздействие нередко усиливается из-за неправильного использования склоновых полей, т. е. вследствие несоблюдения мероприятий по предотвращению стока талых и ливневых вод. Сама по себе водная эрозия не исчезает. Но ее можно свести к минимуму или полностью ликвидировать, а также восстановить разрушенное плодородие почв или предупредить само возникновение эрозии при проведении комплекса противоэрозионных мероприятий, разработанного Новосильской ЗАГЛОС и внедренного в нашем опытном хозяйстве.

Он включает в себя должную организацию территории, агротехнические, лесомелиоративные, лугомелиоративные приемы и гидротехнические сооружения. Применение комплекса позволило на наиболее эродированной ранее в области территории приостановить процессы эрозии почв.

В настоящее время вследствие ряда причин во многих хозяйствах наблюдается тенденция снижения запасов гумуса в почве. В опытном же хозяйстве на большинстве мелиорированных участков произошло увеличение содержания гумуса на 1,5 процента.

Для организации системы защиты почвы требуется правильная оценка водорегулирующей и противоэрозионной эффективности отдельных ее элементов. Недооценка одних приемов и переоценка других может лишь затормозить важное дело. Поэтому здесь не должно быть упрощенчества, в частности, попыток решения проблемы при помощи какого-либо одного из запланированных мероприятий. Например, широкое применение одних водозадерживающих валов у вершин оврагов, изымающих из оборота значительную земельную площадь, может дать лишь частичный положительный результат по

уменьшению оврагообразования. Но смыв почвы при этом несколько не уменьшается. Кроме того, сами валы быстро заиливаются. Следует отметить, что строительство валов – это излюбленный прием многих землеустроителей. Но, поглощая огромные средства, он обеспечивает очень малый производственный эффект и подменяет настоящую борьбу по защите почв лишь ее видимостью.

Уже в первое время были закончены работы по землеустройству в шести районах области. Они включили в себя проведение противоэрозионных мероприятий на землях всех категорий, независимо от их назначения и хозяйственного использования. При этом была поставлена задача рационального использования земли, защиты почв от эрозии, повышения их плодородия и высокопроизводительного использования техники.

Противоэрозионная организация должна соответствовать рельефу и учитывать степень смывости почвы. Склоны крутизной до 3-4° со слабо и среднесмытыми почвами следует отводить под полевые, кормовые и специальные севообороты. На более крутых склонах с сильносмытыми почвами ведущее место в структуре севооборота должны занимать культуры сплошного сева. В отдельных случаях проводится залужение площадей многолетними травами с полосным размещением лесных насаждений. Лесные полосы, представляющие собой каркас противоэрозионных мероприятий, следует располагать вдоль горизонталей при спрямлении их на ложбинах. Дорожную сеть необходимо размещать по межбалочным водоразделам. Для предотвращения размыва кюветов проводится залужение их многолетними травами, а также устраиваются распылители стока. Несоблюдение правил организации территории может привести к серьезным разрушениям почвенного покрова.

Важнейшей составной частью противоэрозионного комплекса являются лесомелиоративные мероприятия. По данным инвентаризации 1975 г. в Орловской, Тульской, Брянской и Рязанской областях имелось 201049 га или 80 % защитных насаждений Центрального района. Породный состав их представлен преимущественно дубом – 18,8 %. Березовые насаждения занимали 15,9 %, хвойные – 56,8 %, остальные породы – 8,5 %. Полезащитные и водорегулирующие лесные полосы составляли 20,7 %, приовражные и прибалочные – 30,4 %, насаждения по откосам, берегам, днищам оврагов и балок и на других неиспользуемых в сельскохозяйственном производстве землях – 41,3 %, другие виды защитных насаждений – 7,6 %.

Опыты показали, что лесонасаждения способствуют сокращению стока и переводу его во внутригрунтовый, предохраняют почву от смыва, сохраняют на полях снег, повышают урожайность сельскохозяйственных культур, предохраняют озимые и травы от вымерзания, а также являются кладовой грибов, плодов, лекарственного сырья. Лесные насаждения как огромный фильтр очищают атмосферу от пыли и различных аэрозолей, насыщают воздух полезными для здоровья человека отрицательными ионами, перерабатывают углекислый газ, пополняют запасы кислорода в воздухе.

Агрономы, однако, часто недооценивают роль лесных полос, считая, что они мешают применению на полях высокопроизводительной техники. С этим нельзя согласиться. Известно, например, что размещение лесных водорегулирующих полос через 300-400 метров друг от друга не снижает существенно производительности машин на всех видах полевых работ.

Велика природоохранная роль защитных лесных насаждений. Исследованиями станции установлено, что при внесении удобрений наблюдается вынос питательных элементов с тальми водами в реки и водоемы в дозах, опасных для окружающей среды. Лесные полосы, поглощая в себе до 50 мм стекающей с полей снеговой воды, сокращают вынос питательных элементов, пестицидов и гербицидов до минимума.

Воздавая должное «зеленому другу», сотрудники станции вместе с тем считают, что все хорошо в меру и при создании противоэрозионных комплексов лесным насаждениям должно отводиться не более 12-14 процентов территории. По гидрографической сети под них следует выделять только те участки, которые нельзя использовать в сельскохозяйственном производстве. На остальной площади балок необходимо проводить коренное и поверхностное улучшение лугов – основного источника естественного корма.

Остановлюсь кратко на агротехнических мероприятиях по борьбе с эрозией почв. Экспериментальными исследованиями станции установлено, что основным из них, обеспечивающим задержание талых вод на полях, является глубокая осенняя обработка почвы. Положительное влияние ее на инфильтрацию талых вод объясняется более быстрым просачиванием вглубь атмосферных осадков в осенний период за пределы зоны раннего промерзания, в связи с чем уменьшается возможность образования льда в пахотном горизонте и в зоне подошвы.

Однако при установлении глубины и способа обработки нельзя не считаться с типом и степенью смывистости почвы.

На дерново-подзолистых и светло-серых, слабо- и среднесмытых почвах углубление пахоты сопровождается вовлечением в пахотный слой подзолистого и оподзоленного горизонтов, обладающих кислой реакцией и неблагоприятными воднофизическими и химическими свойствами. Поэтому углубление должно проводиться постепенно и с обязательным внесением больших доз органических, минеральных удобрений и известкованием. На сильносмытых почвах этих разностей вспашку лучше проводить с почвоуглублением без выворачивания на поверхность материнской породы, сочетая обработку почвы с внесением удобрений и известкованием. На слабосмытых темно-серых лесных почвах и оподзоленных черноземах можно производить вспашку на глубину 27-30 см. На сильносмытых почвах лучше применять вспашку с почвоуглублением. Как показали многолетние исследования, поделка микрорельефа на зяби не оказывает существенного влияния на уменьшение стока талых вод.

В последнее время возрос интерес к плоскорезной обработке почвы в связи с ее гидрологической и противозерозионной ролью. Станция в течение ряда лет изучала эффективность глубокой (на 25-27 см) обработки почвы плоскорезом глубокорыхлителем КПП-250 и установила, что сток талых вод при этом не снижается. Однако урожаи зерновых оказываются несколько меньшим, чем при обычной вспашке. Возрастает также засоренность посевов!

На наш взгляд, заслуживает внимания плоскорезная обработка почвы под озимые агрегатом КПП-2,2 на глубину 14-16 см. Размещая озимые в большинстве случаев по стерневым поздноубираемым предшественникам, мы при отвальной обработке зачастую не можем добиться хорошей, без комьев, подготовки почвы. Применение культиваторов-плоскорезов КПП-2,2 позволяет резко повысить производительность почвообрабатывающих агрегатов, сократить затраты и надлежащим образом подготовить площади под озимые.

Земледелие на склонах должно вестись разумно, творчески, с учетом состояния почв каждого участка, а также погодных условий. Отмечено, что в засушливом году на тех участках, где семена были заделаны не глубоко, почти поверхностно, на посевах ячменя, овса наблюдался очень сильный подгон и хозяйственники стояли перед дилеммой: убирать ли основную культуру или ждать, пока созреет подгон, которого значительно больше? Поэтому оптимальная глубина заделки семян во многом определяет будущий урожай. Многие агро-

номы опасаются, и напрасно, прикатывания посевов. Чем раньше мы получим дружные, с оптимальной густотой всходы, тем меньше будет опасность повреждения посевов эрозией. Следует как можно реже применять на склоновых землях посевные агрегаты с колесными тракторами. Будучи агрегатированными с одной сеялкой, они очень уплотняют почву по следу, при этом семена заделываются в почву некачественно и существует опасность концентрации стока, разрушения почвы в колее машины.

Установлено, что весной после многоснежной зимы, как это имело место в 1980 году, почва в значительной степени уплотняется. Поэтому агрономы должны быть готовы к дополнительной обработке почвы, необходимой для обеспечения лучшей заделки семян.

Решающим средством повышения и восстановления плодородия эродированных земель и получения на них высоких урожаев является рациональное применение органических и минеральных удобрений. Особенно следует быть осторожным при внесении удобрений по берегам балок. Его следует проводить дифференцировано: вначале на инсолируемых берегах, а затем, после схода снега, на теневых.

Большую роль в охране почв от смыва играют травы. Хороший травостой по балкам и прилегающим к ним присетевым землям предохраняет их от разрушающего действия стекающей воды; на травах происходит отложение мелкозёма, вынесенного с полей. Новосибирской ЗАГЛОС разработаны способы коренного и поверхностного улучшения естественных пастбищ, освоена технология создания и использования травостоя на долголетних культурных пастбищах (ДКП). Только за пять лет (1976-1980 гг.) урожай зеленой массы трав, полученных с ДКП, составил 318 ц/га, со склонов балок также 318 ц/га и с прилегающих смытых земель 321 ц/га. В связи с этим приходится только сожалеть, что несмотря на значительный эффект, работы по улучшению естественных лугов в области идут крайне медленно и в недостаточных масштабах.

Ученые нашей станции накопили немалый опыт повышения продуктивности естественных кормовых угодий и готовы оказать действенную помощь руководителям хозяйств, занимающихся решением проблемы обеспечения общественного поголовья кормами.

В заключение необходимо подчеркнуть, что наибольший эффект в борьбе с эрозией почв достигается только при применении комплекса противоэрозионных мероприятий: организационных, агротехнических, лесолугомелиоративных и гидротехнических.

Применение этого комплекса позволяет сократить сток; на водосборе на 30-50 мм, резко снизить или полностью предотвратить смыв почвы, в значительной степени повысить продуктивность сельскохозяйственных угодий.

Этим проблемам и посвящена работа, представляющая собой изложение многолетних исследований Новосильской ЗАГЛОС ВНИАЛМИ.

1.2. Из истории полезащитного лесоразведения

Россия является не только родиной продуманного, целенаправленного лесоразведения вообще, но и в частности, – защитного лесоразведения. Нашей науке принадлежит приоритет в научно-техническом обосновании преобразующей роли леса и разработке агротехники создания лесных насаждений в тяжелых лесорастительных условиях степи. Передовые русские ученые давно обратили внимание на благотворное влияние полосного лесоразведения. В знойное время лесные полосы в степях ослабляют сухие ветры и снижают испарение воды растениями и почвой. Зимой они задерживают снег на полях, весной приостанавливают сток снеговой, а летом дождевой воды, тем самым, увеличивая запас почвенно-грунтовой влаги, служащий резервуаром для снабжения сельскохозяйственных растений водой. Первые защитные лесные насаждения для полей появились у нас более 200 лет назад. Вначале они создавались в степи, вокруг усадеб и городов. Вскоре посадки леса в виде живых изгородей стали создаваться и на полях. (Володин, 1996).

И XVIII в. русский экономист И. Т. Посошков горячо ратовал за посевы и выращивание леса вокруг степных деревень. На возникновение водной и ветровой эрозии на обезлесенных пространствах обращал внимание М. В. Ломоносов. Основоположник отечественной агрономии А. Г. Болотов выдвинул идею о связи сельского хозяйства с лесными угодьями и необходимости защиты полей лесопосадками. В следующем столетии прогрессивные землевладельцы В. Я. Ломиковский, Скаржинский, Данилевский, Н. И. Шатилов и другие успешно выращивали в своих имениях агролесомелиоративные насаждения.

Известный естествоиспытатель, агроном, лесовод, ученый, бывший управляющий имением Шатиловых в селе Моховом Орловской области – Франц Христианович Майер с 1821 года начал искус-

ственную посадку леса. До 1853 года Майером было посажено 83 десятины леса в урочищах Колок и Курдлевский Верх. Иосиф Николаевич Шатилов до 1889 года с помощью С. Д. Носкова посадил ещё 153 десятины в урочищах Черников, Крюки, Щигры, Круглый, Казинский Верх и других местах.

Иосиф Николаевич впервые заложил основу полезащитным посадкам, обсаживая бока оврагов и балок по границам полей, в то время Майер сажал лес компактными небольшими площадями на неудобьях. Работу по лесоразведению после смерти Иосифа Николаевича продолжил его младший сын Иван Иосифович, который до 1893 года посадил 60 десятин в урочищах Черников, Дубрава, Мельников Верх и других местах. Иван Иосифович в 90-х годах начал сажать и полезащитные полосы, которые велись вокруг полей и по самим полям узкими полосами по пашне, сообразуясь с господствующими ветрами и высотой местности, где они закладываются.

Многолетний опыт моховских посадок выработал чрезвычайно ценную в условиях лесостепи систему лесоразведения не большими сплошными лесными массивами, под которые неизбежно уходило бы значительное количество пашни, а перелесками, в 10-80 гектаров, расположенными преимущественно на неудобных землях (склоны балок, оврагов и тому подобное). Между ними лежали пахотные поля, по границам которых проходили дополнительные полезащитные лесополосы.

Н. И. Шатилов в 1893 году в книге «70-летний опыт искусственного лесоразведения на черноземах» описал влияние двухрядной елово-лиственничной полосы на ветер и снегоотложение. Он отмечал, что умеряющее влияние полос на силу ветра распространяется на расстояние до 200 саженей. Снежный покров, по его замерам, колебался под лесами от 9 до 18 вершков, причем, влияние леса простиралось от 80 до 240 и даже 300 саженей. На открытых местах тот же покров равнялся 3-4 и 5 вершкам. Н. И. Шатилов обратил внимание на неравномерность в залегании снега на лесных опушках и полях. Особенно тщательно учитывал он урожай на защищенных полях и в степи. По его подсчетам, прибавка урожая составляла 48 пудов пшеницы на десятину. Под защитой насаждений урожай отмечался не только в сухие годы, но и дождливые. Длительные, в основном визуальные, наблюдения за лесными полосами и их влиянием на отдельные элементы микроклимата позволили Н. И. Шатилову сделать выводы, которые и до настоящего времени не утратили своего значения. Так,

защитные полосы он рекомендовал размещать по господствующим местам, по местным водоразделам. Защитные полосы, по его мнению, должны состоять из деревьев высокоствольных, с большими кронами и не быть слишком широкими и чрезмерно густыми.

В. Я Ломиковский создал за 50 лет на полях и сенокосных угодьях насаждения из высокоствольных деревьев, он в крайне засушливые годы получал хороший урожай. Впервые он указал на то, что на полях между «древесными оградами» посевы дают всходы раньше, гораздо гуще и ровнее, чем на открытых участках. В 1843-1844 гг. Министерство государственных имуществ России заложило ряд степных лесничеств, в том числе Велико-Анадольское, где лесопосадками руководил В. Е. Графф. К середине XIX в. Россия уже имела 26 тысяч десятин искусственных насаждений в степи. В 1858 г. профессор ботаники М. Е. Черняев говорил, что губительное влияние суховея единственно может быть устранено лесными насаждениями. В 1883 году профессор И. А. Стебут предлагал зерновым хозяйствам юга и юго-востока России создавать, где только возможно, пруды и лесные насаждения.

Большую роль в развитии полезащитного лесоразведения сыграли работы В. В. Докучаева, П. А. Костычева, Д. А. Измаильского, К. А. Тимирязева и других видных ученых. Они научно обосновали возможность преодоления стихийных сил природы в степях путем рационального ведения сельского хозяйства, при этом первоочередное значение в общем комплексе мероприятий по борьбе с засухой придавалось защитному лесоразведению. Д. И. Менделеев (1954 г.) считал вопрос посадки лесов в южных степях России очень важным. Защиту полей от губительного воздействия ветров он сравнивал с задачей обороны страны. «Работа в этом направлении настолько важна для будущего России, – писал ученый, – что считаю ее однозначней с защитой государства, а поэтому полагаю, что было бы возможно принять особо сильные меры для этой цели как земские, так и общегосударственные свойства». К. А. Тимирязев (1893 г.) писал о том, что обсадкой полей деревьями ставится преграда ветру и тем самым ослабляется его иссушающее действие. Большое значение снежному покрову придавал П. А. Костычев (1951). Отвечая на вопрос, каким путем можно содействовать накоплению на полях снега, он указывал на полезность разведения живых изгородей и опушек из древесных пород.

После губительной засухи 1891 г., охватившей весь черноземный юг России, царское правительство было вынуждено изучить спо-

собы улучшения водного режима черноземных степей. С этой целью была организована под руководством В. В. Докучаева специальная экспедиция. Впоследствии, когда при Лесном департаменте была организована особая экспедиция для изучения природы степей и разработки мер борьбы с засухой под руководством проф. В. В. Докучаева, полезное лесоразведение было поставлено на научную основу. В общем проекте опытных работ экспедиции в 1893 году В. В. Докучаев сформулировал теоретические положения агролесомелиорации. В краткой форме эти положения сводятся к следующему:

1. Насаждения леса в степи – по водоразделам, перевалам и вообще наиболее открытым пространствам, в виде полос и лент различной ширины для защиты посевов сельскохозяйственных культур от сильных ветров, засухи, суховеев, уменьшения испарения почвенной влаги, более правильного распределения снежного покрова и «накопления в желаемых местах снежных масс как магазинов влаги», поднятия уровня грунтовых вод, повышения влажности воздуха и почвы. Посадки эти могут быть разного назначения:

а) защитные лесные полосы шириной 40-100 м и более против вредного действия ветров и для накопления снега с расположением через 400-600 м;

б) снегосборные опушки шириной 10-40 м размещаются на равнинах и некрутых склонах параллельно и перпендикулярно основным защитным полосам, или вокруг степных котловин, по перегибам склонов к оврагам и балкам для удержания снега от сдувания с полей. Расстояние между снегосборными опушками при надобности допускалось до 200-300 м;

в) живые изгороди из кустарников и деревьев «по краям второстепенных перевалов, между балками и оврагами, по карнизам яров»;

г) влагосборные посадки вокруг степных колодцев для поднятия уровня грунтовых вод в этих местах.

Посадки всех типов должны занять от 15 до 18 % общей площади степи. Подчеркивалось, что площади, окаймленные лесонасаждениями, должны быть удобны по размерам и форме для сельскохозяйственного пользования; необходимо оставлять проезды, избегать клиньев и слишком узких и мелких полевых полосок и т. п.

2. Насаждения леса в местах, малопригодных или вовсе непригодных по качеству грунта или положению для иного хозяйственного пользования (облесение песков, легких супесей, солончаков, каменистых и рухляковых мест).

3. Насаждения в сухих и обводненных балках.

4. Работы по закреплению развивающихся меловых, овражных и обнаженных берегов речек с помощью разного рода приемов, в том числе облесения и использования живых кольев и плетней.

5. Разведение в степях фруктовых деревьев и кустарников и других технических пород. Предложено введение фруктовых пород в опушки и живые изгороди, причем, некоторые снегосборные посадки могут состоять целиком из плодовых деревьев; выращивание садов на пологих и «закрепительных» склонах, иловатых почвах низин и орошаемых участках – под защитой лесных полос.

Далее в проекте шли устройство каскадов прудов или отдельных ставков в балках, регулирование рек и речек, орошение (лиманное и регулярное), выведение грунтовых вод наружу, задержание и регулирование поверхностных вод, пользование травянистой растительностью, организация опытных сельскохозяйственных полей среди насаждений и на открытых участках.

Все эти разработки впоследствии стали практическим пособием, легли в основу государственной заботы о лесе, разработки и реализации комплекса агролесомелиоративных мероприятий. В. В. Докучаев полагал, что для оздоровления «земледельческого организма» России необходимо осуществление ряда мероприятий, которые должны быть цельными, системными и последовательными, как сама природа. Они должны направляться прежде всего на устранение или ослабление причин, подрывающих земледелие, иссушающих почвы и грунтовые воды, вызывающих эрозию и обмеление рек.

Исследования по защитному лесоразведению легли в основу работ Новосильской ЗАГЛОС им. А. С. Козменко с 1923 г. На площади 528 гектаров, состоящих из трех обособленных друг от друга участках (Овражный участок, Глубоковский и Одинцовский суходол). Неудобные земли составляли 43,3 %.

В 1932 г. к землепользованию станции были присоединен Жердевский участок площадью 142 га, по рельефу ничем не отличающийся от Овражного участка и примыкающий к нему с северной стороны. Именно на территории Овражного и Жердевского участков отрабатывалась технология выращивания противоэрозионных насаждений, подбирались для них ассортимент древесных и кустарниковых пород.

В довоенные годы на станции были заложены системы уникальных по своему исполнению и пространственному расположению уз-

ких лесных полос, таких как снегораспределительные с размещением строго по горизонталям, кольматирующие на наиболее смытых землях, примыкающих к гидрографической сети, оттеняющие по бровкам боковых размывов.

К началу Великой Отечественной войны на территории станции было заложено 127 га защитных лесных насаждений разного назначения из более чем 100 видов древесных и кустарниковых пород. Кроме того, в ближайших коллективных хозяйствах станция к этому времени имела 3 опорных пункта второго разряда, которые также в больших объемах проводили работы по противоэрозионной лесомелиорации.

Непоправимый ущерб лесным насаждениям станции нанесла война. По р. Зуша в течение 18 месяцев проходила передовая линия обороны наших войск. До настоящего времени в насаждениях сохранились воронки от взрывов бомб и снарядов, обвалившиеся окопы, траншеи. Древесина деревьев и до сих пор хранит в себе многочисленные осколки. Большой вред насаждениям нанесли пожары. Однако со временем на гидрографической сети сформировались высокополнотные насаждения, нередко с густым подлеском из кустарников.

С 1957 г. землепользование станции увеличилось до 5154 га за счет присоединения к ней земель двух соседних колхозов, на которых был выполнен большой объем лесомелиоративных работ, а территория типичная для зоны.

По агролесомелиоративному устройству 1992 г. (Новиков, 1996) на территории станции в ее современных границах имеется 779 га лесных насаждений, в том числе 307 га насаждений искусственного происхождения и 472 га естественных лесов. Естественные леса представлены преимущественно самооблесившимися в военные и в первые послевоенные годы залежами, а также куртинными насаждениями на пастбищах, берегах и откосах размывов. Общая лесистость территории станции составляет 15,1 % (рис. 1).

Среди искусственно созданных насаждений более половины (54,4 %) приходится на участки сплошного облесения, из них на насаждения V класса возраста и старше 74,6 % их площади. Насаждения I-II классов возраста практически отсутствуют (0,9 %). В естественных насаждениях эти классы возраста составляют соответственно 67,3 и 11,6 %. Наличие в этой категории насаждений I-II классов возраста свидетельствует об усилении процессов естественного облесения откосов оврагов, потому что все остальные земли довольно интенсивно используются в сельскохозяйственном производстве.

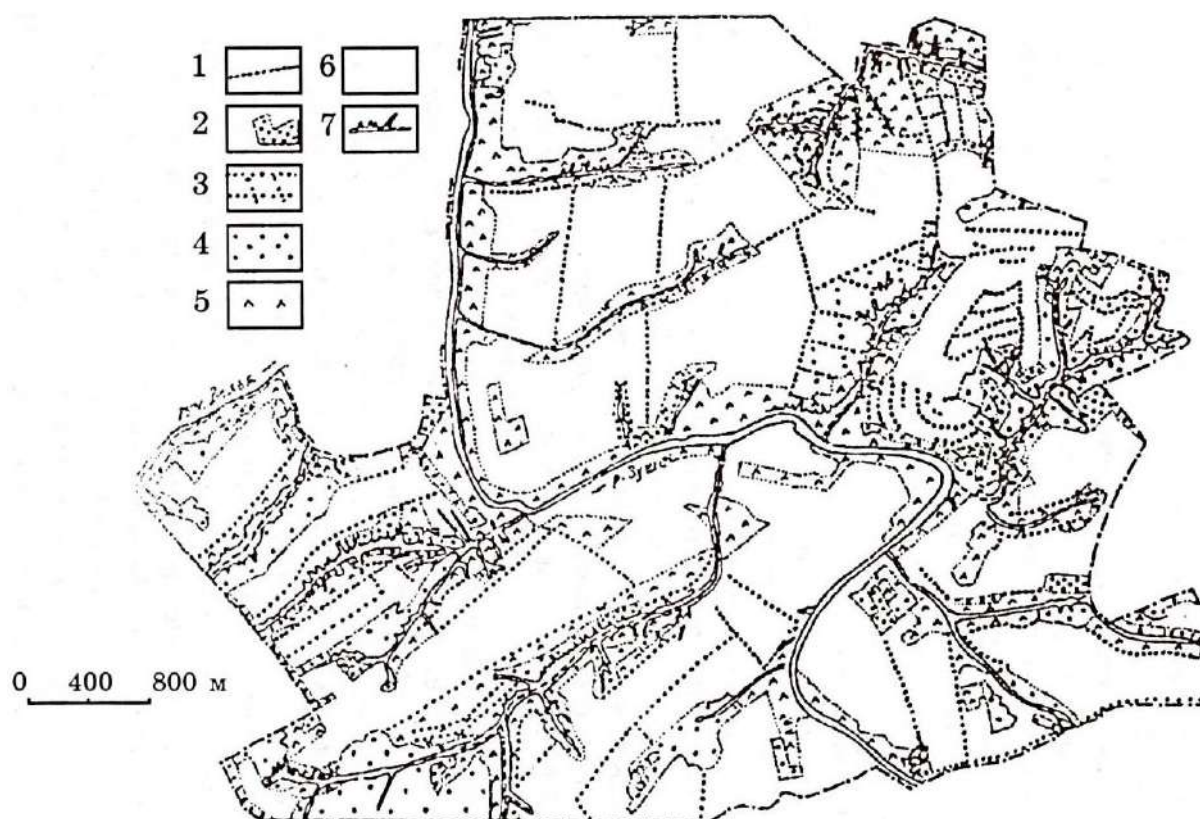


Рис. 1. Карта сельскохозяйственных и лесных угодий землепользования Новосильской ЗАГЛОС им. А.С. Козменко: 1 – лесные полосы, 2 – массивные лесонасаждения, 3 – сады и сазозащитные лесные полосы, 4 – естественный лес, 5 – пастбища и сенокосы, 6 – пашня, 7 – овражно-балочная сеть

Породный состав овражно-балочных насаждений представлен в основном сосной (59,6 га, или 35,7 %), березой (49,9 га, или 29,9 %) и дубом (29,7 га, или 17,8 %). Лиственница, липа, клен, ясень, ель и другие в общей сложности занимают менее 17 % площади овражно-балочных насаждений.

В естественных насаждениях господствующее положение занимает береза, на долю которой приходится почти 85 % их площади. Приречные насаждения представлены исключительно ивой.

Прибалочные лесные полосы занимают 50,2 га, что составляет 16,3 % общей площади защитных насаждений. Необходимо отметить, что фактически прибалочные и приовражные полосы закладывались на значительно большей площади. В первые же годы работы станции, наряду со сплошным облесением берегов гидрографической сети, высаживались и узкие отеняющие лесные полосы вдоль береговых и бо-

ковых оврагов, а также широкие (60-65 м) прибалочные лесные полосы на примыкающих к ее берегам размытых присетевых землях. Однако постепенно берега балок занимались опытными культурами и примыкающие к ним прибалочные и отеняющие лесные полосы становились частью участков сплошного облесения.

Так же, как и среди овражно-балочных насаждений, в прибалочных лесных полосах господствующее положение занимают сосна (56,2 %) и дуб (31,9 %), значительно меньше представлена береза (8,9 %). По ширине среди прибалочных лесных полос доминируют полосы шириной 16-20 м и больше (80,4 %), по конструкции плотные (86,3 %). Преобладание полос плотной конструкции было predetermined заранее введением в схемы их смешения кустарников.

В подгруппе из общей площади лесных полос 80,4 га на долю полезащитных и стокорегулирующих приходится 73,4 га, или 91,2 %. Преобладающими породами являются дуб (56,1 %) и береза (22,9 %). Ширину до 10 м имеют 19,2 % полос (по площади), 11-15 м – 17,0 %, 16-20 м – 44,9 %, более 20 м – 19,0 %. В последней категории 15,3 % приходится на долю двух стокорегулирующих лесных полос шириной 100 м (11,2 га). Доминируют полосы плотной конструкции. Они занимают площадь 45,4 га, или 61,9 %. Полосы ажурной конструкции занимают 12,2 га (16,6 %), продуваемой 15,7 га (21,4 %). Преобладание полос неэффективной в зоне деятельности станции плотной конструкции обусловлено формированием под их пологом подлеска из кустарников и разрастанием опушек.

1.3. Агротехнические опыты в системе лесополос

Севообороты являются одним из главных звеньев в системе земледелия, так как они определяют структуру посевных площадей, а от этого зависит доля почвы покрытой многолетней растительностью, защищающей ее от эрозии и доля однолетних культур, имеющих непосредственное рыночное значение. Роль севооборота многогранна. От структуры и чередования культур зависит баланс органического вещества, микробиологическая активность почвы, ее водный и воздушный режимы. На фоне севооборотов более эффективны минеральные и органические удобрения, новые сорта сельскохозяйственных культур. Основные положения чередования культур получили обоснования в трудах А. В. Советова, А. Г. Ермолова, Д. Н. Прянишникова, В. Р. Вильямса, С. А. Воробьева и многих других.

Ландшафтная организация территории при введении и освоении севооборота одно из главных условий защиты почв от эрозии и сохранения их плодородия.

Почвозащитные севообороты размещаются на наиболее подверженных смыву присетевых землях в более крутой части склонов. По определению А. С. Козменко для Центральной лесостепи ширина присетевого фонда обычно составляет около 1/3 длины линии стока. При довольно распространенной длине склонов около 600 м она колеблется в пределах 150-200 м, на склонах южных экспозиций повышаясь на 20-30 %, а на северных – примерно настолько же сокращаясь.

На присетевых землях необходимо создать условия, при которых растения корнями хорошо скрепляют бы почву, а надземной массой замедляют движение воды, осажая мелкозем, и не нуждаются бы в частом рыхлении почвы. Этим требованиям более всего отвечают смеси многолетних злаковых и бобовых трав.

Еще первые агрономы Новосильской станции А. В. Процеров и Я. В. Корнев, работавшие вместе с А. С. Козменко, отмечали, что по воздействию на эрозионные процессы сельскохозяйственные культуры можно сгруппировать следующим образом. В группу наиболее сильного почвозащитного действия входят все виды многолетних трав. Они надежно защищают почву от водной эрозии. Группа среднего почвозащитного действия состоит из озимых и яровых зерновых. К следующей группе относятся пропашные культуры и чистый пар. Ими также было отмечено повышение урожайности растений степной и луговой формации под влиянием лесных насаждений.

На повышение почвозащитной эффективности многолетних трав при сочетании их с лесными полосами указывают Г. Я. Бронзова и В. А. Черкасова. Даже избыточное накопление снега лесными полосами благоприятно сказывается на развитии многолетних трав. Наряду с ростом надземной массы под влиянием лесных полос идет увеличение корневых остатков, содержания гумуса и количества водопрочных агрегатов.

Продолжая разработку почвозащитных мероприятий на эродированных землях, С. И. Сильвестров установил, что противоэрозионный эффект почвозащитного севооборота проявляется в том случае, если многолетние травы занимают не менее 50 % его общей площади. Причем на более смытых почвах процент трав должен быть выше, на подзолистых и светло-серых лесных суглинках насыщенность севооборотов травами должна быть большей, чем на черноземах.

Как было подмечено Я. В. Корневым, С. И. Сильвестровым и подтверждено впоследствии А. Н. Каштановым, Н. К. Шиколой и другими исследователями, культуры для почвозащитных севооборотов подбирают с учетом их эрозионной опасности – величины, показывающей уровень возможного проявления эрозии.

В присетевой зоне при уклоне 3-9° ориентировочный коэффициент эрозионной опасности для чистого пара равняется 1,0; свеклы 0,8; картофеля 0,7; кукурузы 0,6; яровых зерновых 0,5; зернобобовых 0,4; озимых 0,3; многолетних трав 1-го года 0,05; 2-го года 0,03; 3-го года пользования 0,01.

Общий коэффициент эрозионной опасности по культурам в почвозащитном севообороте составляет 0,15-0,25 и не должен превышать 0,30.

Изучая противоэрозионные свойства трав, В. А. Беляев пришел к выводу, что травосмеси наиболее надежно защищают почвы и дают высокие урожаи. Травосмеси из трех компонентов превышают по урожайности двойные травосмеси начиная с 1-го года пользования. На сильноосмытых, плохо обеспеченных азотом почвах целесообразны посевы бобовых в чистом виде, так как они лучше растут и дают большие урожаи, чем злаковые.

Опыты по севооборотам на Новосильской опытной станции проводились А. Т. Барабановым и Е. Я. Тубольцевым (1996).

Площадь под почвозащитным севооборотом 128 га, размер полей 15-25 га со следующей схемой чередования культур: 1 – яровые + многолетние травы, 2-5 – многолетние травы, 6 – озимые, 7 – яровые.

Смыв почвы определялся после прохождения стока на 19 заранее намеченных постоянных профилях длиной 100 – 200 м, проходивших на всех полях почвозащитного севооборота в их верхней и нижней частях и на трех полях полевого севооборота, непосредственно сопряженных с почвозащитным.

2. НОВОСИЛЬСКАЯ ЗОНАЛЬНАЯ АГРОЛЕСОМЕЛИОРАТИВНАЯ ОПЫТНАЯ СТАНЦИЯ ИМ. А. С. КОЗМЕНКО ВСЕРОССИЙСКОГО НИИ АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ

2.1. Почвенно-климатические условия Новосильской ЗАГЛОС

Климат. Продукция сельскохозяйственного производства создается в природных условиях под воздействием многих факторов. Известный русский ученый В. В. Докучаев указывал, что «почва и климат суть основные и важнейшие факторы земледелия – первые и неизбежные условия урожая». Основными метеорологическими элементами, оказывающими большое влияние на хозяйственную деятельность человека, является солнечная радиация, атмосферное давление, температура, влажность почвы, испарение. К настоящему времени в мировой науке уже накоплен большой материал по исследованию влияния внешней среды на условия роста и развития сельскохозяйственных культур.

Основными метеорологическими факторами, определяющими условия роста и развития сельхозкультур, являются свет, тепло и влага. Другие метеорологические элементы только корректируют или ослабляют их. Показателем теплообеспеченности вегетационного периода может служить сумма среднесуточных температур выше 10 °С.

Показатель суммарной потребности растений в тепле был введен Реомюром (1734 г.). В бывшем СССР для сельскохозяйственной оценки термических ресурсов климата Г. Т. Селяниновым были впервые использованы суммы температур выше 10 – активные температуры. Они служат показателем обеспеченности теплом периода активной вегетации сельхозкультур. Суммы активных температур состояются из средних суточных температур выше 10 °С.

Климат Орловской области умеренно континентальный, формируется под действием атлантических и континентальных воздушных масс. Наблюдается постепенное изменение климатических характеристик с северо-запада на юго-восток (уменьшается количество осадков, увеличивается температура воздуха и повторяемость суховеев).

Среднегодовая температура воздуха в области составляет +4...+5 °С; температура наиболее теплого месяца июля находится в пределах +17,9... +19,6 °С, наиболее холодного января –9,0...–10,5 °С. Абсолютный минимум температуры воздуха, по многолетним данным, в области составляет –37... –44 °С, абсолютный максимум +36... +38 °С.

Сумма активных температур по данным Мценской метеостанции, составляет 2245 °С, Одинокской 2212 °С и Шатиловской опытной станции 2134 °С в Тульской обл. (Ефремов) 2261 °С.

В области выпадает в среднем 490-580 мм осадков в год. Однако по месяцам они распределяются неравномерно. По многолетним данным наименьшее количество осадков выпадает в феврале и марте (20-25 мм), в апреле сумма осадков увеличивается до 35-45, в мае – до 45-55, в июне – до 65-80 мм. С августа сумма осадков постепенно уменьшается, достигая минимума в январе. Однако случается, что крайне засушливыми оказываются апрель, май, а август, сентябрь бывают самыми дождливыми, что неблагоприятно сказывается на производстве сельскохозяйственных культур.

Отмеченные климатические характеристики области и общем присущи и территории Новосильской опытной станции. Однако имеются и свои особенности.

Средняя годовая температура воздуха, по многолетним данным (в среднем до 1975 г.) метеостанции в д. Одиноки, составляет +5,2 °С. Самый теплый месяц – июль (+19,6 °С), самый холодный – февраль (–9,7 °С); абсолютный минимум –33,5 °С (январь 1973 г.), абсолютный максимум +36,5 °С (август 1972 г.). Продолжительность безморозного периода в году в среднем 140 дней; около 180 дней со среднесуточной температурой воздуха +5 °С, 142 дня +10 °С.

Среднегодовое количество осадков колеблется от 350 до 800 мм и более, составляя в среднем 536 мм. Если принять во внимание максимальные расходы воды лесной растительностью за вегетационный период для данной зоны 467-540 мм (Молчанов, 1952), то выпадающего количества осадков в общем достаточно для нормального обеспечения лесной растительности влагой. Об этом же свидетельствует и гидротермический коэффициент, который за период со среднесуточной температурой более 10 °С (апрель – сентябрь) составляет 1,2.

На теплый период года (апрель – ноябрь) приходится около 2/3 годовой суммы осадков. Летние осадки выпадают часто в виде лив-

ней. Из-за частого колебания годовой суммы осадков, большого испарения, отсутствия крупных водораздельных плато, сильной расчлененности территории оврагами и балками в летний период часто наблюдается дефицит влаги.

Первые ранние заморозки отмечаются в первой декаде сентября, самое позднее – в третьей декаде октября. Весенние заморозки прекращаются в первой декаде мая, но иногда отмечаются и в первой декаде июня.

Относительная влажность воздуха довольно высокая. В году бывает 141-155 дней с относительной влажностью 37 % или более и всего около 4 дней – 30 % и менее.

Преобладающие направления ветров в период с сентября по октябрь ЮЗ и З, Ю и ЮВ. В мае и июне господствуют ветры СВ и СЗ, в июле и августе – СЗ и З. Средняя годовая скорость ветра 4,5-5,0 м/с. году бывает в среднем 106-112 дней без солнца. В летний сезон облачность на севере области достигает в среднем 40, а на юге 37 %. Преобладают ветры ЮЗ, З и ЮВ направлений.

За период вегетации озимой пшеницы на каждый гектар посева приходится 2,5 млрд. ккал ФАР. В случае усвоения растениями 2,5 % ФАР в урожае накапливается 62,5 млн. ккал энергии. При калорийности 1 кг биомассы озимой пшеницы 4500 ккал с каждого гектара можно собрать 138,9 ц абсолютно сухой органической массы растений. За период вегетации озимых (третья декада апреля вторая декада августа) суммарный приход ФАР в областях Нечерноземной зоны колеблется от 2,2 до 2,6 млрд. ккал/га или 22-26 ккал/кв. см.

В Орловской области возможный урожай озимой пшеницы абсолютно сухой массы, рассчитанной по ФАР, составляет 67,0-74,4 ц/га, биомассы 14-процентной влажности 77,9-86,5 ц/га и зерна 31,2-34,6 ц/га при радиационном балансе 29,0 ккал/кв. см.

Приход 2,0-2,4 млрд. ккал ФАР, или 20-24 ккал/кв. см, на гектар посевов ячменя за период его вегетации (85-90 дней) при величине ФАР 20 ккал/кв. см и 2,5-процентном использовании ее растениями обеспечивает накопление в биомассе ячменя 50 млн. ккал/га солнечной энергии. Калорийность 1 кг биомассы ячменя составляет 4500 ккал, следовательно, на гектаре можно ожидать формирования 111 ц абсолютно сухой биомассы и 129 ц – 14-процентной влажности. При соотношении зерна и соломы 1:1,1 возможен сбор урожая зерна ячменя 51,4 ц/га (Петелько, 1996).

Высота снежного покрова подвержена значительным колебаниям. Максимальной высоты снежный покров достигает во второй половине февраля – первой половине марта. Наибольшая мощность его отмечается на склонах, противоположных направлению метельных ветров. В условиях хозяйства – это склоны теневых экспозиций – С, СВ, СЗ. Довольно холодная и продолжительная зима, неравномерное распределение снега, обычно сильное увлажнение почвы в предзимний период вызывают глубокое промерзание почвы, которое в отдельные зимы превышает 180 см, в среднем составляя 100-120 см.

В общем же климатические условия благоприятны для произрастания многих видов основных лесообразующих пород.

Геоморфология. Опытные объекты Новосильской ЗАГЛОС расположены в бассейне р. Зуши. Рельеф волнистый. Вся территория расчленена густой сетью лощин и суходолов (13 гидрографических стволов протяженностью от 1,3 до 15,8 км), впадающих в долину р. Зуши. Кроме того, по границам землепользования в Зушу справа впадает река Колпна, слева – ручей Велье, который с 1986 г. в летнее время пересыхает.

Характерной особенностью геологического строения местности является залегание рыхлых песчано-глинистых грунтов поверх твердых осадочных пород (девонские известняки и мергели), которые имеют выход на дневную поверхность по берегам суходолов и р. Зуши.

Коэффициент расчлененности территории древней гидрографической сетью равен 1,4 км/кв. км (Козменко, 1948).

Берега балок в большинстве случаев задернованы, имеют крутизну 10-22°, местами изрезаны промоинами, размывами разной глубины, как правило, облесены. Особенно интенсивно процесс естественного зарастания размывов лесной растительностью протекает в последние 15-20 лет.

Присетевые склоны имеют крутизну 3-5°. Приводораздельные склоны более пологи. Местные водоразделы представляют собой плато вытянутой формы.

Резко выраженная расчлененность территории и значительные уклоны в сочетании с рыхлыми покровными породами создают предпосылки для интенсивного протекания эрозионных процессов.

Почвы. Наиболее полные и подробные исследования почв были проведены под руководством Г. П. Сурмача (1972) (рис. 2). Почвенный покров представлен преимущественно серыми лесными почвами

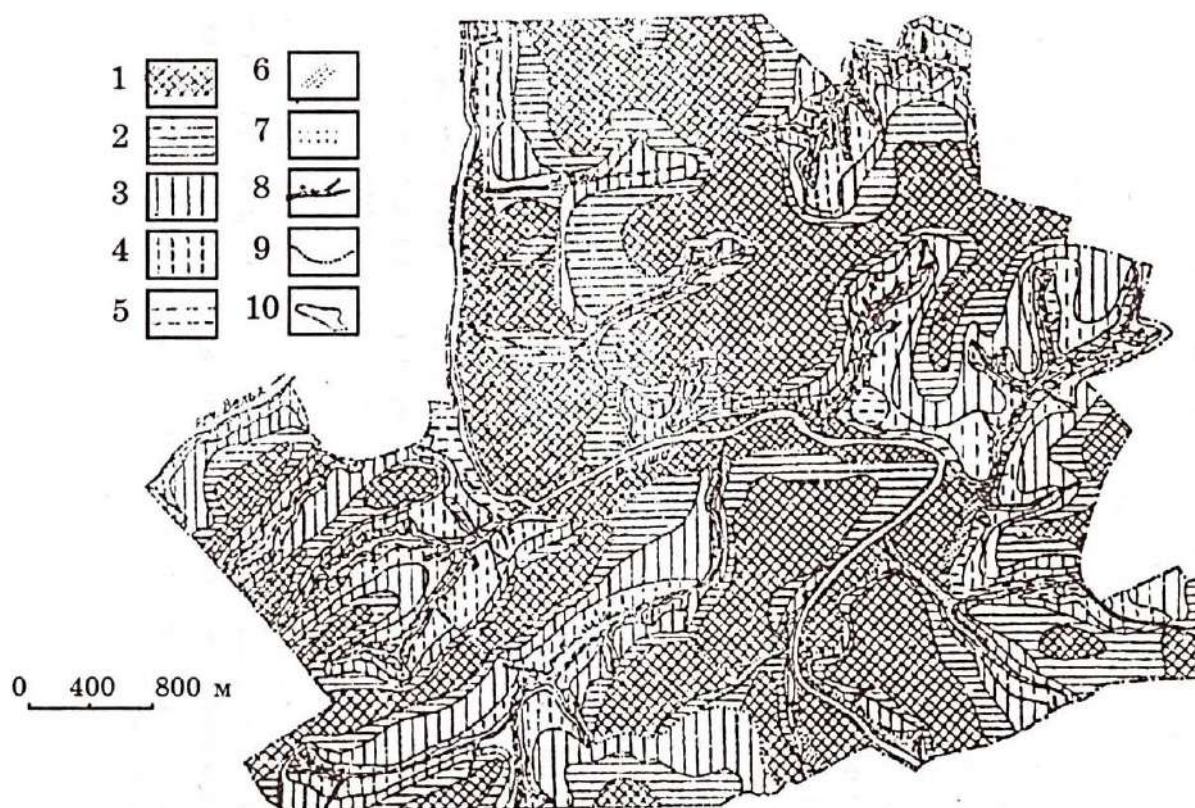


Рис. 2. Почвенно-эрозионная карта Новосильской ЗАГЛОС. Составлена В. Л. Суховым в 1961-1962 гг.:

1 – несмытые, 2 – слабосмытые, 3 – среднесмытые, 4 – сильносмытые, 5 – очень сильносмытые, 6 – намывные почвы берегов балок, 7 – балочный аллювий, 8 – овражно-балочная сеть, 9 – границы почвенных типов, 10 – границы почвенных контуров

(70,4 %), оподзоленными черноземами (19,1 %), доля участия других почвенных разновидностей составляет всего 10,5 %. По мехсоставу почвы средне и тяжелосуглинистые, имеют непрочную пылеватую структуру, что наряду с другими природными и антропогенными факторами способствует интенсивному проявлению эрозионных процессов. На Новосильском ключевом участке, в процессе водной эрозии значительно ухудшаются водно-физические свойства, уменьшается содержание гумуса, увеличивается объемная масса, ухудшается водопроницаемость, повышается податливость смыву (Сурмач, 1956) и, как следствие, ухудшаются лесорастительные свойства.

Смыву подвержены 63,9 % сельхозугодий, в том числе слабосмытые почвы занимают 21,0 %, среднесмытые 22,1%, сильно- и весьма сильносмытые 20,8 %. (Сухов, Зыков, Зайченко, 1996). Следо-

вательно, плоскостная эрозия наблюдается на большей части территории. Созданием комплекса противоэрозионных мероприятий интенсивность проявления эрозионных процессов в значительной мере ослаблена, хотя поверхностный сток достигает больших величин: в среднем за 1959-1984 гг. он составил на зяби 33,8 мм, коэффициент стока 0,32, на уплотнённой пашне – соответственно 42,1 мм и 0,39. В отдельные годы величина стока достигает 133-146 мм при коэффициенте стока 0,79-1,00 (Зыков, Борец и др., 1985).

Линейная эрозия проявляется в виде промоин вдоль грунтовых дорог и разъемных борозд, а также береговых, склоновых и донных оврагов. Ветровая эрозия практически отсутствует.

2.2 История и исследования станции

Новосильская опытно-овражная станция (ныне зональная агролесомелиоративная опытная станция им. А. С. Козменко Всероссийского НИИ агролесомелиорации) была учреждена в мае 1921 г. для научной разработки методов и приемов борьбы со смывом и размывом почвы, восстановления ее плодородия и повышения урожаев сельскохозяйственных культур в районах Центральной лесостепи.

На Новосильскую станцию было также возложено научно-методическое руководство Каменно-Степным мелиоративным опорным пунктом, переданным в 1932 г. Каменно-Степной сельскохозяйственной опытной станции им. В. В. Докучаева, и Придеснянским опорным пунктом, вошедшим в 1934 г. в систему УкрНИИЛХА.

До 1931 г. Новосильская станция находилась в ведении Государственного института сельскохозяйственных мелиораций. В 1931 г. она была преобразована в зональную агролесомелиоративную опытную станцию и до 1934 г. входила в систему УкрНИИЛХА. С 1934 г. станция находится в системе ВНИАЛМИ. В 1968 г. ей присвоено имя основателя и первого ее директора А. С. Козменко, бессменно руководившего станцией до 1938 г.

При организации Новосильской станции за ней была закреплена земельная площадь 528 га, состоящая из трех отдельных земельных участков: 1 – Овражная база площадью 441 га, представленная водосборами Одинокского и Глубоковского суходолов; 2 – Чулковский опытно-мелиоративный плодовый сад площадью 61 га; 3 – Одинокский опытно-мелиоративный сад площадью 26 га.

Основным объектом для развертывания научно-исследовательских работ с весны 1923 г. являлась Овражная база (рис. 3), 43,3 % площади которой (191 га) представляли неудобные земли (крутые берега, овраги, размытые земли). Лесных насаждений, кроме 1 га старых сазозащитных лесных полос в Чулковском саду и небольших куртин ивы на берегу Зуши, здесь не было.

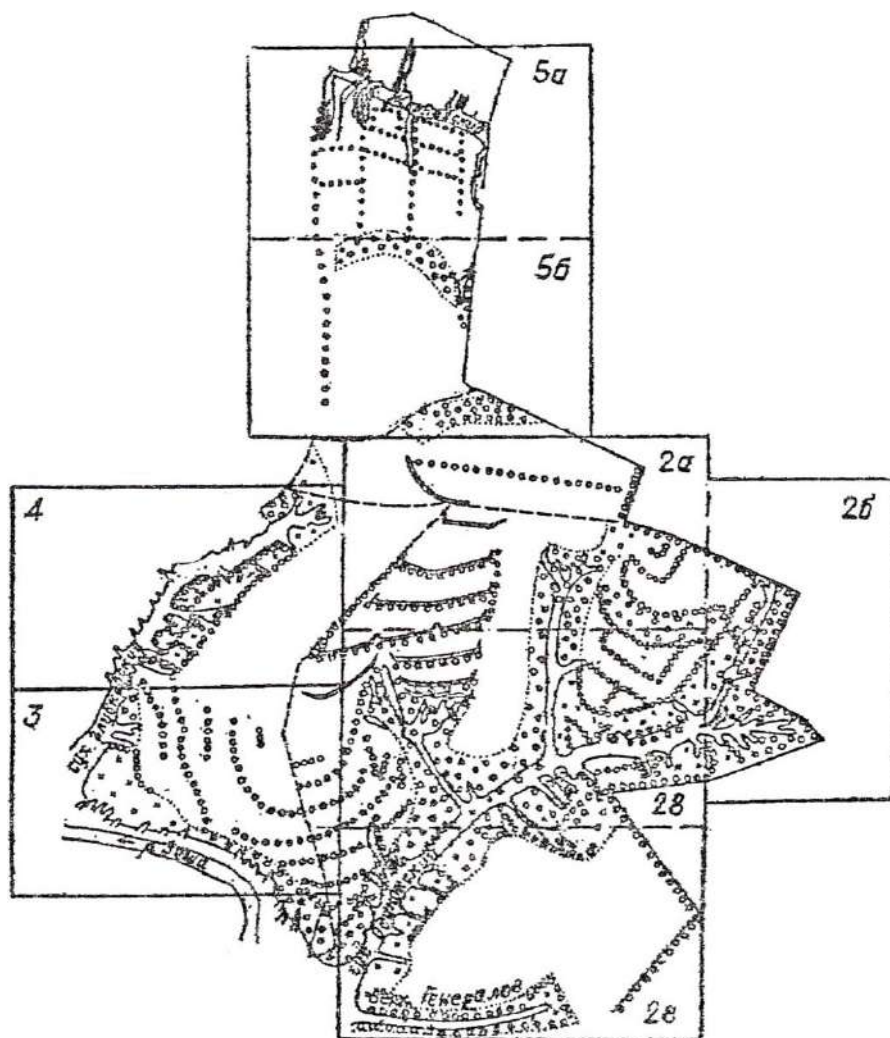


Рис. 3. Схема размещения листов карты лесных насаждений Опытной Новосильской ЗАГЛОС. Номера листов соответствуют обозначениям рисунков в тексте

В 1931 г. к территории Овражной базы был присоединен Жердевский участок площадью 142 га (часть площади водосбора Жердевского суходола). В 1957 г. в состав станции были включены два соседних колхоза, за счет чего ее территория увеличилась до 5154 га. В 1973 г. на территории станции организовано опытно-производственное хозяйство, а сама станция переведена в г. Мценск.

Первоначально на станции изучались мероприятия, способствующие прекращению роста действующих оврагов; разрабаты-

лись меры, препятствующие их возникновению, выяснялись наилучшие способы использования размываемых площадей. Уже с первых лет работы для А. С. Козменко стало очевидным, что мелиорация оврагов представляет собой всего лишь борьбу со следствием, а не с причиной эрозии и что сама по себе овражная эрозия по вреду, причиняемому сельскому хозяйству, значительно уступает масштабам отрицательных последствий, вызываемых смывом с прилегающих полевых склонов. Такое понимание проблемы защиты почв от эрозии привело к разработке программы исследований, предусматривающей охват всей совокупности явлений эрозионного процесса, сосредоточение внимания на изучении и испытании мероприятий, которые бы воздействовали на причины возникновения процесса, оказывая в конечном счете решающее влияние на оврагообразование. Иными словами, ставилась задача разработки противоэрозионных мероприятий для всего водосбора.

Важное внимание уделялось лесомелиоративным работам. Трудности здесь были большие: отсутствовал опыт выращивания насаждений на эродированных землях, не было материальной базы для развертывания лесопосадочных работ. Чтобы обеспечить их выполнение своим посадочным материалом, на станции заложили два лесных питомника. Был испытан большой ассортимент древесных и кустарниковых пород для облесения крутосклонов и размывших земель, заложены два дендрария, маточные плантации ив и тополей.

При выращивании защитных насаждений применялись самые разнообразные приемы подготовки почвы, виды посадочного материала, исследовались сроки посадки, глубина заделки желудей и густота посадки, схемы смешения. Еще в довоенные годы ставились опыты по эффективности минеральных удобрений при выращивании защитных насаждений. Одновременно с этим разрабатывались схемы пространственного размещения защитных насаждений в зависимости от интенсивности проявления эрозионных процессов. Именно здесь впервые обосновывается необходимость закладки строго по горизонталям системы узких снегораспределительных лесных полос (контурная организация территории), узких ветроломных лесных полос на присетевом фонде в сочетании с залужением (кольматирующие клетки) и эта идея воплощается в жизнь.

В настоящее время система защитных лесных насаждений станции является уникальным научным объектом по опыту выращивания

насаждений на смытых и размывших землях, откосах оврагов и берегах гидрографической сети, изучению мелиоративной, почвозащитной, стокорегулирующей эффективности и хозяйственной ценности лесопосадок.

Организатором и первым директором Новосильской опытной станции был Алексей Семенович Козменко, бессменно руководивший ею до 1938 г.

Им разработана теория формирования эрозионного рельефа и комплексного мелиоративного воздействия на территорию водосбора в целом. Под его руководством на станции были разработаны принципы противоэрозионной организации территории применительно к типам рельефа, обоснованы мелиоративные меры на присетевых землях, в том числе в полезащитном севообороте.

С самого начала исследования на станции носили комплексный характер и охватывали весь ряд вопросов, связанных с изучением причин и последствий эрозии, разработкой комплекса мероприятий, направленных на полное прекращение или резкое ослабление эрозионных процессов, на рациональное использование сельскохозяйственных угодий.

В основу проведения исследований были положены выработанные на станции принципиальные положения о необходимости регулирования поверхностного стока на всем водосборе и осуществления, таким образом, целого комплекса противоэрозионных мероприятий на мелиорируемой территории: организационно-хозяйственных лесомелиоративных, агротехнических, лугомелиоративных, гидротехнических. Особое внимание уделялось правильной эрозионной организации территории как основы для размещения перечисленных мероприятий.

На площади всего водосбора, в зависимости от характера интенсивности проявления эрозии, А. С. Козменко предложил выделить приводораздельный, присетевой и гидрографический фонды. Для каждого из них предлагалось наиболее рациональное использование земель и разрабатывались рекомендации по применению противоэрозионных мероприятий. Схема классификации фондов представлена в сокращенном виде (по А. С. Козменко с дополнениями Г. П. Сурмача).

Приводораздельный фонд включает ровные участки и пологие склоны крутизной до 3°, подверженные слабой или умеренной эрозии. Почвы, как правило, несмытые или слабосмытые, редко среднесмытые, используются под полевые севообороты для выращивания зерновых,

пропашных и технических культур. Здесь применяются лесомелиоративные и частично агротехнические мероприятия, направленные на улучшение снегоотложения и задержание стока талых и ливневых вод.

Присетевой фонд включает земли, прилегающие к гидрографической сети: нижние и иногда средние отрезки склонов крутизной от 3 до 9-10°, подверженные сильной эрозии. Почвы, средне-, сильно- и весьма сильноосмытые и размывые, нуждаются нередко в коренной мелиорации. Земли используются в полевом (наименее эродированные участки) и почвозащитном севооборотах под защитой лесных насаждений; при невозможности выделения полей севооборотов отводятся под постоянное или периодическое залужение.

Гидрографический фонд включает:

суходольную гидрографическую сеть (берега, крутосклоны и днища лощин и суходолов). Почвы разной степени смытости, от несмытых до весьма сильноосмытых и неразвитых, а также намытые и обнажения коренных пород. Такие участки рекомендуются под улучшенные сенокосы, пастбища под защитой лесных насаждений, а также под лесные насаждения (полосные, куртинные или массивные);

долинную сеть, куда входят надпойменная терраса с нормальными зональными, пойма с аллювиальными, крутые берега с эродированными почвами. Сеть используется в полевых или кормовых севооборотах под защитой лесных насаждений (на землях, не подверженных эрозии), под огородные, технические культуры, под сенокосы и пастбища (пойменные участки), под залужение (сенокосы и пастбища), под лесные или садовые насаждения (берега сети и крутосклоны).

Такое выделение фондов основывалось еще на довоенных исследованиях станции. Основными направлениями работы станции в это время были подбор ассортимента древесных и кустарниковых пород для защитного лесоразведения в условиях эродированных почв, выявление действия минеральных удобрений на их рост и развитие, влияния защитных лесных насаждений на прилегающую территорию, характер снегоотложения и промерзания почвы, сток и смыв по элементам рельефа, разработка водозадерживающих приемов обработки почвы и др. (работы Козменко, Ивановского, Харитонова, Корнева и др.).

В послевоенный период на станции особое внимание стало уделяться изучению поверхностного стока талых и ливневых вод на сельскохозяйственных угодьях и оценке стокорегулирующей роли лесных насаждений (работы Сурмача, Дьякова, Сухова, Королевой, Гаршинева,

Барабанова, Каргова, Борца, Новикова, Петелько, Петелько, Тубольцева, Коблева и др.). Полученные данные позволили дать научно обоснованные рекомендации по применению противоэрозионных агротехнических, лесомелиоративных и гидротехнических мероприятий.

Изучение различных агротехнических приемов выявило высокую эффективность глубокой (до 30 см) зяблевой обработки почвы поперек склона по сравнению с другими агротехническими приемами (лункование, бороздование, поделка микролиманов и т. д.). На серых лесных почвах, отличающихся относительно невысоким естественным плодородием и неблагоприятными водно-физическими свойствами, весьма перспективным в противоэрозионном и агрономическом отношении явилось окультуривание почв, внесение органоминеральных удобрений и известкование. Такая комплексная агротехника существенно уменьшает сток и обеспечивает увеличение урожайности основных сельскохозяйственных культур в 1,5-2,0 раза. Однако одними агротехническими мероприятиями не удалось эффективно зарегулировать поверхностный сток. Их необходимо дополнить лесомелиоративными (полезащитные, прибалочные лесополосы и другие виды защитных насаждений), а в отдельных случаях – лугомелиоративными и гидротехническими. Иными словами, на полный противоэрозионный эффект может обеспечить только применение в комплексе всех перечисленных мероприятий.

Такой комплекс и начал осуществляться на станции с начала 20-х годов еще при А. С. Козменко, но особый размах эти работы приобрели в послевоенные годы. В 60-е годы (Сурмач, 1974) на станции пришли к выводу о целесообразности совмещения полезащитных, стокорегулирующих и прибалочных лесных полос с простейшими гидротехническими сооружениями. При совместном действии в канавы в лесной полосе за период стока весной может поглощаться до 12 тыс. куб. м воды на 1 км полосы, чем достигается практически полное задержание стока на склоне. Высокая эффективность такого приема подтверждена исследованиями ряда авторов в других регионах.

Поделка канав или траншей глубиной 0,5-1,2 м и шириной 1,0 м осуществляется сельско- и лесохозяйственными машинами и орудиями. Они нарезаются по так называемым «рабочим участкам» (по Холупяку), т. е. по ложбинам и микропонижениям вне лесной полосы, где концентрируется основной объем стока через каждые 10-20 канав или траншей устраиваются 2-3-метровые перемычки из ненарушенно-

го грунта. В стокорегулирующих полосах целесообразна нарезка одной канавы в нижнем междурядье или на нижней опушке по всей длине полосы. Учитывая существенное повышение водопоглотительной способности полосы, ее ширину необходимо снизить. Исследованиями последних лет подтверждено (Новиков), что канавы эффективно работают в том случае, если их глубина превышает глубину промерзания почвы и дно остается талым. Эффективность же водозадерживающих валов снижается в зимы с интенсивными оттепелями, формирующими слабый поверхностный сток.

Кроме валов и канав, сооружаемых в лесных полосах, на станции испытывались и другие простейшие гидротехнические сооружения: водозадерживающие и водоотводящие валы, распылители стока, осуществлялось выполаживание и засыпка вершин оврагов, в том числе на днищах балок. В сочетании с лесо- и лугомелиоративными эти приемы, особенно распылители стока и водоотводящие валы и канавы, показали высокую эффективность при практическом их применении.

Важное место в комплексе противоэрозионных мероприятий отводится лугомелиоративным приемам: поверхностному и коренному улучшению сенокосов и пастбищ на склонах, залужению распылителей стока по кюветам дорог, днищ балок и вершин оврагов при их сполаживании. По данным станции (Глыбин, 1972), а также других научных учреждений при коренном улучшении продуктивность эродированных земель увеличивается в 4-6 раз. При этом полностью устраняется опасность проявления эрозионных процессов.

Для посева на эродированных склонах особенно хороши в условиях лесостепи бобово-злаковые травосмеси: клевер красный, люцерна синяя и желтая, тимофеевка луговая, овсяница луговая, кострец безостый и др. Урожай сена на мелиорируемых участках составляет в среднем 30-40 ц/га, при правильном применении минеральных удобрений достигает 70-85 ц/га.

Под руководством и при непосредственном участии организатора и первого директора А. С. Козменко на станции с первых лет работы были развернуты исследования по изучению водной эрозии и разработке противоэрозионных мероприятий. В основу исследований были положены принципиальные положения о необходимости регулирования поверхностного стока на водосборной площади и применения комплекса противоэрозионных мероприятий на всей мелиорируемой территории. Это положение и в настоящее время является одним из основных принципов защиты почв от эрозии.

Основываясь на материалах Тульской гидрологической экспедиции и продолжая исследования на Новосильской ЗАГЛОС, А. С. Козменко разработал классификацию современных оврагов-размылов (береговые, донные, концевые), являющихся следствием антропогенной деятельности, и дал определение древней гидрографической сети, выделил ее звенья (ложбина, лощина, суходол, долина), предложил и обосновал теорию эрозионно-аккумулятивных процессов и формирования рельефа.

Первостепенное внимание уделялось противозэрозионной организации территории как основы для последующего осуществления агротехнических, лесомелиоративных, лугомелиоративных и гидротехнических мероприятий, направленных на борьбу с эрозией почв и эффективное использование земельных ресурсов. По характеру и интенсивности проявления эрозии предложено выделять земельные фонды: гидрографический, присетевой и приводораздельный. Для каждого из них были рекомендованы свои противозэрозионные мероприятия и наиболее целесообразное сельскохозяйственное использование. В системе противозэрозионных мероприятий дано обоснование необходимости организации почвозащитных севооборотов на при сетевом фонде.

В довоенный период предложены и испытаны методы фитомелиорации в системе противозэрозионных мероприятий, выявлен и апробирован ассортимент древесных пород и кустарников для насаждений на эродированных землях, разработана агротехника их выращивания, изучена эффективность системы водозадерживающих валов и канав, горизонтальных и наклонных валов-террас, распылителей стока, выполнялась оценка противозэрозионной и агрономической роли микрорельефа на пашне (бороздование, крестования), эффективности продольной и поперечной вспашки, органических и минеральных удобрений, различных способов снегозадержания. В эти же годы на станции закладываются такие уникальные объекты как снегосборные и контурные снегораспределительные лесные полосы по горизонталям, система водозадерживающих валов-канав, рассредоточенных по водосбору, системы кольматирующих лесных полос на смытых присетевых землях (лесолуговое использование присетевого фонда), которые успешно функционируют и в настоящее время.

В послевоенные годы усилиями коллектива научных сотрудников станции под руководством и при непосредственном участии заведующего отделом защиты почв от эрозии ВНИАЛМИ Г. П. Сурмача и со-

трудников института были проведены обстоятельные теоретические экспериментальные исследования по формированию поверхностного стока на сельскохозяйственные угодья, установлению закономерностей смыва и размыва почвы, что позволило разработать различные агротехнические приемы защиты почв от эрозии и дать оценку их гидрологической и противоэрозионной роли; апробирован ассортимент многолетних трав и их смесей для залужения эродированных земель; изучены нормы, сроки высева многолетних трав; проведены многолетние опыты по срокам, дозам и способам внесения удобрений под сельскохозяйственные культуры; разработаны способы улучшения естественных кормовых угодий; выявлена гидрологическая, почвозащитная, почвоулучшающая и экологическая роль защитных лесных насаждений в комплексе с другими противоэрозионными мероприятиями; изучены различные способы закрепления откосов оврагов; выявлены продуктивность полевых и луговых угодий лесоаграрных ландшафтов и лесосырьевая продуктивность защитных лесных насаждений; изучено формирование и распределение энтомофауны в лесоаграрных ценозах. Результаты этих исследований нашли отражение в ряде зональных и региональных рекомендаций по защите почв от эрозии, повышению продуктивности полевых и кормовых угодий на эродированных землях, созданию долговременных культурных пастбищ на присетевом фонде, созданию противоэрозионного комплекса, размещению и выращиванию защитных лесных насаждений и др.

2.3. Опытные насаждения на гидрографическом и присетевом фондах

Одинокский суходол.

Водосборная площадь Одинокского суходола составляет 438 га, в том числе лесные насаждения занимают 94 га. По левой стороне граница землепользования станции проходила непосредственно по вершинам коротких боковых размывов суходола и отвершков 1, 1а, 3а (рис. 4, б, в, г).

Водосборная площадь и берега суходола были основным полигоном, где отработывались многие технологические приемы выращивания противоэрозионных насаждений. Это обусловлено близостью к хозяйственному центру станции, к питомникам, сильно разветвленной сетью его отвершков разных длины, глубины, крутизны, экспозиций откосов, а следовательно, и разнообразием лесорастительных условий.

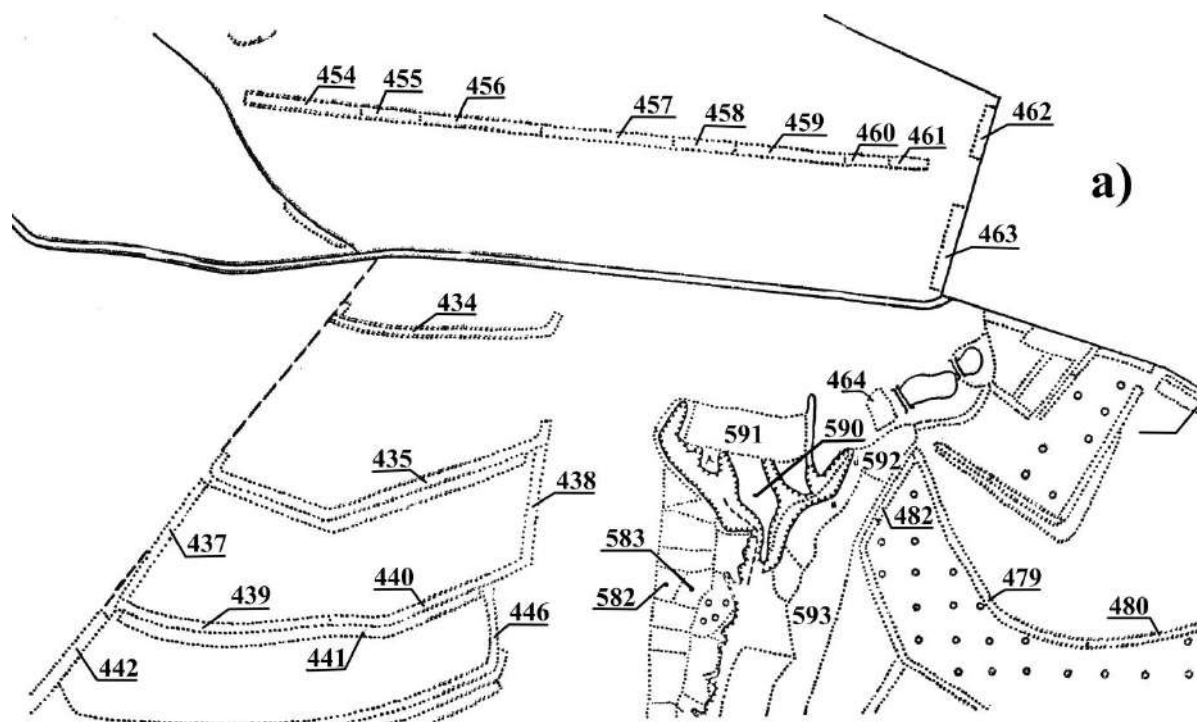


Рис. 4(а). Схема размещения защитных насаждений Одинокского суходола и его отвершков.

Суходол имеет пять отвершков (1, 1а, 2, 3, 3а), их берега, как и берега основного русла суходола, изрезаны густой сетью размывов разной глубины. Общая длина суходола с основными отвершками превышает 5 км. Все созданные по берегам и на примыкающих к ним смытых землях культуры являются опытными. А поскольку многое из того, что здесь применялось при выращивании культур, делалось впервые, то были ошибки и в выборе главных пород, и в схемах смешения, и в технологии выращивания. Поэтому не все культуры, заложенные здесь, особенно в первые годы работы станции, оказались удачными. На месте неудачных культур снова проводилась посадка, часто с набором уже других пород. Если учесть, что со временем в культурах происходило естественное возобновление, то станет очевидным, насколько трудно восстановить первоначальные схемы посадок, историю их выращивания. Впрочем, это характерно для всех насаждений, созданных в тридцатые годы.

Чтобы удобнее было отыскивать интересующие участки культур в натуре, описание насаждений приводится, как и по другим урочищам, не по годам их закладки, а по последовательному их расположению на местности.

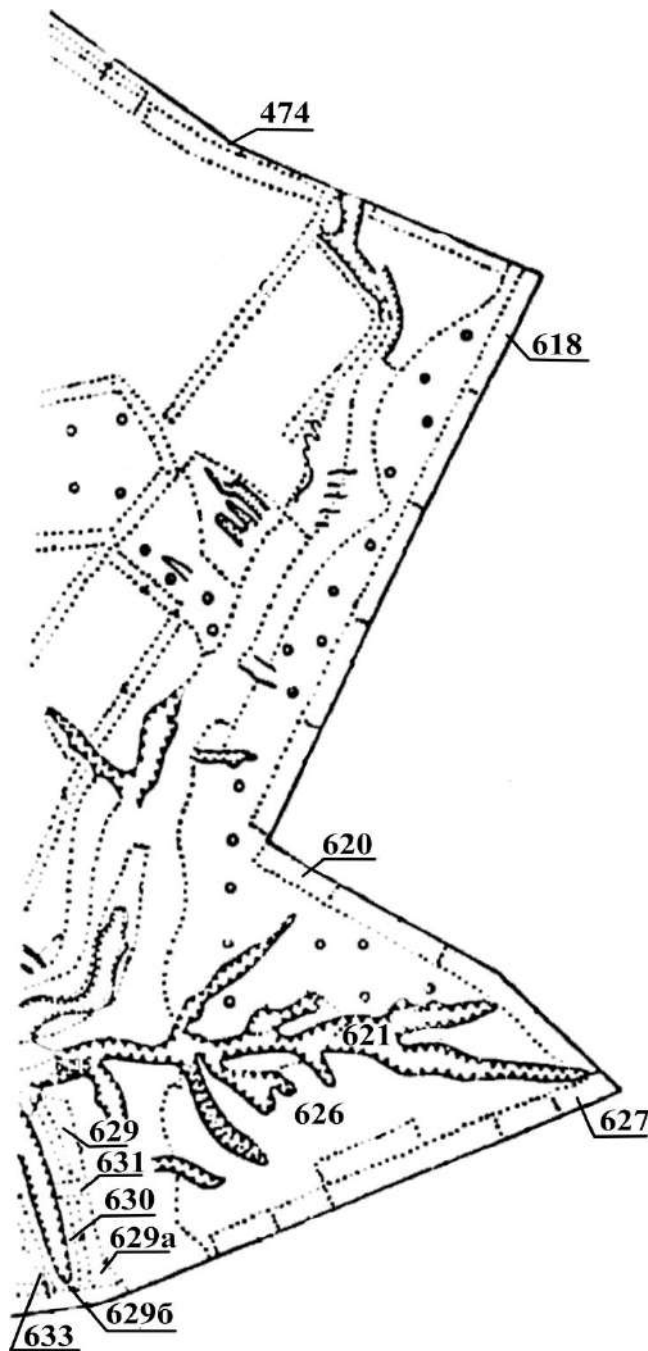


Рис. 4(б): Схема размещения защитных насаждений Одинокского суходола и его отвершков

Отвершек 1. В апреле 1952 г. по берегам и откосам вершинного размыва отвершка на площади 0,06 га (уч. 615) проведен посев желудей дуба, полученных из Белоруссии, под лопату в дернину. По правому откосу северо-западной экспозиции выполнен строчно-луночный посев с размещением посевных мест $0,5 \times 0,3$ м, по левому откосу юго-восточной экспозиции желуди высевали в площадки 1×1 м с размещением посевных мест в форме конверта по 7 желудей в лунку на глубину 6 см. Площадь каждого участка 0,03 га. Грунтовая всхожесть желудей по левому откосу 44,5 %, по правому 71 %. К концу первого вегетационного периода высота всходов составила соответственно 12 и 13 см. В последующие годы приросты дубков были очень незначительными и не превышали 4-6 см в год. Во II классе возраста, однако, приросты увеличились, и позже на обоих откосах сформировались сомкнутые насаждения со средней высотой 15 м при среднем диаметре 14 см.

К юго-востоку от этого насаждения на откосах размыва и примыкающих к отвершку размывтых землях заложен опыт по изучению возможности использования косточковых и семечковых пород для мелиорации бросовых земель. С этой целью в 1935 г. по левому берегу отвершка по задернованной поч-

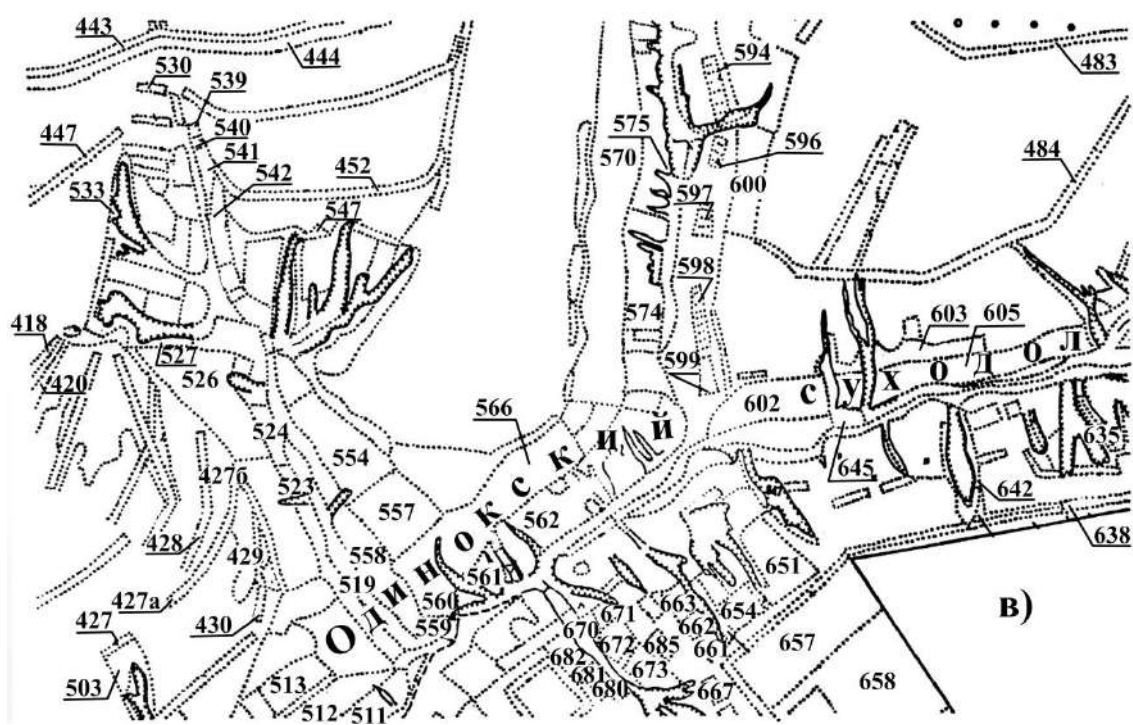


Рис. 4(в). Схема размещения защитных насаждений Одинокского суходола и его отвершков



Рис. 4(г). Схема размещения защитных насаждений Одинокского суходола и его отвершков

ве с размещением посадочных мест 5×5 м были высажены в ямки саженцы яблони следующих сортов: Пепин, Штрейфлинг, Ранет, Антоновка, Славянка, Коричное, Бабушкино. В 1938 г. в приствольные лунки внесена органика. В этом же году аналогичный опыт был заложен на противоположном берегу восточной экспозиции.

В годы войны сад был сильно поврежден, поэтому в послевоенный период был проведен его ремонт. Несмотря на то, что в последние годы за садом не проводятся уходы, и том числе и обрезка, деревья почти ежегодно плодоносят, урожайность высокая, качество плодов хорошее.

В 1937-й 1938 гг. ниже сада по обоим берегам отвершка в нижней, наиболее крутой их части на площади 1,08 га проведена посадка сеянцев вишни и абрикоса в ямки с размещением посадочных мест 1×1 м. В 1941 г. отпад вишни составлял 58, абрикоса 63 %. Вероятно, в суровую зиму 1941 г. абрикос выпал полностью, и в послевоенные годы на его место были высажены терн и слива. В настоящее время эти породы вместе с вишней создали густые кустарниковые заросли (уч. 612, 616).

По правому берегу отвершка от плодового участка до устья на площади 1,79 га расположены насаждения дуба 1925-1927 гг. посадки. Экспозиция берега юго-восточная, крутизна $20-22^\circ$. Культуры заложены густым посевом желудей шпиговкой по слабо задернованной почве с размещением посевных мест $0,53 \times 0,25$ м. В каждое посевное место высевалось по 2-3 доброкачественных желудя. Уходы не проводились. В первые годы отмечался очень медленный рост дубков. В последующем сформировались сомкнутые насаждения дуба высотой 16-20 м при среднем диаметре 18-24 см с густым подлеском из рябины и других кустарников. Состояние дуба удовлетворительное (уч. 602, 608, 609).

Среди описанных насаждений находится дубово-лиственничное насаждение площадью 0,85 га (уч. 605), которое создавалось в два срока. Посев желудей дуба проведен весной 1925 г. шпиговкой в дернину по два доброкачественных желудя в каждое посевное место с размещением их $0,5 \times 0,5$ м. Дубки росли медленно, и весной 1932 г. здесь же высадили сеянцы лиственницы сибирской с размещением посадочных мест $5,0 \times 0,7$ м. Приживаемость лиственницы составила 92 %. К 15 годам лиственница более чем в 2 раза превзошла дуб по высоте, приросты которого со временем тоже увеличились. В настоящее время лиственница имеет высоту 28 м при диаметре 30 см, дуб соответственно 23 и 20 см. Дуб не испытывает угнетения со стороны

лиственницы, но естественный его отпад продолжается. Имеется густой подлесок из различных кустарниковых пород, среди которых преобладает рябина. Встречаются также черемуха, бузина, жимолость, бересклет и др.

На бросовых землях, непосредственно примыкающих к бровке отвершка, весной 1927 г. на площади 0,62 га по задернованной почве в ямки высаживались рядами сеянцы ясеня и клена остролистного (посадочный материал из своего питомника) с размещением 2×1 м. Уходы не проводились. Приживаемость сеянцев была низкой, особенно ясеня. К 1933 г. сохранность составила 54-55 %, а высота деревьев 42-44 см. В возрасте 14 лет приросты сохранившихся деревьев резко увеличились и составляли 42-23 см в год. В настоящее время в этом насаждении преобладает клен остролистный, полнота неравномерная. Состояние клена и ясеня хорошее, кроны хорошо развиты, особенно у клена (уч. 603).

По днищу отвершка в устьевой части весной 1929 и 1930 гг. закладывался опытный участок площадью 0,38 га по изучению роста культур на щебенистых донных наносах водотока. Посадочный материал – черенки ивы – насаживался под шпильку рядами поперек водотока. Ширина полос 5-10 м. Уходы не проводились. Отмечалась хорошая побегообразующая способность ивы и хорошее состояние культур. Вместе с тем с уплотнением полос начал усиливаться подмыв берегов водотока. В настоящее время здесь имеется разнопородное насаждение с преобладанием деревьев ивы (уч. 645), которые наклонены в разные стороны. Донные размывы отсутствуют.

Опытный участок культур ивы, расположенный выше по руслу отвершка, был смыт в первые же годы после посадки. Теперь здесь естественные заросли кустарников.

В устье отвершка по его откосам осенью 1933 г. на площади 0,09 га в ямки высаживались осина и тополь, по дну водотока – ряд черемухи. Сохранились только единичные деревья тополя и черемухи, участок зарос кустарником (уч. 645).

Примерно в средней части по левой стороне отвершка имеется ветвящийся боковой размыв длиной около 80 см. В его вершинной части и на землях, примыкающих к левому берегу, на площади 2,41 га (уч. 621, 626) в 1951 г. был заложен опыт с разной глубиной заделки желудей дуба (3, 5, 7, 10 см). На каждом варианте, в свою очередь, предусматривались следующие варианты подготовки почвы: 1) лунками, рас-

положенными по углам и в центре квадрата 1×1 м, с расстоянием между центрами квадратов 2×2 м и высевом в каждую лунку по 7 желудей; 2) по такой же схеме размещения посевных мест высевалось по 7 желудей дуба шпиговкой в задернованную почву; 3) бороздами, нарезанными конным плугом через 1,5 м, с размещением посевных мест через 0,7 м и высевом в каждую лунку по 7 желудей; 4) по такой же схеме, что и на предыдущем варианте, желуди высевались шпиговкой по задернованной почве. Уходы за почвой в культурах по всем вариантам не проводились. Наиболее результативным оказался посев желудей в разрыхленные лунки, где и грунтовая всхожесть желудей, и сохранность, и средняя высота дубков оказались наибольшими в сравнении с другими вариантами в течение первых лет наблюдений. Общим для всех вариантов оказался очень медленный рост: в возрасте 5 лет максимальная высота составила всего 21-27 см. В первый год преимущество по всхожести желудей отмечено на вариантах с мелкой заделкой (3-5 см). В последующие годы на сохранность и рост дубков большее влияние начал оказывать способ подготовки почвы.

К моменту обследования культур в 1991 г. на всех вариантах сформировались сомкнутые насаждения дуба. Некоторые различия в их состоянии и показателях роста обусловлены уже не столько способами посадки, сколько местоположением (откосы, ложбины или прилегающие склоны) и санитарными рубками. Последние проводились без соблюдения границ вариантов и в разные годы. Надо отметить, что естественный отпад продолжается и довольно интенсивно. Этому способствует также наличие на участке отдельных деревьев березы, вблизи которых дубки вообще полностью выпадают. Формируется подлесок, преимущественно из рябины.

Аналогичный опыт с разной глубиной заделки желудей дуба заложен Н. Т. Макарычевым на правом берегу Глубковского суходола ближе к его устьевой части на площади 1,31 га (уч. 235, 238, 239). Экспозиция юго-восточная, крутизна 18-22°.

По границе землепользования станции расположена прибалочная лесная полоса площадью 2,41 га (по отношению к саду на склоне – она и садозащитная), при выращивании которой применялись различные покровные культуры, разные схемы смешения и густоты посадки. Повторность трехкратная. Первичные материалы по опыту сохранились лишь частично.

На площади 0,93 га (уч. 618) в качестве покровной культуры была озимая рожь. Применялись следующие варианты возделывания культур (площадь каждого вариант 0,15-0,16 га):

1. Основная вспашка почвы выполнена в сентябре 1948 г. тракторным плугом с предплужниками на глубину 25-27 см. В 1949 г. почва содержалась под черным паром, проведена 3-кратная культивация. В августе 1949 г. почва перепахана, выполнен посев озимой ржи. В апреле 1950 г. на местах посева желудей рожь удалена лопатой. Посевные лунки для желудей размещались в форме конверта по углам и в центре площадок 1×1 м, между центрами площадок 3×5 м. На каждую площадку на глубину 6-8 см высевалось по 35 желудей местного сбора доброкачественностью 76-78 %. В год посева проведен один уход за почвой. После уборки озимой ржи широкие междурядья перепаханы конным плугом на глубину 8-12 см, а в конце августа на глубину 20 см снова посеяна озимая рожь. В ноябре этого же года в междурядьях высеяны семена акации желтой в лунки по 15 шт. размещением 0,5×1,0 м тремя рядами. Глубина заделки семян 2 и 4 см. Между площадками дуба высевались семена клена остролистного в лунки по 15 шт. В 1951 г. проведено два ухода за почвой. После уборки ржи широкие междурядья снова были перепаханы и засеяны рожью. Очевидно, всходов акации не получили. В 1952 г. весной почву забороновали и в течение лета провели двукратное рыхление почвы в лунках с дубом. Весной 1953 г. в широких междурядьях высадили по 3 ряда сеянцев акации желтой через 0,5 м по два сеянца в каждое посадочное место и провели по одному рыхлению почвы в лунках. 1954 г. выполнен один уход за почвой, после чего уходы были прекращены.

2. Аналогичен варианту 1, но посев кустарников и подгоночных пород проводился одновременно с посевом желудей весной 1950 г. Семена клена всходов не дали, поэтому осенью того же года проведен повторный посев.

3. Аналогичен варианту 2, но в широких междурядьях вместо акации высевался дуб по такой же схеме.

4. Подготовка почвы по варианту 1. Посадка сеянцев рядовая размещением посадочных мест 1,5×0,7 м выполнена весной 1950 г. по схеме Д/аж/-Ко/аж/-Д/аж/-...

Уходы за почвой не проводили.

5. Подготовка почвы аналогична варианту 1. Посадка сеянцев дуба проведена весной 1950 г. пучками по 25 шт. в лунку. Сеянцы

подгоночных и кустарниковых пород высаживались одновременно сеянцами дуба. Уходы за почвой не проводились.

б. Дублирует вариант 5, но в каждую лунку высаживалось по 15 сеянцев дуба.

На площади 0,63 га (уч. 620) в качестве покровной культуры использовалась яровая пшеница. Применялись следующие варианты возделывания культур (площадь каждого варианта 0,10-0,11 га):

1. Почва вспахана весной 1950 г. конным плугом с боронованием в два следа, после чего высеяны желуди дуба в лунки по 7 шт. с размещением лунок в форме конверта на площадке 1×1 м. Размещение площадок 3×5 м. Затем участок сплошь засевался яровой пшеницей. После ее уборки в июле почва в междурядьях перекапывалась вручную. В междурядьях в начале сентября высевались семена акации желтой в лунки с размещением $1 \times 0,5$ м. В каждую лунку высевалось по 15 шт. семян на глубину 2 и 4 см. В рядах между площадками с дубом высевались семена клена остролистного по 15 шт. в лунку. В 1951 г. проведены трехкратный уход за почвой и осеннее дополнение акации желтой сеянцами; в 1952 г. – четырехкратный уход за почвой в лунках и на площадках и трехкратный в междурядьях конным культиватором; в 1953 г. – дополнение акации желтой по 2 сеянца в посадочное место и уходы по схеме предыдущего года; в 1954 г. – по 3 ухода в лунках на площадках и в междурядьях; в 1955 г. – на места пустых лунок посева семян клена остролистного проведена посадка по одному сеянцу липы (двухлетки).

2. Зяблевая вспашка почвы выполнена в сентябре 1948 г. тракторным плугом с предплужниками на глубину 25-27 см. В 1949 г. почва содержалась под черным паром. Весной 1950 г. почва перепахана с одновременным боронованием и высеяны желуди дуба по 7 шт. в лунку с размещением их в форме конверта на площадке 1×1 м. Размещение площадок 3×5 м. После посева желудей весь участок засевался яровой пшеницей. Уходы за почвой не проводились. После уборки яровой пшеницы участок засевался озимой рожью по стерне. Осенью 1950 г. и весной 1951 г. в широких междурядьях высевались семена акации желтой в лунки с размещением лунок $1 \times 0,5$ м (по 3 ряда в междурядье). Весной 1951 г. между площадками дуба в лунки высевались семена березы по 5 г в лунку. Всходов не получили. Весной 1953 г. проведено дополнение акации желтой посадкой по 2 сеянца в лунку. Весной 1954 г. на месте пустых лунок с посевом семян бе-

резы высажены сеянцы липы по 2 шт. в лунку. Уходы за почвой не проводились.

3. Подготовка почвы аналогична варианту 2, но размещение площадок с дубом по схеме $3 \times 2,5$ м со смещением центров площадок по отношению друг к другу в рядах. В междурядьях высевалось по одному ряду акации.

4. Подготовка почвы аналогична варианту 2. Весной 1950 г. выполнен посев желудей и посадка сеянцев акации желтой и клена остролистного с размещением посадочных мест $1,5-0,7$ м. Схема смешения Ко/аж/-Д/аж/-Ко/аж/-...

Желуди местного сбора высевались по 3 шт. в лунку.

5. Подготовка почвы аналогична варианту 2. Весной 1950 г. выполнена посадка сеянцев дуба и посев акации желтой и клена остролистного по 10-15 шт. по схеме размещения и смешения предыдущего варианта. Осенью того же года проведена подсадка клена остролистного посадкой сеянцев в лунки с невзошедшими семенами.

6. Подготовка почвы аналогична варианту 2. Посадка дуба проведена пучками по 25 шт. в лунку. Сеянцы акации по 2 шт. в лунку высаживались одновременно с сеянцами дуба. На площади 0,70 га (уч. 627) в качестве покровной использовался овес. Применялись следующие варианты возделывания культур (площадь каждого вариант 0,10-0,15 га):

1. Зяблевая вспашка выполнена в сентябре 1948 г. плугом с предплужниками на глубину 25-27 см. В 1949 г. содержалась под черным паром, проведена трехкратная культивация. Весной 1950 г. почва перепахана, проборонована в 2 следа и проведен гнездовой посев желудей дуба в лунки с размещением их по схеме конверта на площадке 1×1 м. Размещение площадок $3 \times 2,5$ м засевался овсом. После уборки овса междурядья перепахивались и засевались озимой рожью. Весной 1951 г. в широких междурядьях высевались семена акации желтой по 20 шт. в лунку на глубину 4 см и семена липы по 20 шт. в лунку в междурядьях между посадок дуба. В 1952 г. проведено рыхление в лунках, в 1953 и 1954 г. в широких междурядьях, где не получились всходы акации, почва перепахивалась.

2. Аналогичен варианту 1, но акация желтая высаживалась сеянцами по 1 (первое междурядье), по 2 (второе междурядье) 5 сеянцев в лунку (третье междурядье). В 1954 г. проведены посадки липы: число лунок между площадками увеличено с 1 до 3. В лунку высажено по 3 сеянца.

3. Аналогичен варианту 2, но в междурядьях вместе высаживался дополнительно один (средний) ряд сеянцев дуба.

4. Аналогичен варианту 1, площадки под покровом овса, но вместо посева семян акации желтой проводилась посадка сеянцев через 0,5 м в ряду: в первом междурядье по одному в лунку, во втором – по 3 сеянца, в третьем – по 5 сеянцев.

В 1954 г. между площадками с посевом желудей дуба высажено по 3 сеянца в лунку (по две лунки между соседними площадками).

5. Аналогичен предыдущему. В 1951 г. весной между площадок дуба в лунки высевались семена липы, в широких междурядьях посадили сеянцы акации желтой, а в 1953 и 1954 гг. дополнение липы посадкой сеянцев (по 2 лунки) между площадок дуба.

При обследовании насаждений в 1991 г. были выделены варианты, отличающиеся друг от друга по схемам смешения и характеру расположения посадочных мест. Общим для всех вариантов является хорошее состояние дуба и сопутствующих пород: диаметр дуба в возрасте 40 лет составил 17-18 см при 17-20 м. На отдельных вариантах клен не уступает дубу по темпам роста и превосходит его по товарности древостоя. Особенно это характерно для вариантов с проведением рубок ухода. На некоторых вариантах имеется естественное возобновление клена. Липа существенно отстает в росте и от дуба, и от клена.

Лесная полоса имеет плотную конструкцию за счет акации желтой. Во внутренних рядах она угнетена, но при посадке «на пень» при рубках ухода дает обильную поросль, есть также естественное возобновление.

Отвершек 2. Отвершек имеет меридиональную направленность (север-юг) и разветвленную вершину. На остальной его части часто встречающиеся береговые размывы редко выходят за пределы бровки.

В вершине по левому берегу отвершка, ниже пруда-копани, в мае 1932 г. на площади 0,12 га по задернованной почве в ямки высаживались культуры ясеня обыкновенного, клена ясенелистного в смешении с экзотами: вишней пенсильванской, черемухой виргинской, ясенем маньчжурским, бобовым кустарником (видовое название не приводится). Размещение рядов с главными породами через 2 м. В этих междурядьях высаживались экзоты. Посадочный материал завозился из Лесостепной опытной станции. При перевозке он был частично подсушен, что, вероятно, и стало причиной низкой приживаемости культур, а в последующие годы – и их полной гибели, за ис-

ключением клена ясенелистного, который сформировал сомкнутое насаждение, имеет высоту около 16 м при диаметре 18 см (уч. 464).

Здесь же на смытых присетевых землях склона юго-западной экспозиции весной 1932 г. на площади 0,29 га заложено насаждение посадкой сеянцев в ямки по задернованной почве по схеме Лп/Ко/-Вз/Яс/-Лп/Ко/-... с размещением посадочных мест 1×1 м. Уходы не проводились. В 1933 г. проведено дополнение выпавших сеянцев сосной веймутовой. В настоящее время здесь сомкнутое насаждение липы с примесью единичных деревьев клена и сосны веймутовой. Вяз и ясень встречаются редко в виде угнетенного подроста высотой 2-3 м. Встречаются также и одиночные крупные деревья березы естественного происхождения (уч. 592).

Вниз по руслу отвершка к этому насаждению примыкает участок культур вяза и ясеня площадью 2,48 га с подсевом дуба и последующей посадкой клена остролистного и липы. Посадка проведена в ямки по задернованной почве весной 1926 г. Уходы не проводились. В настоящее время здесь березовое насаждение с изреженным вторым ярусом, преимущественно из клена остролистного (уч. 593). Ясень и дуб выпали. При облесении этого участка посадочный материал впервые был взят из своего питомника.

В последующие годы на этом участке, равно как и на других с подобной схемой смешения, проводились дополнения, часто с несоблюдением первоначально принятых схем смешения.

В апреле 1932 г. на площади 0,58 га заложены культуры на смытых почвах участка, примыкающего к левому берегу отвершка несколько ниже длинного бокового размыва (уч. 600). Схема посадки Д/Кл/-Б/Яс/-Д/Ко/-... (береза введена в культуры весной 1933 г.). Размещение посадочных мест 1×1 м. На участке размещались 3 варианта опыта: ежегодные двукратные сплошные уходы за почвой в рядах и междурядьях; то же, но только в лунках; без уходов.

Лучшую сохранность и рост имели культуры на варианте со сплошными уходами. Особенно отзывчивы на уходы клен и ясень, которые в 1935 г. (возраст 3 года) имели приросты в высоту соответственно на варианте со сплошными уходами 22,6 и 21,7, с уходом в лунках 1,3 и 3,7, без уходов 1,2 и 1,5 см. Но сохранность на всех вариантах оставалась в это время высокой: ясеня 77-91, клена 82-94 %. Лучшим ростом и состоянием отличалась береза, которая при высоте 20-25 м имеет диаметр около 25 см и занимает первый ярус. Дуб (вы-

сота 16 м, диаметр 13 см) и клен сформировали разреженный второй ярус, ясень сильно угнетен и находится в подлеске.

Весной 1928 г. напротив этого участка на смытых бросовых землях правого берега отвершка по аналогичной схеме на площади 3,36 га были заложены культуры посадкой сеянцев в ямки по задернованной почве. Только вместо клена высаживался вяз. Уходы не проводились. Приживаемость была высокой, а сохранность в возрасте 7 лет составляли 85-90 %. И здесь самые высокие показатели роста имели береза: в возрасте 7 лет ее высота 5,9 м, в то время как ясеня 0,3, вяза 0,2, дуба 1.3 м. В последующем вяз и ясень полностью выпали, дуб интенсивно отмирает, береза сохранилась и в возрасте 63 лет имеет высоту 34 м. при диаметре 27 см (уч. 570).

В апреле 1937 г. по откосу левого берега отвершка на площади 0,32 га заложен в двукратной повторности опыт по изучению роста сеянцев в зависимости от способов подготовки почвы: плужными бороздами (вар. 1 и 5), лунками (вар. 2 и 6), ямками по задернованной почве (вар. 3 и 4). Высаживались тополь душистый (черенками) в смешении со спиреей калинолистной, сосна веймутова, дуб и береза чистыми культурами (уч. 594, 596, 597). Посадка проведена под меч Колесова (черенки тополя под шпильку) с размещением посадочных мест 1,1×0,7 м. Приживаемость культур на всех вариантах была высокой: тополя 81,8-89,9 %, дуба 89,5-98,3, березы 87,7-97,9, сосны веймутовой 74,1-92,3, спиреи 97,4-99,1 %. Уходы за почвой не проводились.

Интенсивный отпад сеянцев начался уже на следующий год, а к возрасту 3 лет при посадке в ямки сохранность тополя уменьшилась до 9,2, дуба до 38,2, спиреи до 12,7%; сосны веймутовой до 23,4 и 27,5 % (посадка в борозды и лунки), березы до 58,7 % (посадка в лунки). На других вариантах сохранность несколько выше. Вероятно, в более поздние годы все же было проведено дополнение культур, потому что на варианте посадки сосны веймутовой встречаются единичные деревья сосны обыкновенной. К настоящему времени не осталось ни одного дерева сосны веймутовой. Очень мало сохранилось тополей. Они имеют высоту 25-28 м и диаметр около 30 см. Хорошее состояние и показатели роста у березы. Дуб имеет удовлетворительное состояние, но крайние к березе ряды сильно угнетены, продолжается естественное изреживание. Спирея распространилась по всем вариантам посадки, а на вариантах посадки тополя и сосны образует очень густые заросли.

В устьевой части левого берега отвершка на площади 0,25 га (уч. 598, 599) расположен участок опытных культур дуба, тополя душистого, березы, заложенных посадкой сеянцев в ямки по задернованной почве, желудей дуба – шпиговкой под копые. Цель опыта – изучение влияния происхождения посадочного материала на рост и развитие культур. Высаживали дуб желудями и сеянцами из питомника, тополь – черенками, одно- и двухлетними сеянцами, березу – сеянцами из питомника и дичками. Повторность вариантов двукратная, уходы за почвой не проводились. На всех вариантах посадки приживаемость была высокой. Из всех видов посадочного материала только черенки тополя имели некоторое преимущество перед сеянцами. Другие породы по видам посадочного материала различий в показателях роста не имели.

К настоящему времени береза сформировала высокополнотное насаждение высотой 21-25 м при диаметре 19-26 см; дуб значительно уступает ей по показателям роста – соответственно 16 м и 14-15 см. Насаждение тополя изрежено в результате вырубок. Насаждения тополя и дуба имеют густой подлесок, березовое – без подлеска.

В вершине правого берега отвершка, на примыкающих к бровке землях, на площади 1,09 га заложены культуры сосны разной густоты посадки. Основная вспашка почвы выполнена осенью 1950 г. тракторным плугом на глубину 25-27 см. В 1951 г. почва содержалась под черным паром, осенью была перепахана. Весной 1952 г. проведена предпосадочная культивация с боронованием и посадка сеянцев: рядовая (уч. 591) – на вар. 1 размещение посадочных мест 1,5×0,7 м; на вар. 2 – 1,5×0,35 м и гнездовая (уч. 590) – на вар. 3 по 5 шт. на площадку 1 кв. м; на вар. 4 по 10 шт. на площадку 1 кв. м (по 2 сеянца в посадочное место). На верхней опушке опытного участка высаживалась акация желтая, на всех остальных малина. Сеянцы взяты из своего питомника. В 1953 г. на всех вариантах провели дополнение культур. В течение 1952-1954 гг. проведено 5 рыхлений почвы в рядах и 7 в междурядьях. Приживаемость сеянцев по вариантам составила соответственно 79, 87, 74 и 69 %. В последующие годы за счет дополнительных сохранность на всех вариантах выравнивалась и составила 84-86 %.

В возрасте 40 лет на всех вариантах имеются высокополнотные насаждения сосны высотой 20 м при диаметре 17-21 см. Подлесок густой, преимущественно из бузины и рябины, имеются густые куртинные заросли малины.

Осенью 1926 и весной 1927 гг. по направлению к устью отвершка на откосах и на смытых присетевых землях, примыкающих к правому берегу отвершка, закладывались культуры дуба, березы, липы, вяза, ясеня, клена посадкой сеянцев в разном смешении. Ряды ясеня и вяза чередовались с рядами липы и клена (или клена и дуба, клена и березы) с междурядьями 1 м. Общая площадь таких культур 6,18 га.

На уч. 582, 583 (общая площадь 0,27 га) весной 1921 года была проведена посадка сеянцев в ямки по задернованной почве по схеме Б(Вз)-Д(Яс)-Б(Вз)-... Сохранность сеянцев всех высаженных пород была высокой и составила в возрасте 8 лет 81-90 %. Но по высоте дерева имели большие различия: у березы в этом возрасте она была 594, у дуба 130, у ясеня 34 и вяза 16 см.

В 1936 г. в целях осветления насаждения была удалена часть деревьев березы. Но и эта мера не предотвратила последующий интенсивный отпад остальных пород. В последние годы было вырублено еще более 50 % деревьев березы, что сильно разрядило верхний полог насаждения и привело к частичному задернению почвы. В возрасте 65 лет насаждение имеет полноту 0,5, береза достигла высоты 21 м при диаметре 22 см. Остальные породы значительно уступают ей в росте.

Осенью 1927 г. по берегу отвершка северо-восточной экспозиции крутизной 7-18° на площади 1,57 га посадкой в ямки с размещением посадочных мест 1×1 м по задернованной почве были высажены культуры дуба, вяза, ясеня, клена (уч. 574, 575). Приживаемость сеянцев всех пород, за исключением клена, была высокой и составила 92-94 % (у клена 76 %). Уходы не проводились. При учетах в молодых культурах отмечался медленный рост всех высаженных пород и в последующем интенсивный отпад, кроме дуба. В возрасте 14 лет отпад клена составил 72%, вяза – 43, ясеня – 59, дуба – 16 % при средних высотах, соответственно, 59, 77, 57 и 250 см.

Сейчас в двухъярусном насаждении 64 лет в первом ярусе преобладает дуб, имеющий высоту 20 м при диаметре 28 см. Отдельные деревья вяза также вышли в первый ярус, в основном же вместе с ясенем они формируют второй ярус высотой 10 м. Клен выпал полностью из насаждений.

На смытых землях, примыкающих к бровке отвершка, осенью 1927 г. на площади 3,36 га заложены культуры березы по трем вариантам размещения посадочных мест 2×2, 2×1, 2×0,4 м (уч. 570). Посадка проведена в ямки по задернованной почве. Уходы не проводи-

лись. На всех вариантах приживаемость составила 96-98 %. С первых же лет береза характеризовалась хорошим ростом и к возрасту 8 лет имела среднюю высоту 615-682 см. Теперь здесь чистое насаждение березы I – II классов бонитета без подроста и без подлеска.

В апреле 1934 г. была выполнена работа по закреплению плетнями подмываемого берега суходола вблизи устья третьего отвершка. Еще осенью 1932 г. здесь и на противоположном берегу водотока по оголенным откосам высевались семена березы, жимолости, ежевики, бузины. Однако всходы не появились. Колья из ивы ломкой высаживались под лом на глубину 0,5-0,7 м. Между кольями заплетали хворост из кустарниковых ив. Колья прижились, но осыпание откоса продолжалось. Для закрепления откоса на площади 0,08 га в начале мая 1955 г. в ямы с размещением 1 × 1 м высадили сеянцы ели и лиственницы. Смешение пород рядами. В 1956 г. проведено дополнено культур двухлетними сеянцами. Сформировалось сомкнутое смешанное насаждение из ели и лиственницы, осыпание откоса прекратилось (уч. 560).

Выше правого берега суходола (ур. Роговое) на присетевом склоне юго-восточной экспозиции крутизной 2-4° со средне и сильноносмытыми почвами расположено дубово-лиственничное насаждение (уч. 566, площадь 1,85 га), которое закладывалось как широкая (60 м) прибалочная лесная полоса. В 1924 г. здесь в лунки по дернине высевали желуди дуба, размещение лунок 2×2 м. В том же году между ними в ямки по задернованной почве были высажены сеянцы вяза обыкновенного и ясеня пушистого. Вяз и ясень имели очень плохое состояние и рост, низкими были приросты и у дуба. Поэтому весной 1932 г. на месте этих культур были высажены сеянцы лиственницы сибирской с размещением посадочных мест 10,0×0,7 м. Уходы за культурами не проводились. Сейчас в трехъярусном насаждении лиственница занимает первый ярус и имеет среднюю высоту 28 м при среднем диаметре 30 см. Состояние очень хорошее. Дуб значительно уступает ей по всем показателям, продолжается его естественное изреживание. Вяз и ясень остались в подросте (высота 3-5 м), где вместе с подростом липы формируют третий ярус. Имеется подлесок средней густоты из рябины, жимолости, бересклета, черемухи и других пород.

К этому насаждению примыкает насаждение дуба, заложенное в 1925 г. шпиговкой желудей по задернованной почве на площади 1,30 га (уч. 561, 562). Экспозиция берега юго-восточная, крутизна 18-20°. Почва серая лесная, средне- и сильноносмытая. В первые годы здесь, как и на

других подобных участках, дуб характеризовался медленным ростом. Во II-III классах возраста приросты его увеличились и началось интенсивное естественное изреживание. К возрасту 50 лет диаметр деревьев составлял 10-11 см при высоте 11-12 м. Санитарное состояние насаждения было неудовлетворительное: от 22 до 46 % деревьев были мертвые и отмирающие, более половины деревьев имели различные заболевания, преимущественно поперечный рак и некрозы. Вместе с тем к этому возрасту под пологом дуба начал формироваться подрост из ели и сосны веймутовой (до 3,0-3,5 тыс. шт./га), появившийся от расположенных на противоположном берегу насаждений этих пород.

Осенью 1975 г. здесь выполнены лесовозобновительные рубки узкополосными лесосеками. Всего заложено четыре лесосеки: две в верхней части берега и две – в нижней. В остальной части насаждения проведены интенсивные санитарные рубки. К осени 1976 г. 81,0-91,6 % пней дали поросль по 35-43 шт. на пне. В первые годы она имела стелющуюся форму, сильно повреждалась мучнистой росой, легко выламывалась. Затем ее состояние заметно улучшилось. К возрасту 7 лет средняя высота наибольших порослевин достигла 2,4-2,7, максимальная 3,3-4,5 м. Заметно улучшилось и состояние имевшегося подростка хвойных, особенно на сплошных вырубках. Здесь средняя высота подростка ели составляла 175, сосны веймутовой 212 см при величине годовых приростов за последний год учета соответственно 33 и 46 см. Под пологом насаждений подрост ели имел высоту 66 см и годичный прирост 9,9 см, сосны веймутовой соответственно 72 и 14,3 см.

Опыт включал также варианты содействия естественному возобновлению, посева семян сосны под пологом насаждений, посадки сеянцев сосны веймутовой, ели и лиственницы на свежих вырубках и под пологом насаждений. Положительные результаты получены только при посадке сеянцев сосны и ели под пологом разреженного насаждения. Всходы сосны поражались фузариумом и отмирали. Сеянцы лиственницы под пологом насаждения выпали из-за недостаточной освещенности. Взрыхленные для содействия естественному возобновлению полосы почвы в первый же сезон покрылись слоем опавших листьев, всходов древесных пород на них не появилось.

Отвершек 3. Устьевая часть левого берега отвершка занята дубовым насаждением площадью 0,85 га, представляет собой как бы продолжение аналогичного насаждения, заложенного шпиговкой желудей по правому берегу основного русла суходола. Крутизна откосов здесь

значительно больше (15-35°), почвы более смытые, а потому и состоящие насаждения хуже: около половины насаждения представлено мертвыми и отмирающими деревьями. К тому же из-за большой крутизны санитарные рубки не проводились (уч. 558, 559). В возрасте 65 лет деревья (только растущие) имеют высоту 16-19 м при диаметре 16-17 см.

Выше по склону расположено липово-лиственничное насаждение (уч. 557, площадью 0,80 га), которое закладывалось как прибалочная лесная полоса шириной 60 м. Весной 1929 г. в небольшие ямки по задернованной почве высажены сеянцы липы с размещением посадочных мест 2×2 м. Между ними в такие же ямки высажены сеянцы вяза обыкновенного и ясеня пушистого. Схема смешения Лп(Вз)-Вз(Яс)-Лп(Вз)-... Вследствие медленного роста высаженных пород на части насаждения весной 1932 г. выполнена его реконструкция: посадка сеянцев лиственницы сибирской с размещением посадочных мест 10×1 м. Лиственница быстро превзошла в росте остальные породы и вышла в первый ярус. У липы с возрастом увеличилась приросты в высоту, и она сформировала сомкнутый второй ярус. В возрасте 60 лет лиственница имеет высоту 27 м и диаметр 32 см, липа – соответственно 18 и 19 см. Вяз и ясень остались в подростке, имеют высоту более 3 м, сильно угнетены.

Далее к вершине отвершка на присетевых землях, изрезанных частыми промоинами, особенно в прибровочной части, расположено чистое насаждение из липы, являющееся как бы продолжением предыдущего насаждения (уч. 554 площадью 0,90 га). Реконструкция его не проводилась. Состояние липы хорошее, в возрасте 64 лет она имеет высоту 19 м, диаметр 20 см. Вяз и ясень сильно угнетены и практического значения не имеют.

Аналогичное насаждение из липы расположено на смытых присетевых землях, прилегающих к правому берегу отвершка (уч. 526, площадь 1,21 га). Насаждение закладывалось весной 1927 г. по схеме Лп(Ко)-Вз(Яс)-Лп(Ко)-... Здесь сохранилась только липа, остальные породы выпали. Подрост и подлесок отсутствуют.

В вершине отвершка 3 закладывались первые лесные культуры на территории станции. В 1923 г. по берегу и глубокому оврагу до его вершины по задернованной почве в ямки были высажены березы с размещением посадочных мест 1×1 м. Культуры оказались неудачными. Весной 1924 г. в самой вершине этого же отвершка и тоже в ямки по задернованной почве высадили сеянцы клена ясенелистного

и березы, а на месте ранее посаженных неудачных культур березы высадили сеянцы дуба. Посадочный материал поступил из Моховского лесхоза. Уходы за почвой не проводились.

Культуры похожего состава в настоящее время в вершине отвершка существуют на площади 0,04 га (уч. 539, 540), однако в них имеется примесь и других пород.

Весной 1923 г. выполнена посадка сеянцами-дичками березы по левому берегу отвершка западной экспозиции на площади 0,16 га в ямки по задернованной почве с размещением 1×1 м. Весной 1924 г. здесь же в шахматном порядке с размещением лунок 1х1 м выселили желуди дуба. Уходы не проводились. В первые годы 97 % сеянцев березы пострадали от обильного снега. В дальнейшем береза сформировала сомкнутое насаждение и в возрасте 65 лет имеет высоту 21 м и диаметр 25 см. Очевидно, на этом участке проводилось и дополнение кленом-остролистным, поскольку эта порода в настоящее время входит в состав насаждения. Дуб же сильно угнетен, интенсивно отмирает, а его сохранившиеся экземпляры, так же как и клена остролистного, имеют высоту только 8 м при среднем диаметре 9 см. Подрост из ели за счет полета семян встречается редко. Подлесок отсутствует (уч. 542).

В апреле 1938 г. по правому берегу отвершка высаживали экзоты, привезенные из ВНИАЛМИ: сосну Банкса, ясень ланцетолистный, лиственницу сибирскую, клен сахарный. При обследовании обнаружены только отмирающие деревья сосны Банкса (уч. 530 площадью 0,13 га). Участок занят изреженным насаждением березы естественного происхождения.

Примерно в это же время вдоль ветвящихся вершин отвершка высаживались 2-4-рядные оттеняющие полосы из березы на площади 0,20 га, описание которых приводится в отдельном разделе (уч. 527, 533).

Весной 1929 г. за бровкой правого берега отвершка от устья до упомянутого насаждения липы (уч. 526) высаживались в ямки, подготовленные с осени, двухлетние сеянцы вяза, ясеня, липы, клена, березы с размещением посадочных мест 1×1 м (уч. 519, 523, 524 общей площадью 0,95 га). В этих культурах (уч. 524) ясень имеет удовлетворительное состояние: в возрасте 60 лет его высота составляет 21 м, диаметр 19 см; у клена эти показатели несколько хуже, соответственно 16 м и 15 см (уч. 523). Береза, как и на других участках, имеет здесь более высокие показатели роста (уч. 519).

Весной 1934 г. проведена посадка сеянцев орехов черного, серого, маньчжурского на трех участках: по правому берегу отвершка 3

под пологом ранее высаженных культур березы, в чашеобразный прогиб этого же отвершка и на смытых присетевых землях правого берега отвершка 2 на фоне ранее заложенных культур ели. На третьем участке высаживался также и бархат амурский. Посадочный материал в виде 3-4-летних саженцев был получен из Лесостепной опытной станции. Посадка проводилась в ямки $0,5 \times 0,5 \times 0,5$ м. Приживаемость орехов была 100, бархата амурского 67 %. Но уже на следующий год начался интенсивный отпад всех видов. К настоящему времени не сохранилось ни одного высаженного экземпляра.

Осенью 1932 г. была предпринята попытка закрепления осыпающегося откоса по правому берегу суходола ниже устья отвершка 3. С этой целью по откосу высеяли семена березы, жимолости, бузины, ежевики. Однако попытка оказалась неудачной, всходы не появились. В 50-е годы поэтому же откосу были высажены сеянцы вишни. Приживаемость удовлетворительная. Вишня образовала густые заросли, осыпание откоса прекратилось (уч. 518, площадь 0,04 га).

Осенью 1927 г. на присетевых землях, примыкающих к правому берегу основного русла суходола от устья третьего отвершка почти до устья суходола, в ямки по задернованной почве были высажены сеянцы вяза и ясеня с размещением посадочных мест 1×1 м (уч. 492, 499 – 501, 512, 513). Часть культур на участке, расположенном ближе к устью суходола, закладывалась на щебенистых недоразвитых почвах. В основном же почвы сильно и весьма сильно смытые. Экспозиция юго-восточная, крутизна 2-7. В последующие годы вследствие слабого роста вяза и ясеня на этих же участках высевались другие породы. Так, сеянцы лиственницы высаживались в самой нижней части этого участка с недоразвитыми щебенистыми почвами. Посадку провели весной 1932 г. на площади 1,12 га в ямы с размещением $1,5 \times 1,5$ м. Сразу же были заложены пробные площадки для изучения влияния уходов за почвой на рост лиственницы. В 1937 г. на варианте с уходами было проведено 11 прополок и рыхлений почвы вокруг сеянцем. В возрасте 6 лет на участке с уходами лиственница имела высоту 195 см, отпад 44 %, на участке без уходов – соответственно 123 см и 75 %. Опыт показал, что на бедных почвах прополки и рыхления обязательны для успешного роста культур.

Лиственница быстро заняла господствующее положение и насаждении и к возрасту 60 лет имеет высоту 26 м и диаметр 21 см (уч. 490). Вяз же и ясень в этом возрасте имеют высоту всего 3-5 м, в

последние годы на участке начал формироваться подлесок из жимолости, бузины, рябины.

К восточной опушке этого насаждения (вниз по склону) примыкает небольшой участок яблони лесной (уч. 491, площадь 0,09 га) сеянцы которой были высажены в ямки по задернованной почве в 1932 г. Яблони ежегодно плодоносят, сильно выражена дифференциация деревьев по высоте и диаметру.

К северо-восточной опушке лиственничного насаждения примыкает участок 492 площадью 0,85 га, где в 1932 г. на фоне заложенных культур вяза и ясеня в ямки по задернованной почве посажена береза сеянцами по схеме 10,0-0,7 м. Весной 1936 г. между рядами березы в такие же ямки высадили по 3 ряда сеянцев сосны обыкновенной в связи с тем, что кроны березы при указанной схеме посадки будут не в состоянии перекрыть междурядья. Сосна почти полностью выпала в отличие от лиственницы, подобное размещение которой способствует формированию сложных насаждений, для сосны такую схему посадки следует признать неудачной, хотя береза в этом случае характеризуется успешным ростом и хорошим состоянием: в возрасте 60 лет ее высота 24 м при диаметре 28 см. Вяз и ясень несмотря на изреженный полог и достаточное освещение, остаются угнетенными и вряд ли сформируют второй ярус. В насаждении в небольшом количестве появился самосев сосны.

По откосу юго-восточной экспозиции крутизной 8-30°, изрезанному частыми и глубокими размывами, почти до устья третьего отвершка расположены чистые насаждения дуба, заложенные в 1924-1928 гг. шпиговкой желудей по слабо задернованной почве на площади 1,36 га (уч. 505-511). Количество посевных мест составляло около 80 тыс. шт./га, в каждое посевное место высевалось по 2-3 доброкачественных желудя. В конце 40-х – начале 50-х годов отмечалось, что эти насаждения сильно повреждены пожарами, очевидно, военного времени и расстроены бессистемными рубками. Санитарное состояние насаждений неудовлетворительное, много фаутных деревьев, стволы деревьев сильно сбежистые. К настоящему времени состояние их вследствие проведения санитарных рубок улучшилось. Но на некоторых участках (уч. 506, 507) из-за высокой интенсивности рубок произошло задернение почвы. На лучших участках (уч. 505, 509) в возрасте 65 лет дуб имеет высоту 19-22 м, диаметр 18-19 мм. Местами начал появляться в небольшом количестве подрост сосны обыкновенной и подлесок из рябины.

Весной 1935 г. высажены культуры дуба, березы, тополя, сосны, ели на откосах прибрежной части правого берега суходола (устьевая часть, уч. 494, площадь 0,25 га). Экспозиция юго-восточная, крутизна 15-28°. Посадка проводилась отдельными секциями (по главной породе) в смешении с жимолостью, лещиной, сиренью, акацией желтой с размещением посадочных мест 1,4×0,7 м. Опыт включал варианты с уходом за почвой, с внесением азотных, фосфорных, калийных удобрений (раздельно), без удобрений и без уходов. В первые годы имел место большой отпад, у тополя он доходил до 80 %. Самый большой отпад по всем породам отмечен на варианте с внесением калийных удобрений. Минимальный отпад – на варианте с уходами за почвой.

К настоящему времени ель выпала на всех вариантах. Остальные породы сформировали насаждения куртинного типа. Наиболее высокие показатели роста у тополя белого. К возрасту 58 лет деревья имеют высоту 26 м при диаметре 36 см. Появились и корневые отпрыски тополя. Остальные породы существенно уступают тополю прежде всего в диаметре. На местах выпада древесных пород кустарники сформировали густые заросли.

По щебенистому дну суходола в его устьевой части весной 1939 г. предпринята попытка выращивания культур сосны, ели, дуба, березы, тополя посадкой сеянцев в ямки, подготавливаемые перед посадкой. Уходы не проводились. К осени того года культуры выпали. Дальнейших попыток выращивания на этом месте культур не предпринималось.

Левый берег суходола. Левый берег суходола более пологий, чем правый, с длинными склонами редко круче 10-15°, с короткими береговыми размывами. Лесорастительные условия более благоприятные, так как почвы менее смыты, большая часть территории имеет северную и западную ориентацию. При облесении берегов использовался более обширный ассортимент древесных и кустарниковых пород. Однако вследствие потрав скотом молодых насаждений часть культур выпала. Следует отметить, что особенно интенсивно под пастьбу скота лесомелиорированные угодья начали использоваться в последние годы. При этом наносится большой ущерб не столько насаждениям, сколько самой почве, так как в дождливую погоду в местах прогона скота образуются глубокие тропы, которые длительное время не зарастают и служат коллекторами для вод поверхностного стока.

Описание истории выращивания насаждений по левому берегу суходола дается от устья отвершка 1 к устью суходола.

На склоновых землях крутизной до 5°, расположенных между двумя глубокими боковыми размывами, по обе стороны от кольматирующей полосы (уч. 631) весной 1950 г. на площади 0,19 га были высажены сеянцы сосны обыкновенной с размещением посадочных мест 1,0×0,5 м. В возрасте 40 лет сомкнутое насаждение сосны имеет высоту 20 м, диаметр 18 см (уч. 629, 629а, 629б). В насаждении интенсивно происходит естественное изреживание, формируется подлесок, преимущественно из бузины и рябины.

В апреле 1939 г. по откосам широкого берегового размыва на площади 0,08 га высаживались сеянцы акации белой. Левый откос размыва северо-восточной экспозиции был слабо задернован, правый юго-западной экспозиции не задернован. Посадка проводилась в ямки с размещением посадочных мест 1×1 м. Сеянцы брались из своего питомника, надземная часть их была повреждена мышами. При посадке были варианты с мульчей и без мульчи. Уходы не проводились. Лучшая приживаемость отмечена на варианте посадки по северо-восточному откосу без мульчи – 31 %, там же, но с мульчей 9 %. На откосе юго-западной экспозиции сеянцы не прижились. К настоящему времени акация выпала и на северо-восточном откосе.

Весной 1933 г. с целью изучения влияния уходов за почвой на рост и развитие древесных пород, заложен опыт па землях, расположенных за бровкой суходола (уч. 651, площадь 0,55 га). Крутизна склона 3-5°, экспозиция северо-западная. Тип культур однокустарниковый. Высаживались ель обыкновенная, сосна обыкновенная, сосна веймутова, сосна Банкса, лиственница сибирская, дуб черешчатый, дуб красный, осина, береза бородавчатая (повислая), ольха черная, липа мелколистная, тополь, груша, яблоня лесная, лещина, бузина красная, акация желтая, жимолость обыкновенная. Такие же культуры и в это же время были заложены за бровкой правого берега Глубковского суходола (уч. 244, площадь 0,47 га) и за бровкой крутого правого берега р. Зуши (уч. 388, площадь 0,21 га).

Отмечается исключительно большое влияние уходов за почвой в молодых культурах.

К настоящему времени (возраст 60 лет) дуб красный и сосна Банкса не сохранились. Ольха представлена единичными экземплярами, суховершинит. Из-за близкого расположения участков из быстрорастущих древесных пород (площадь каждого варианта занимает 10×10 кв. м) дуб сильно угнетен. По этой же причине сильно угнете-

ны сохранившиеся отдельные яблони и груши. Сосна обыкновенная, сосна веймутова, береза, ель, тополь, лиственница, липа, хотя и имеют различия в показателях роста, все же характеризуются успешными ростом и хорошим состоянием.

Вверх по склону к этому опытному насаждению примыкает елово-сосновое насаждение площадью 1,57 га, заложенное в 1932 г. на старопахотных землях за пределами бывшей территории станции. Посадка сеянцев, вероятней всего, выполнена в ямки с размещением посадочных мест 1,5×1,0 м. Схема смещения Е-Е-Е-С-С-С-Е-Е-Е... (уч. 657). Со временем здесь сформировалось высокополнотное насаждение с показателями роста по 1-бонитету. Однако, как и в других подобных массивных насаждениях хвойных пород, здесь появились очаги заболевания корневой губкой. Интенсивному распространению заболевания способствовала большая густота стояния древостоя. Проведенные в начале 70-х годов рубки ухода на части площади насаждения несколько улучшили санитарное состояние, но сомкнутость быстро восстановилась. В 1981 г. рубки ухода повторили. На этот раз их провели в виде сплошной вырубki каждого третьего ряда. Но естественное изреживание, хотя и несколько медленнее, продолжается, и происходит отпад деревьев, в основном из-за корневой губки.

Елово-сосновое насаждение, достигнув возраста плодоношения, явилось источником обильного подроста ели, а также сосны веймутовой (в меньшей мере) под пологом насаждения из березы 1928 г. посадки, примыкающего к его северо-западной опушке (уч. 658). Посадка сеянцев березы на площади 2,35 га были проведена в ямки с размещением 2×1 м. В возрасте 60 лет береза имеет высоту 22 м, диаметр 26 см. В 1983 г. на площади 1,04 га таких же культур проведены сплошные лесовозобновительные рубки (уч. 659). В настоящее время здесь имеется очень хороший подрост ели высотой 5-7 м.

Весной 1934 г. за бровкой берега основного русла суходола и правого берега отвершка За закладывался опыт по разработке схем смешения для культур на эродированных почвах. Применялись следующие схемы смешения: Д-Б(аж)-Б(Лп)-Б(аж)-Д... (уч. 662, площадь 0,09 га); Д(жм)- Б(аж)-Б(Лп)-Б(аж)-Д(жм)-... (уч. 661, площадь 0,09 га); Б(аж)-Б(жм)-Б(аж)-Т(аж)-Т(жм)-Т(аж)-Б(аж)-... (уч. 663, площадь 0,10 га).

Посадка проводилась в ямки по задернованной почве с размещением посадочных мест 1,1×0,7 м (на уч. 662 дуб высевался желудями с размещением лунок в ряду через 0.5 м). Уходы за почвой не

проводились. Каждый вариант, в свою очередь, делился на две части, на одной из которых вносился сернокислый аммоний в дозе 15 кг/га.

На следующий год на этих же участках доза удобрений увеличилась до 250 кг/га. Как свидетельствуют учеты, в первые годы все породы, за исключением липы, положительно реагировали на внесение удобрений и имели приросты в высоту в 1,5-2,0 раза больше, чем на участках без удобрений. Однако сохранность на них была ниже, чем на удобренных участках. Тополь к 1957 г. полностью выпал (уч. 663).

В возрасте 57 лет береза на всех вариантах имеет высоту 20-22 м, диаметр 22-25 см и характеризуется хорошим состоянием. Дуб сильно угнетен, остались лишь единичные экземпляры. Липа тоже угнетена, но в меньшей степени, и сохранилась на всех вариантах, на уч. 662 сформировала второй ярус высотой 10-12 м. Жимолость сохранилась единично, сильно угнетена, но побегообразовательная способность хорошая и при посадке на пень в условиях одновременного разреживания верхнего полога дает обильную поросль. Акация желтая повсеместно сформировала подлесок средней густоты. Местами начал появляться подрост ели и сосны веймутовой (уч. 661).

В 1937 г. заложены два опыта по разработке схем смешения древесных и кустарниковых пород с внесением различных доз минеральных удобрений. Каждый опыт имел трехкратную повторность вариантов.

Опыт 1 (уч. 654 на площади 0,21 га) заложен на склоне северо-западной экспозиции крутизной 3-4° по берегу суходола (1 и 2-я повторности) и на склоне северной экспозиции левого берега отвершка За (уч. 678, площадь 0,10 га). Высаживались дуб, береза, тополь в смешении с бузиной, жимолостью, акацией желтой при размещении посадочных мест 1,1×0,7 м. Посадка выполнена в ямки по задернованной почве сеянцами из своего питомника (тополь китайский черенками).

Варианты опыта:

а) с внесением фосфорных удобрений (суперфосфат) одновременно с посадкой сеянцев в дозах 25, 50, 75 кг/га, с уходами за почвой, но без удобрений, без ухода и без удобрений;

б) с внесением калийных удобрений (калийная соль) одновременно с посадкой – те же дозировки и ухода;

в) с внесением азотных удобрений (азотнокислый аммоний) через месяц после посадки – те же варианты, а также дополнительно варианты с внесением удобрения 150 и 200 кг/га за два приема: через 1 и 2 месяца после посадки.

В год посадки ни на одном из вариантов с внесением удобрений не было преимуществ в приростах деревьев в высоту в сравнении с вариантами без внесения удобрений. Внесение калийных удобрений увеличило отпад сеянцев. Преимущество вариантов с уходами за почвой, имевшее место в первые годы, сохранилось и в последующие. Следует отметить, что на всех вариантах опыта прирост дуба в высоту не превышал 2-3 см.

Со временем повсеместно сформировались сомкнутые насаждения из березы. Тополь выпал полностью, возможно, из-за сильного охлестывания березой. Дуб постоянно находился в угнетенном состоянии и сохранился в подросте в небольшом количестве. В 1986 г. на участках 1 и 2-й повторностей площадью 0,21 га проведены сплошные лесовозобновительные рубки. К этому времени высота березы была 22 м, диаметр 23-24 см. Под пологом древостоя имелся обильный подрост ели и редкий подлесок из акации желтой. При проведении рубок подрост был сильно поврежден, остались нетронутыми лишь его отдельные куртины. Спустя 5 лет появление нового подроста отмечалось на всей площади участка.

На оставленной нетронутой 3-й повторности (уч. 678, площадь 0,10 га) береза имеет высоту 25 м, диаметр 27 см. Дуб здесь также сильно угнетен, занимает ярус подроста высотой 4-6 м. Имеется подлесок из акации желтой средней густоты высотой до 3 м.

Опыт 2 на площади 0,22 га заложен за бровкой правого берега отвершка 3а (уч. 665, 666, 667), варианты опыта имеют двукратную повторность. Схемы опыта по породному составу и схемам смешения полностью дублируют схемы предыдущего опыта. Сохранялись и те же дозы удобрений, но вносились они дробно в три срока: через месяц после посадки, 10 июня и 5 июля. Выяснилось, что варианты с дробным внесением удобрений также не имели преимуществ над вариантами с уходами за почвой. Здесь со временем сформировались чистые березовые насаждения. Тополь сохранился лишь единично, дуб – в виде угнетенного подроста высотой 4-6 м, по опушкам – до 10 м. Береза имеет хорошее состояние, высота ее к возрасту 65 лет достигла 23-24 м и диаметр 26-27 см. На всех вариантах имеется обильное естественное возобновление ели высотой 1,5-2,0 м. Подлесок представлен акацией желтой разной густоты высотой до 3 м.

Таким образом, внесение минеральных удобрений на смытых почвах не заменило ухода за почвой, которые являются одним из основных условий успешного выращивания насаждений.

Отвершек За, входящий в систему Одинокского суходола и расположенный по его левой стороне, имеет длину немногим более 200 м. Вершинная и устьевая части его имеют крутые откосы до 43-45°, срединная часть представляет собой длинные пологие склоны крутизной 6-17°.

Весной 1933 г. в устье отвершка по обоим осыпающимся крутым откосам северо-восточной и юго-западной экспозиций на площади 0,02 га была проведена посадка сеянцев лиственницы сибирской, тополя душистого, березы, липы мелколистной, ели обыкновенной, ольхи черной, ясеня обыкновенного, клена остролистного, яблони, ивы (уч. 683). Посадка выполнялась в ямки с размещением 1×1 м. Деревья высаживались двухрядными лентами. До 1935 г. ежегодно выполнялось по 1-2 ухода за почвой. Цель опыта – подбор ассортимента для облесения осыпающихся откосов.

К настоящему времени среди 60-летних насаждений лучшие показатели роста имеют лиственница, сосна веймутова, береза, высота которых достигает 20-27 м, а диаметр 23-30 см. Особенно хорошим ростом, состоянием и сохранностью характеризуется лиственница. Липа несколько уступает перечисленным породам, но имеет вполне здоровый вид и хорошо развитую крону. Тополь почти полностью выпал, сохранилось только два дерева диаметром 35 см. Вполне удовлетворительное состояние имеют: ясень и клен, высота которых достигла 16-18 м при диаметре около 18 см, кроны деревьев хорошо развиты. Сильно отстали в росте вяз и ель. Последняя явно угнетена и выпадает из насаждения. Сохранившиеся деревья ольхи имеют высоту до 23 м и диаметр до 20 см, но их мало, они суховершинят. По руслу отвершка встречается редкое естественное возобновление ольхи черной в хорошем состоянии. Имеется также обильное естественное возобновление клена остролистного, особенно на откосе северном экспозиции.

В устьевой части этого же отвершка, по правому берегу, на небольшой террасе, непосредственно примыкающей к бровке донного размыва, расположена сохранившаяся часть насаждения лещины (уч. 670 площадью 0,03 га, опыт по изучению влияния минеральных удобрений на рост молодых культур). Экспозиция склона юго-западная, крутизна 7-9°. Здесь осенью 1934 г. под сплошную вспашку был внесен суперфосфат из расчета 400 кг/га. Весной 1935 г. высажены сеянцы ореха черного и серого через ряд с лещиной обыкновенной. Между рядами 1,5 м, расстояния между орехами в ряду 2,0, между лещиной

0,7 м. Этим же опытом преследовалась цель изучения возможности выращивания плантаций для заготовки орехов лещины и применения экзотов для облесения гидрографической сети. Первые результаты были обнадеживающими. Через два года после посадки сохранность оставалась высокой, отпад составлял у ореха черного 7, у лещины 6 и только у ореха серого 26 %. Но к настоящему времени не сохранилось ни одного экземпляра орехов. Лещина же сформировала сомкнутое насаждение и периодически обильно плодоносит. Время от времени здесь проводится и сплошная вырубка, после чего появляется обильная поросль и снова формируется сомкнутое насаждение.

На двух других участках этого же опыта, расположенных несколько выше по руслу отвершка, под вспашку вносили по 250 кг/га калийной соли и 150 кг/га сернокислого аммония (раздельно по вариантам). Весной 1935 г. на обоих вариантах были высажены по 14 видов ив. Помимо изучения влияния различных видов удобрений на рост и побегообразовательную способность ивы, ставилась задача изучения возможности выращивания на гидрографической сети плантаций ивы для заготовки прута на корзины. Наблюдения за ростом в первые годы после посадки показали, что удобрения не оказали положительного влияния ни на рост, ни на побегообразовательную способность ивы. В то же время отмечалось, что приживаемость черенков была высокой (минимальная 80 %), качество получаемого прута – хорошим. Но в настоящее время ива на этих вариантах не сохранилась и участок занят лугом с небольшими куртинами березы по размывам.

По правому берегу отвершка к насаждению из лещины примыкают сосновое и дубово-березовое насаждения (уч. 671 и 672 площадью 0,06 и 0,16 га). Оба насаждения заложены на откосе юго-западной экспозиции от бровки берега отвершка до бровки донного размыва предположительно в 1934-1936 гг. посадкой по напаханным бороздам (уч. 672) и в ямки по слабо задернованной почве (уч. 671). Верхнюю часть откоса крутизной 20-25° занимает насаждение сосны, нижнюю, более пологую, береза с дубом.

Сосна высаживалась рядами поперек склона через 3 м. В междурядьях, тоже чистыми рядами, высаживались лещина или акация желтая, жимолость или сирень. С этими же кустарниками высаживалась и береза, но смешение делалось в ряду. Дуб высаживался чистыми рядами.

Сосна и береза имеют хорошее состояние и растут по 1 бонитету. Дуб почти в 3 раза уступает им в росте по высоте и диаметру, в

большом количестве отмирает. Можно ожидать в ближайшие годы его полную гибель, если сильно не разредить полог березы. Из кустарников лучшее состояние имеет лещина, особенно под пологом березы. Встречается также и самосев лещины. Сирень и жимолость почти полностью выпали, а сохранившиеся кусты сильно угнетены, изрежены, хотя и способны еще к побегообразованию.

Весной 1934 г. по правому берегу отвершка посадкой сеянцев в ямки по задернованной почве полосами сверху вниз по склону были высажены липа мелколистная, сосна обыкновенная, ель обыкновенная, береза; вяз обыкновенный, сосна веймутова, клен полевой, яблоня, груша, тополь бальзамический, ива, осина, ясень обыкновенный, ольха черная, лиственница сибирская, акация желтая, бузина красная, жимолость обыкновенная (уч. 673, площадь 0,31 га). Экспозиция склона юго-западная, крутизна 10-12°. Размещение посадочных мест 1×1 м.

Наблюдения в первые годы после посадки показали, что наиболее успешно росли лиственница, береза, сосна, тополь, ива, ольха и очень медленно – клен, ясень, вяз. Лидерство хвойных, березы и тополя сохраняется до настоящего времени (55 лет), ольха и ива почти полностью выпали. Хорошее состояние и хорошие показатели роста также у липы, ели. Клен не сохранился. Вяз сильно угнетен, высота его не превышает 3-4 м. У самого русла отвершка по опушке имеется куртина деревьев вяза высотой около 20 м и диаметром 16 см. Несколько лучше показатели роста у ясеня.

По всей площади опыта встречается куртинами естественное возобновление ели, сосны веймутовой, а также подлесок с преобладанием рябины.

Аналогичный опыт с набором таких же пород заложен по правому берегу Глубковского суходола юго-восточной экспозиции (уч. 243, площадь 0,22 га).

Ветвящаяся вершина отвершка занята куртинными насаждениями лещины, ели, клена преимущественно естественного происхождения. И только ближе к устью левого берега отвершка имеется массивное смешанное насаждение с преобладанием березы площадью 0,31 га (уч. 680, 682). История участка неизвестна. В 1934 г. на части площади от бровки до русла отвершка высаживались вяз, тополь и 18 видов ив. Между рядами 1 м., смешение полосами.

Сохранились лишь единичные деревья тополя до 36 см в диаметре и короткие отрезки рядов вяза высотой не более 5 м (уч. 681, площадь 0,2 га). Ивы представлены отдельными кустами высотой 4-5 м.

Весной 1933 г. рядом с этим насаждением, между бровкой берега и кольматирующей клеткой, посадкой в ямки по задернованной почве были заложены секциями культуры осины, тополя, березы (уч. 682, площадь 0,21 га). Приживаемость березы составила 94, осины 91, тополя 82%. Уходы за культурами не проводились, в возрасте 8 лет береза достигла высоты 4,6, осина 1,7, тополь 1,5 м. В отчётах не упоминается о состоянии культур осины и тополя, но судя по приведенным там показателям роста уже в том возрасте они отмирали.

В настоящее время здесь чистое насаждение березы высотой 23 м и диаметром 25 см. Имеется подрост ели, липы, клена средней густоты высотой до 5 м; в подлеске рябина, лещина, черемуха средней густоты.

Весной 1932 г. непосредственно по берегу основного русла суходола, возле устья отвершка За, были высажены и ямки по задернованной почве сеянцы сосны веймутовой с размещением посадочных мест 1,5×1,0 м (уч. 684, площадь 0,10 га). Экспозиция северо-западная, крутизна 7-9°.

Данных о росте в первые годы не имеется, однако известно, что культуры были повреждены в годы войны. В настоящее время здесь чистое, но изреженное насаждение сосны веймутовой (около 500 деревьев на 1 га) с сильно развитыми кронами. Средний диаметр деревьев достиг 40 см, но высота лишь немногим превышает 20 м. Насаждение является хорошим источником обсеменения близлежащих откосов. Самосев сосны веймутовой появился также и под пологом расположенных рядом лиственных насаждений.

По такой же схеме (1,5×1,0 м) закладывалось и насаждение осины, примыкавшее к нему с северо-западной стороны (уч. 685, площадь 0,29 га). Однако она почти полностью выпала, площадь участка занята естественным насаждением ели, очень густым, высотой до 5 м.

В 1933 г. по верхней границе обоих участков создавалось насаждение из ели, сосны обыкновенной, сосны веймутовой, березы (уч. 687, площадь 0,10 га). Породы высаживались лентами из трех рядов в ямки по слабо задернованной почве с размещением посадочных мест 1,7×1,0 м. 1 Участок, как и нижерасположенные, изрезан густой сетью мелких промоин.

Все породы характеризуются успешным ростом, береза, очевидно, была вырублена еще в молодом возрасте. Но из-за отсутствия лесоводственных уходов в лентах имеются неравномерные выпадения, в

которых в большом количестве появился самосев ели и в меньшем сосны веймутовой.

Напротив устья третьего отвершка расположено чистое еловое насаждение. Участок изрезан густой сетью промоин разной глубины. Культуры заложены весной 1931 г. на площади 0,27 га посадкой сеянцев в борозды, нарезанные конным плугом. Размещение посадочных мест 1,5×1,01 м. В течение 1931-1933 гг. за культурами ежегодно проводилось по 1-2 ухода в виде рыхления почвы вручную в рядах, между рядами выкашивались. В военные годы насаждение сильно повреждалось пожарами. С возрастом здесь все же сформировалось хорошее сомкнутое насаждение (уч. 686) с мощной подстилкой, особенно по промоинам, рост которых прекратился. К возрасту 60 лет насаждение достигло высоты 22 м, диаметр деревьев 19 см. Однако, как и на других участках массивных насаждений из хвойных пород, здесь появился очаг заболевания корневой губкой. Продолжается и процесс естественного изреживания. По опушкам и под пологом близко расположенных лиственных насаждений имеется обильное естественное возобновление ели, в том числе и на крутых откосах донного размыва.

В 1936 г. напротив нижней кольматирующей клетки левого берега суходола был заложен опыт по изучению влияния минеральных удобрений и уходов за почвой на рост культур, а также с целью подбора ассортимента древесных и кустарниковых пород для облесения берегов гидрографической сети (уч. 692, площадь 0,39 га). Применялись следующие варианты посадки: 1 – ясень зеленый + кустарник; 2 – береза + тополь китайский + кустарник; 3 – ясень обыкновенный + дуб + кустарник; 4 – тополь канадский + ель + кустарник; 5 – сосна обыкновенная + кустарник; 6 – тополь китайский + береза + кустарник; 7 – дуб + ясень обыкновенный + кустарник; 8 – ель + береза + тополь + кустарник.

Из кустарников использовались смородина черная, спирея калинолистная, бересклет бородавчатый, лещина обыкновенная, свидина белая. На местах кустарников также высаживались яблоня лесная и слива.

На каждом варианте изучалось совместное и раздельное влияние уходов за почвой и применения минеральных удобрений:

1 – сплошной уход за почвой без внесения минеральных удобрений; 2 – внесение азотных удобрений без уходов за почвой; 3 – внесение азотных и фосфорных удобрений без уходов за почвой; 4 – внесение фосфорных удобрений без уходов за почвой. Контролем служили культуры возделываемые без уходов за почвой и без внесения минеральных удобрений.

Кустарники высаживали в междурядьях древесных пород рядами, размещение посадочных мест 1,0×0,9 м. Фосфорные удобрения вносили одновременно с посадкой сеянцев по 25 г суперфосфата в каждое посадочное место; азотные (селитра) – вразброс через 3 недели после посадки и заделывали граблями вручную. Осенью 1936 г. культуры были потравлены скотом. Сохранность культур на большинстве вариантов составила только 10-20 %. Судя по учетам 1941 г., дополнение здесь так и не было проведено.

В настоящее время на месте этих культур расположены куртинные насаждения полнотой 0,3-0,5, растущие преимущественно по 1 бонитету, некоторые секции пустуют. Ель отсутствует. Наиболее крупные деревья тополя достигают высоты 25 м и диаметра 40 см. Имеются корневые отпрыски тополя белого. Береза и сосна уступают тополю в диаметре, но одинаковы с ним по высоте. Дуб и ясень растут несколько хуже: высота 16-17 м, диаметр 14-17 см. Сформировался очень густой подлесок на всех вариантах с преобладанием спиреи и лещины, реже встречаются рябина, бересклет, яблоня.

В 1935 г. по левому берегу суходола, между двумя кольматирующими клетками на площади 0,99 га был заложен опыт по изучению влияния минеральных удобрений на рост различных видов ивы. Применялись следующие варианты внесения удобрений: 400 кг/га суперфосфата; 250 кг/га калийной соли; 150 кг/га азотной селитры; 400 кг/га суперфосфата + 250 кг/га калийной селитры + 150 кг/га азотной селитры; контроль – без внесения удобрений.

Фосфорные и калийные удобрения вносились под основную вспашку осенью 1934 г., азотные летом 1935 г. Черенки ивы высаживались под шпильку с размещением 0,5×0,2 м. На вар. 1 были высажены 3 вида ив, на вар. 2 – 4 вида, на вар. 3 – 14 видов, на вар. 4 – 4 вида, на вар. 5 – 14 видов. До 1937 г. на всех вариантах обеспечивался двукратный уход за почвой.

Приживаемость черенков у большинства видов ив составила 90-95 %, но *S. purpurea*, *S. amigdalina*, *S. daphnoides*, *S. pulchra* дали в первый же год отпад 25-57 %. Высота побегов в год посадки большинства видов составляла 30-40 см, у *S. viminalis* 73, *S. viridis* 50, *S. purpurea* var. *utilissima* 50, *S. purpurea* 58 см, а среднее количество побегов на черенке редко превышало 2 шт. На следующий год количество побегов увеличилось до 2-4 шт., а приросты в высоту составили 50-60 см. В этом же году была выполнена обрезка побегов. По-

видимому, обрезка проводилась и в последующие годы, потому что по учетам 1941 г. средняя высота кустов находилась в пределах 140-200 см при длине побегов в последний год 94-164 см. Количество побегов на куст составило 4-7 шт. при максимальном их числе *S. purpurea* var. *uralensis* 12 шт. Участки с внесением удобрений преимуществ в росте по сравнению с вариантом без удобрений не имели. На всех вариантах отмечалось хорошее качество прута.

Еще в 1950 г. отмечалось, что видовой состав высаженных ив с хорошим качеством прута сохранялся в основном на всех вариантах, рекомендовалась обязательно ежегодная обрезка побегов, но она не выполнялась. К настоящему времени ивы почти полностью выпали на всех вариантах и теперь здесь изреженное насаждение березы естественного происхождения (уч. 691).

Опыт с использованием в качестве посадочного материала черенков ив закладывался также по левому берегу отвершка За на площади 0,20 га. Экспозиция северо-восточная, крутизна 7-9°. Высаживались черенки 14 видов ив. Посадка проведена по сплошной вспашке в апреле 1934 г. одновременно с закладкой маточной плантации в питомнике и теми же видами.

Всего заложено три варианта: с уходами за почвой; обминанием травы вокруг черенков (побегов) и без уходов. Последний вариант имел две повторности: в верхней и нижней частях берега.

Учеты культур в первые годы их жизни показали, что на всех вариантах опыта абсолютное большинство ив имели высокую приживаемость, составляющую 95-100 %. Однако выделилась группа, имевшая на всех вариантах более низкую приживаемость. Это *S. aurea* (60-70 %), *S. purpurea* (74-85 %), *S. caspica* (63-90 %), *S. carnea* (78-80 %). Уже в следующем году отпад у названных видов резко увеличился, составив 70-80 %, в то время как у остальных он находился в пределах 20-30 %. К 1941 г. у большинства видов ив отпад достиг 60-80 %, некоторые виды к этому времени уже выпали.

Во все годы наблюдений максимальный отпад имел место на варианте с уходами, что можно объяснить лишь некачественным выполнением работ. На двух других вариантах к этому времени не только сохранилось больше видов (12 из 14), но и высота побегов составляла 74-160 см (вариант с обминанием травы) и 62-132 см (вариант без уходов). Наиболее высокие приросты имели *S. viminalis* – 161 см, *S. triandra* – 160 см, *S. inolissima* – 121 см, *S. undulata* – 121 см, *S. carnea* – 40 см. До настоящего времени насаждение не сохранилось.

В 1935 г. по левому берегу устьевой части суходола по сплошной вспашке почвы была заложена прибалочная лесная полоса небольшими секциями различных древесных пород: липы мелколистной, березы, сосны обыкновенной, ольхи черной, осины, ели, тополя бальзамического (уч. 695, площадь 0,49 га). В качестве подлеска высаживались акация желтая, рябина, бузина красная, сирень, лещина, жимолость. Размещение посадочных мест 1,1×0,7 м. К сожалению, не найдена первоначальная схема смешения пород по секциям. По сохранившимся насаждениям не представляется возможным восстановить ее, несмотря на то, что все перечисленные породы в той или иной мере присутствуют в составе насаждений. Известно также, что для каждой породы (главной) применялись пять вариантов посадки: с использованием азотных, фосфорных, калийных удобрений (раздельно), с уходами за почвой без удобрений, без ухода и без удобрений. Повторность вариантов двукратная.

По сохранившимся карточкам учета культур в возрасте двух лет можно видеть, что внесение минеральных удобрений не способствовало увеличению приживаемости приростов, а наиболее высокие их показатели были на варианте с уходами за почвой. Исключение составили сирень и акация, которые на внесение азотных удобрений реагировали увеличением прироста в высоту. Это преимущество сохранялось и в возрасте 6 лет. Насаждение было сильно повреждено в годы войны. К настоящему времени имеют хорошее состояние сохранившиеся деревья березы, сосны, липы. Полностью выпала из состава насаждений ель, суховершинит и постепенно отмирает ольха черная. Тополь и осина в большинстве своем были вырублены уже и последние годы. Обращает на себя внимание рябина, отдельные экземпляры которой вышли в первый ярус и имеют высоту 12-14 м, несколько не уступая по высоте липе. Хорошее состояние имеют также кустарники: лещина, сирень, жимолость, акация желтая. Бузина же полностью выпала на всех вариантах.

Коренной берег р. Зуши

Урочище расположено между устьями Одинокского и Глубковского суходолов (рис. 5). Берег сложен девонскими мергелями, известняками, доломитами, изрезан частыми береговыми размывами. Крутизна 50-70°, часто встречаются осыпи. Превышение над уровнем

р. Зуши достигает 60 м. Недоразвитые почвы с большой примесью щебня расположены в верхней части крутого откоса и выше бровки.

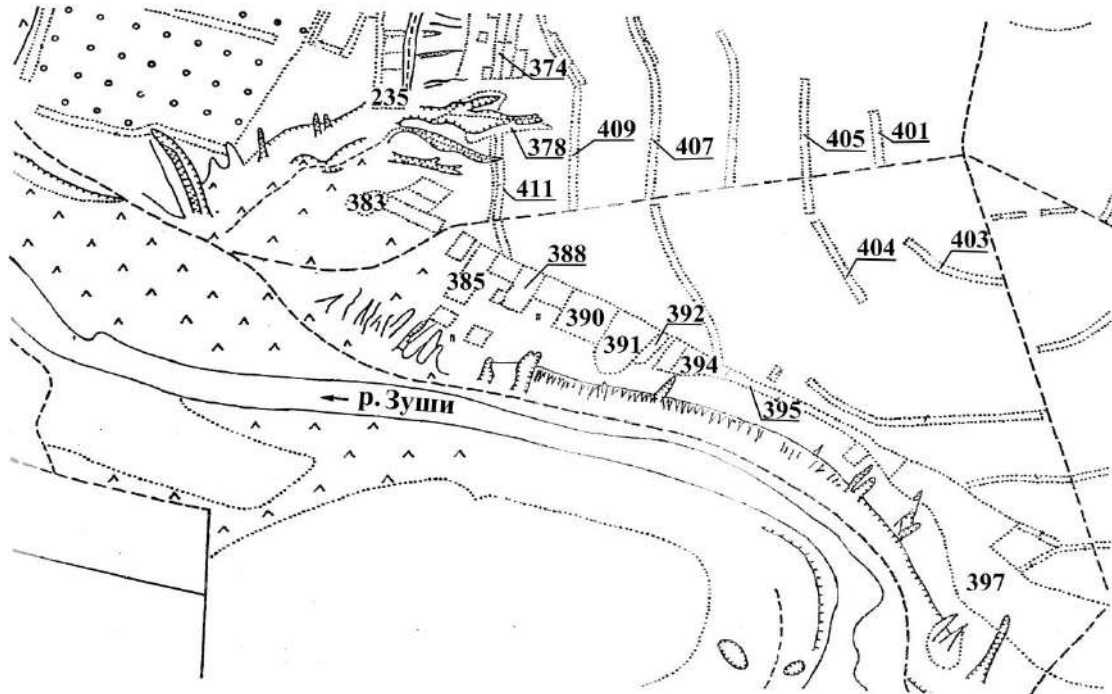


Рис. 5. Схема размещения защитных насаждений по правому берегу р. Зуши

Попытки облесения крутого осыпающегося коренного берега реки и примыкающих к нему участков с недоразвитыми щебенистыми почвами предпринимались неоднократно. Использовались не только местные древесные и кустарниковые породы, но и экзоты. Наиболее часто сажали сеянцы, в ямки с размещением 1×1 или 2×1 м.

Лесокультурные работы начались в 1931 г. Осенью этого года высажены сеянцы березы с глыбками земли, т. е. с закрытой корневой системой. Участок представлял собой слабо задернованный, местами осыпающийся, щебенистый откос. Весной 1932 г. между рядами высаженных с осени сеянцев березы в такие же ямки посажены сеянцы сосны веймутовой (с глыбками) и черенки шелюги красной, а в рядах ямками высеяны семена акации белой. К 1934 г. шелюга и сосна выпали полностью, у березы отпад составил 96%. Таким образом, попытка создания насаждения не увенчалась успехом.

На другом участке с аналогичными условиями произрастания в апреле 1932 г. в ямки с размещением 2×1 м высаживали 3-летние са-

женцы яблони-китайки, 2-летние – березы и лиственницы сибирской. Схема смешения Б(ябл)-Л(Б)-Л(Б)-Б(ябл)-... По учету 1934 г. в верхней части участка отпад березы составил 90, лиственницы 68, яблони 10 %; в нижней части участка соответственно 84, 72, 12 %. Но разыскать культуры с подобной схемой смешения в настоящее время не удалось. Дело в том, что как здесь, так и на других подобных участках, в более позднее время на фоне ранее созданных неудачных культур делались попытки облесения, часто с применением уже других пород. Кроме того, по крутому берегу Зуши в течение 18 месяцев проходила передняя линия обороны наших войск во время Великой Отечественной войны, и все насаждения были очень сильно повреждены.

Весной 1932 г. на крутосклоне высажены культуры сеянцами в ямки с размещением 1×1 м. Схема посадки: жим(лещ)-сосна Банка (сосна обыкновенная)-сосна веймутова (береза). В июне этого же года между рядами древесных пород высеяны семена акации желтой, жимолости обыкновенной, крушины слабительной, акации белой, бересклета. Семена, за исключением бересклета, дали всходы, которые, однако, вскоре погибли. При посадке сеянцами к концу первого года приживаемость кустарниковых пород составила 72-94, древесных 30-51 %. Но уже к 1939 г. осталось только небольшое количество кустов жимолости. Остальные породы полностью выпали.

Весной 1934 г. вновь была предпринята попытка облесения крутосклона с щербенистыми недоразвитыми почвами. Почва готовилась ямками 25×25×25 см, в которые высаживались сеянцы березы, ясеня, клена остролистного. Сеянцы получены из Лесостепной опытной станции Липецкой области. Приживаемость березы составила 76, клена остролистного 77, ясеня 88 %. Однако состояние сеянцев было неудовлетворительное, за исключением березы, которая к 1941 г. (возраст 7 лет) достигла высоты 83 см. Две другие породы имели высоту 18-27 см. При инвентаризации в 1950 г. эти культуры не были обнаружены.

Неудачи с посадкой местных пород привели к необходимости использования экзотов. Весной 1932 г. на одном из участков в ямки с размещением 2×2 м высаживали чистыми культурами сеянцы сосны веймутовой, птелеи, вишни пенсильванской, вишни американской (так указано в карточке пробной площади). Сосна веймутова имела низкую приживаемость – 16,5 %, вишня пенсильванская 8,1 птелея 78, вишня американская 84 %. Но уже при учетах 1941 г. в карточке пробной площади этих культур упоминаются другие породы (ясень, клен, яблоня,

акация). Следует отметить, что в настоящее время на крутосклоне на щебенистых недоразвитых почвах со слабым травянистым покровом имеется только небольшой участок с очень низкорослым кустарником с мелкими плодами по форме, цвету и вкусу напоминающими плоды вишни. Высота кустарника не превышает 30-50 см. Ежегодно плодоносит, причем обильно, распространяется естественным путем.

Неудачи с облесением щебенистого крутосклона побудили к поиску новых способов выращивания культур. В апреле 1939 г. на участке, примыкающем к устью Одинокского суходола (поворот реки), в ямки под лопату заложены культуры сосны со следующими вариантами посадки и удобрения: одновременно с посадкой сеянцев суперфосфат с землей, предназначенной для заделки сеянцев; азот и калий после посадки поливом 0,5%-ным водным раствором; без ухода за почвой; полное удобрение, двукратный уход за почвой; сплошное мульчирование поверхности почвы мелкой соломой слоем 2 см с притуживанием соломы камнями; двукратные уходы за почвой без удобрений, без какого-либо воздействия на почву. Повторность опыта 4-кратная.

Но и эти культуры оказались неудачными: к концу первого же вегетационного периода только на варианте с двукратными уходами сохранность сеянцев составила 8 %, на варианте с уходами и одновременным внесением полного удобрения 6 %. На остальных же вариантах все сеянцы выпали.

Аналогичный опыт был заложен на участке юго-западной экспозиции, непосредственно примыкающем к бровке крутосклона. Посажены чистые культуры сосны сеянцами по сплошной вспашке почвы с размещением посадочных мест 1×1 м по следующим вариантам: мульчирование почвы непосредственно вокруг сеянцев соломой; уходы за почвой не проводились; двукратные уходы за почвой вокруг сеянцев без мульчирования; посадка сеянцев без мульчирования и без уходов; посадка сеянцев по необработанной почве без уходов и без мульчирования. Повторность вариантов трехкратная. К концу первого вегетационного периода на контрольном варианте отпад составлял 86, на остальных 32-44 %. Через год сохранились только единичные экземпляры, а потом выпали и они.

Попытки облесения крутого щебенистого берега р. Зуши предпринимались и в послевоенные годы. Так, в апреле 1953 г. желуди, полученные из Белоруссии, со всхожестью 85 % высевали в лунки, расположенные в форме конверта, по 35 шт. (размер площадок-

конвертов 2,5×2,5 м) и рядами под копые с размещением посевных мест 0,2×0,5 м (по 2 желудя в посевное место). Были высажены также сеянцы сосны обыкновенной по схеме 1×0,7 м. Однако вследствие весенней засухи 1954 г. культуры погибли.

В апреле 1955 г. по слабо задернованной щебенистой почве крутосклона (до 45°) проведена посадка сеянцев ели, лиственницы, сосны, березы, липы, бересклета в ямки с размещением 1×1 м, подготовленные непосредственно перед посадкой. Засыпка посадочных ям проводилась гумусированной почвой, перемешанной с перепревшим навозом. Щебень из посадочных ям выкладывался по их нижнему краю. Сеянцы получены из Моховского лесхоза в хорошем состоянии (лиственницы – в удовлетворительном). Применялись 4 варианта смешения в рядах (по отдельным участкам): ель-береза, липа-лиственница, лиственница-бересклет, сосна-липа. В июне проведен уход за почвой в лунках. Весной 1956 г. культуры дополнены теми же породами с соблюдением схем смешения, но и эти культуры погибли.

В те же годы, что и на крутосклоне, закладывались культуры на присетевых землях. Склон южной и юго-западной экспозиции, почвы сильно смытые, щебенистые.

Весной 1930 г. на площади 0,53 га (уч. 391, 392) были заложены культуры ясеня пенсильванского в смешении с кленом остролиственным в ямки по задернованной почве. Уходы не проводились. К концу вегетации 1935 г. отпад составил 29 % у ясеня пенсильванского и 10 % у клена остролистного. Но состояние их и рост были явно неудовлетворительными: листья имели светло-зеленую окраску, а высота в возрасте 5 лет составляла всего 18-24 см. На другом участке культур этих же пород с размещением посадочных мест 1,2×1,2 м в возрасте 5 лет отпад у ясеня составлял 37, у клена 26 %, средняя высота 18 см. Состояние также неудовлетворительное. С возрастом состояние культур несколько улучшается. Эти породы в настоящее время входят в состав насаждений березы, заложенных на фоне казавшихся безнадежными культур этих пород.

За бровкой крутосклона осенью 1930 г. на площади 0,36 га (уч. 385) была предпринята попытка создать культуры посадкой сеянцев сосны, березы, липы, клена, ясеня, вишни, вяза, яблони, крушины. Сосна высаживалась чистыми рядами, остальные породы в смешении друг с другом. В 1935 г. отпад сосны составил 51, липы 20 %. По остальным породам данных не имеется, но известно, что береза в

этом возрасте имела среднюю высоту 163, сосна 137, липа 47 см. Сейчас на месте этих культур имеется насаждение с преобладанием березы и сосны; во втором прусе находятся липа и клен, встречаются единичные деревья вяза, ясеня.

Несколько позднее и тоже над бровкой крутосклона на площади 0,62 га был заложен опытный участок по выращиванию культур разных пород разными способами (посадкой и посевом) в разные сроки – осенью 1933 г. и весной 1934 г. – по предварительно подготовленной почве и без подготовки почвы, с уходами и без уходов. Высаживались сосна веймутова, груша, яблоня в ямки с размещением посадочных мест 1,2×0,7 м. Семена бузины, лещины, акации желтой, жимолости, ясеня высевались между рядами древесных пород.

Весной 1934 г. на участке посадки осенью 1933 г. (вероятно, из-за большего отпада) проведено дополнение липой, сосной обыкновенной, березой, тополем бальзамическим, осинкой, сосной веймутовой, тополем берлинским, ясенем обыкновенным; из кустарников высаживались лещина, бузина, акация желтая, жимолость. Причем принятая ранее схема посадки не всегда соблюдалась, что необычайно затруднило анализ полученных результатов, тем более что деланки каждого варианта посадки древесной или кустарниковой породы делились еще на две части: верхнюю и нижнюю. Все же и в культурах посадки осенью 1933 г., и в культурах посадки весной 1934 г. лучшая приживаемость была на вариантах без уходов. Теперь здесь насаждение преимущественно порослевого происхождения, сложное по составу. Первоначальную схему посадки восстановить практически невозможно (уч. 388, 390).

Весной 1934 г. по неподготовленной почве в ямки с размещением 1,2×0,6 м выполнена посадка сеянцев березы бородавчатой, березы пушистой, сосны обыкновенной, бузины, акации желтой, жимолости, черемухи виргинской, бересклета на площади 0,36 га (уч. 394). К осени 1935 г. только бузина имела большой отпад – 77 %, остальные породы – не более 12 %. Но уже к осени 1941 г. береза имела отпад 78, сосна – 70 %, из ведомости учета культур исчезла береза пушистая, бузина, бересклет, зато появились новые породы – ясень, клен. Очевидно, между 1935 и 1941 гг. было проведено дополнение и на других участках опытных культур, причем, как правило, без соблюдения первоначальной схемы смешения, что очень затрудняет восстановление истории насаждений.

В настоящее время забровочная часть, примыкающая к полевым угодьям, занята лесными насаждениями, в которых господствующее положение занимает береза (уч. 395, 397), площадь 3,76 га. Несмотря на бедность смытых щебенистых почв, состояние и показатели ее роста хорошие. Более того, почти повсеместно формируется второй ярус из клена остролистного, вяза, ясеня, ранее считавшихся безнадежными для облесения таких почв. Правда, показатели их роста пока соответствуют III-V бонитетам (лучшие показатели у клена), но приросты этих пород в последние годы значительно увеличились. Встречаются также насаждения или небольшие участки насаждений, где клен и ясень находятся в первом ярусе. Среди других пород следует упомянуть липу (II-III бонитет, формирует второй ярус), лиственницу, сосну, тополь, которые имеют хорошие показатели роста, но встречаются редко.

Глубковский суходол

Глубковский суходол имеет сравнительно небольшую протяженность – всего 1,8 км по основному руслу, ориентирован с северо-востока на юго-запад. Характерной его особенностью является отсутствие отвершков и вместе с тем наличие очень густой сети глубоких береговых и коротких боковых размывов с крутыми откосами и большой глубиной (до 10-12 м).

До 1957 г. граница землепользования станции проходила по вершинам боковых размывов правого берега суходола. Схема размещения насаждений на его берегах представлена на рис. 6.

На его водосборе в 20-30-е годы созданы системы снегосборных, снегораспределительных и кольматирующих лесных полос, отеняющие лесные полосы, а в послевоенные годы – сад на склоне, примыкающем к правому берегу суходола с системой садозащитных лесных полос (уже на присоединенной к станции территории соседних хозяйств). Большой интерес представляют насаждения по берегам суходола и на примыкающих к ним размывых землях, облесение которых началось еще в довоенные годы. К сожалению, полностью восстановить историю выращивания этих насаждений уже не представляется возможным.

В устьевой части правого берега суходола расположены насаждения дуба, заложенные в 1950-1952 гг. по разным вариантам подготовки почвы (полосами, площадками, бороздами, ямками по задернованной

почве), густоты и способов посева (гнездовой и строчно-луночный), с разной глубиной заделки желудей (3, 5, 7, 10 см) общей площадью 1,19 га (уч. 235, 238, 239). К сожалению, схему опытов разыскать не удалось, отсутствуют и данные учётов в первые годы жизни. Аналогичный опыт заложен по левой стороне отвершка 1а Одинокского суходола (раздел «Одинокский суходол», отвершек 1, уч. 626).

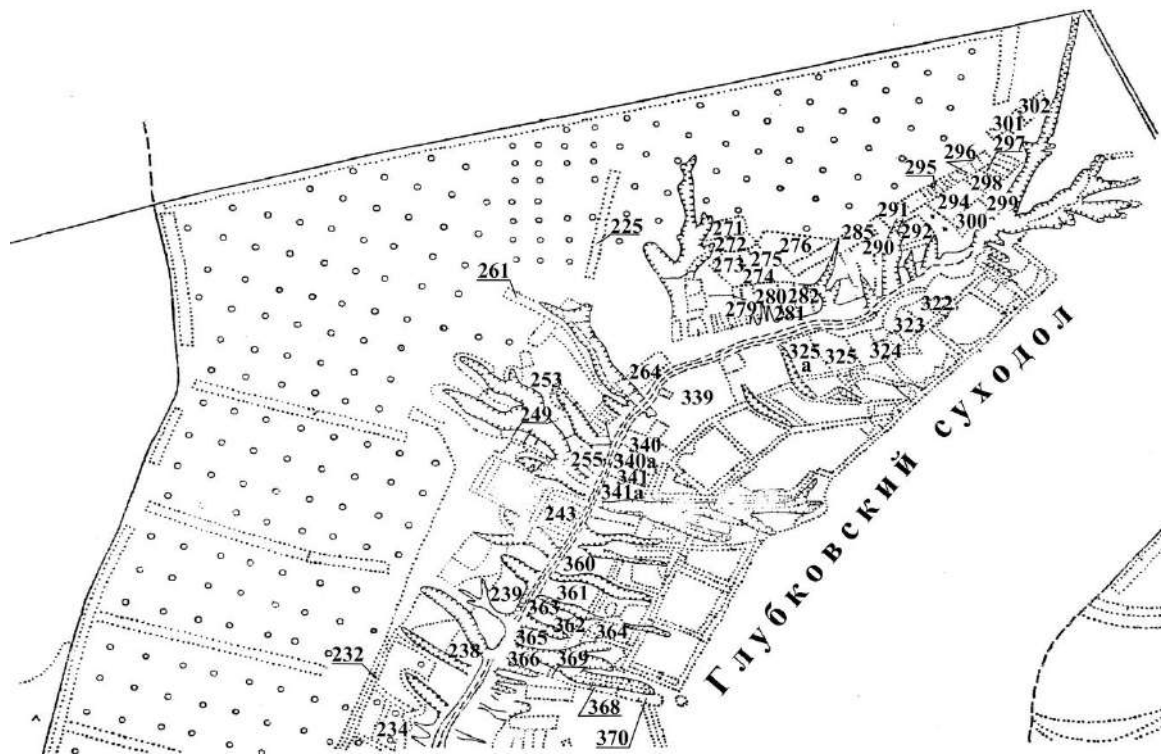


Рис. 6. Схема размещения защитных насаждений Глубковского суходола

К настоящему времени на всех вариантах сформировались высокополнотные насаждения дуба: в возрасте 40 лет высота их достигла 15-16 м при диаметре 16-17 м. В насаждениях интенсивно протекают процессы естественного изреживания, формируется подлесок из рябины, жимолости, акации, местами встречаются куртины спиреи.

В вершине одного из боковых размывов (рядом уч. 236) весной 1934 г. заложен опыт с посадкой сеянцев и черенков ивы серой, ивы ломкой, ежевики, малины, винограда амурского. Посадка выполнена под меч Колесова. Лучше других пород прижились ива ломкая (на откосах и экспозиций отпада не было) и ежевика (отпад составил соответственно 9 и 15 %). Ива серая на откосе юго-западной экспозиции

имела отпад 48, а на противоположном 26 %. Наибольший отпад в год посадки был у винограда амурского – соответственно 71 и 86 %. Через 3 года не осталось ни одного экземпляра винограда.

В настоящее время на этом участке сохранились только одиночные деревья ивы ломкой и заросли ежевики. Однако рост размыва и осыпание откосов прекратились.

На смытых землях, примыкающих к бровке суходола по зяблевой вспашке заложены культуры посадкой сеянцев яблони, груши, сосны Банка, сосны веймутовой, сосны обыкновенной, тополя бальзамического, тополя берлинского, липы мелколистной, ели обыкновенной, лиственницы сибирской, березы, осины, дуба черешчатого, клена остролистного, ольхи черной, бузины красной, жимолости обыкновенной, лещины обыкновенной, акации желтой (уч. 244. площадь 0,36 га). Аналогичные культуры заложены по левому берегу Одинокского суходола (раздел «Одинокский суходол», левый берег, уч. 651, площадь 0,55 га). Большинство сеянцев для посадки получены из Моховского лесхоза, частично из Тростянецкого опытного лесничества Придеснянской опытной станции. Качество посадочного материала было неодинаковым, часть его при пересылке по почте была подсушена.

Каждая древесная порода высаживалась отдельным участком в смешении с кустарником (смешение рядами) при размещении посадочных мест 1,2×0,7 м. Каждый вариант посадки был представлен участками с уходами и без ухода, а те, в свою очередь, вариантами посадки осенью 1933 и весной 1934 гг.

При разном качестве посадочного материала делать вывод о влиянии того или иного срока посадки или ухода за почвой на рост и состояние культур не представлялось возможным. К тому же на всех осенних посадках произошел большой отпад. Поэтому осень 1934 г. культуры снова были дополнены теми же породами.

Культуры очень сильно повреждены в войну и в послевоенные годы вследствие пожаров и бессистемных рубок. К сожалению, такие рубки продолжались и впоследствии. В результате от опытных культур остались лишь небольшие куртины. Очень хорошие показатели роста имеют лиственница, береза, сосна веймутова, тополь: при высотах 25-27 м их диаметры составляют 34-38 см. Хорошие показатели роста также имеют сосна обыкновенная, клен остролистный, липа мелколистная, дуб. На всей площади участка имеется очень густой подлесок из акации желтой и лещины.

Напротив этого опыта, непосредственно по береговому откосу суходола крутизной 12-17°, заложен опыт по изучению роста различных древесных пород в условиях сильно смытых почв (уч. 243, площадь 0,22 га). Посадка сеянцев проведена весной 1934 г. в ямки по слабо задернованной почве. Высаживались сеянцы лиственницы сибирской, сосны веймутовой, ясеня обыкновенного, сосны обыкновенной, березы, осины, вяза, граба, яблони, клена полевого, жимолости, лещины. Каждая порода высаживалась отдельной лентой шириной 5-6 м сверху вниз по склону с расположением посадочных мест 1,2×0,7 м поперек склона. Уходы за культурами не проводились.

Данные о росте и сохранности молодых культур не уцелели. Известно, однако, что и это насаждение было повреждено в годы войны и пожарами послевоенных лет. В настоящее время лучшие показатели роста у лиственницы сибирской – высота 26 м, диаметр 30 см. Далее в порядке ухудшения показателей роста следуют береза, сосна обыкновенная, липа. Осина сохранилась в небольшом количестве угнетена и поражена гнилями. Сильно отстали в росте хорошо сохранились, вяз и клен полевой. Граб, ясень и сосна веймутова выпали. Яблоня хорошо сохранилась, обильно плодоносила, дала хорошее естественное возобновление, имеется также обильное семенное возобновление клёна полевого.

Весной 1938 г. закладывался опыт по изучению влияния способов подготовки почвы на рост молодых культур березы, тополя, сосны веймутовой и дуба (уч. 255, площадь 0,10 га). Участок расположен на берегу юго-восточной экспозиции крутизной 20-22°, почвы среднесмытые. Борозды и ямки устраивались по слабо задернованной почве. Каждая порода высаживалась лентами по 2 ряда с расположением рядов вдоль склона и размещением посадочных мест 1 × 1 м. Уходы за культурами не проводились. Повторность вариантов опыта трехкратная. Уже к концу первого вегетационного периода произошел большой отпад сеянцев всех высаженных пород: у сосны веймутова отпад составил 48, у тополя 73, у березы 79 % (на варианте посадки в ямы). На вариантах посадки в борозды этот же показатель составил соответственно 71, 67, 64 %. Данных о сохранности дуба разыскать не удалось. На следующий год отпад продолжался, а состояние оставшихся сеянцев было явно угнетенное. В настоящее время здесь сохранились редкие кулисные насаждения из берёзы и дуба. Сосна и тополь полностью выпали.

Напротив этого опыта, на смытых землях, примыкающих к бровке берега, закладывается опыт по сравнению роста сеянцев березы из питомника и сеянцев-дичков из самосева. Посадка проведена по задернованной почве с размещением 1×1 м. Уходы не проводились. В первый же год отпад составил на варианте посадки сеянцев питомника 76, сеянцев-дичков 95 %. В настоящее время на участке растет изреженное насаждение березы преимущественно естественного происхождения (уч. 253, площадь 0,02 га).

По бывшей границе землепользования станции расположена стокорегулирующая лесная полоса из дуба площадью 0,26 га. Зябь на глубину 25-27 см вспахана в 1950 г. В 1951 г. почва содержалась в черном пару. В августе проведена перепашка почвы, затем культивация с боронованием и посев ржи. По ржи посеяны желуди в лунки августа, 9 ноября 1951 г. и 28 апреля 1952 г. Каждый вариант, в свою очередь, имел деланки с глубиной заделки желудей 5 и 10 см. Высевались желуди местного сбора. Повторность всех вариантов двукратная. Посевные места располагались по углам и в центре площадок 1×1 м, размещение площадок 2×2 м. В каждую лунку высевалось по 7 желудей. Уходы за почвой не проводились. Меньшая всхожесть желудей была на варианте с заделкой желудей на глубину 10 см. Неудачны варианты с поздним сроком посева желудей, особенно наклонувшихся. В настоящее время к возрасту 40 лет полоса имеет хорошее состояние, хотя есть и небольшие выпады на месте неудачных вариантов посева (уч. 225).

Аналогичные культуры по изучению разных сроков посева желудей заложены в средней части суходола по обоим берегам (северо-восточная – уч. 264 площадью 0,15 га – и северо-западная экспозиции крутизна 12-15). Посев желудей проводился в разрыхленные лунки и шпиговкой по задернованной почве под лопату. Посевные места расположены по углам и в центре метровых площадок с размещением их $2,5 \times 2,5$ м. Всего заложено 4 варианта со сроками посева 16 сентября, 26 сентября, 12 ноября 1952 г. и 28 апреля 1953 г. Повторность двукратная. В каждую лунку на глубину 5-6 см высевалось по 3-5 желудей местного сбора. Уходы не проводились.

Лучшие результаты получены на вариантах весеннего посева желудей по взрыхленным лункам на склоне северо-западной экспозиции. В настоящее время здесь сомкнутые насаждения дуба, в которых идет интенсивное естественное изреживание. Состояние насаждений удовлетворительное.

На размытых землях, примыкающих к вершинной части правого берега суходола, и по самому берегу заложен опыт с вариантами густоты, способов посадки и подготовки почвы. Общая площадь опыта около 5 га. Экспозиции склона южная и юго-восточная, крутизна от 2 до 15°.

Уч. 296 площадью 0,09 га. Подготовка участка под посадку – перекопка лопатой задернованной почвы площадками 1,0×2,0 м в апреле 1948 г. с последующим выравниванием граблями. Размещение площадок 1,5×1,5 м. Посадка сеянцев выполнена сразу после перекопки по 20 шт. на площадку рядами по 5 шт. (размещение на площадке 40×25 см). Высаживались дуб, береза, ель, сосна чистыми культурами по 4 ряда площадок каждой породы и дуб в смешении с березой, ель с сосной – по 2 ряда площадок. Проведен 3-кратный уход за почвой в 1948 и 1949 гг. и однократный в 1950 г. Сеянцы березы и дуба брались из самосева, ели и сосны – из Моховского лесхоза.

По данным учета 1949 г., сохранность дуба в чистых культурах составила 68, березы 95, ели 70, сосны 81 %, в смешанных – соответственно 76, 97, 72 и 80 %.

Уч. 295 площадью 0,06 га. Подготовка участка под посадку – перекопка задернованной почвы площадками 0,5×0,5 м с последующим выравниванием граблями. Размещение площадок 1,5×0,75 м. Посадка по 5 рядов площадок дуба, березы, ели, сосны по 5 сеянцев чистыми культурами и по 2 сеянца каждой породы в смешении березы с дубом, ели с сосной. Дуб и береза взяты из самосева, ель и сосна – из Моховского лесхоза. В год посадки проведен 5-кратный уход, в последующие годы – трехкратный и однократный. Имеются данные учетов только 1953 г., когда сохранность дуба составила 52,8, березы 70,5, ели 55, сосны 73 %.

Уч. 297 площадью 0,8 га. Вспашка почвы в июле 1947 г., перепашка – в апреле 1948 г. Посадка сеянцев березы, дуба, ели, сосны в апреле 1948 г. лентами по 5 рядов каждой породы с размещением посадочных мест 1,5×0,7 м. Сеянцы березы и дуба взяты из самосева, ели и сосны – из Моховского лесхоза. В 1949 г. проведено дополнение культур. По состоянию на 1951 г. сохранность дуба составила 63,5, березы 86,7, ели 71,4, сосны 82,7 %.

Уч. 298 площадью 0,07 га. Вспашка почвы в июле 1947 г., перепашка – в апреле 1948 г. Посадка сеянцев дуба, березы, ели, сосны в апреле 1948 г. под лопату чистыми культурами с размещением посадочных мест 0,75×0,35 м. В 1949 г. проведено дополнение культур

теми же породами. По состоянию на 1951 г. сохранность дуба составила 62,7, березы 87,4, ели 54,2, сосны 57,4 %.

Уч. 294 площадью 0,09 га. Вспашка почвы в апреле 1947 г., перепашка с одновременным боронованием в апреле 1948 г. Посев семян хвойных пород в апреле. Появились только единичные всходы, которые вскоре усохли. В 1950 г. проведены перепашка и посадка в каждое посадочное место по два однолетних сеянца дуба из своего питомника с размещением посадочных мест 1×1 м. В год посадки проведено однократное рыхление почвы в рядах и междурядьях, в 1951 г. – однократное рыхление почвы в междурядьях.

Уч. 294а площадью 0,09 га. Вспашка почвы в июле 1947 г., перепашка и посев семян березы и желудей дуба весной 1948 г. в площадки 1×2 м. Посевы не дали всходов. Весной 1950 г. проведены перепашка почвы конным плугом и посев желудей дуба с размещением посевных мест 1×1 м. В 1950 и 1951 гг. выполнено по одному рыхлению почвы в рядах и междурядьях.

Уч. 292 площадью 0,09 га. Перекопка задернованной почвы лопатой на площадках размером 0,5×0,5 м с предварительным снятием дернины и посев семян дуба, ели, сосны, березы весной 1948 г. Всходы не появились. Рыхление почвы в площадках мотыгой весной 1949 г. Посадка сеянцев сосны обыкновенной – по одному на площадку. Однократный уход в год посадки.

Уч. 300 площадью 0,15 га. Весной 1948 г. перекопка почвы лопатой на площадках размером 0,5×0,5 м со снятием дернины и рыхлением почвы граблями с последующим посевом семян древесных пород в площадки. Всходы не появились. Весной 1949 г. рыхление почвы в площадках и посадка сеянцев лиственницы сибирской и зимнего прикопа (апрель). Проведен один уход за почвой.

Уч. 299 площадью 0,09 га. Посадка в апреле 1948 г. сеянцев дуба, березы, сосны, ели в ямки по задернованной почве с размещением посадочных мест 1,5×0,7 м. Высаживалось по 5 рядов каждой породы чистыми культурами. Уходы не проводились.

Уч. 302 площадью 0,09 га. Сплошная вспашка почвы в июле 1948 г. Перепашка почвы перед посадкой. Высаживалась лиственница сибирская по 9 сеянцев на площадку 1×1 м, время посадки – октябрь 1948 г. Зимой произошло выжимание сеянцев. В апреле 1949 г. проведены культивация почвы с боронованием и новая посадка сеянцев лиственницы сибирской по 10 шт. на площадку 1×1 м. Размещение

площадок 3×3,5 м. В междурядьях высевался ряд семян акации желтой и проводился покровный посев овса. После уборки овса провели рыхление междурядий. Всходы акации желтой погибли. Сохранность лиственницы на 1 октября 1949 г. составила 30 %.

Уч. 301 площадью 0,10 га. История и агротехника выращивания аналогичны уч. 302. Но вместо лиственницы сибирской высаживались сеянцы сосны обыкновенной. В обоих случаях сеянцы взяты из питомника Моховского лесхоза. По состоянию на 1 октября 1949 г. приживаемость сосны составила 26 %.

Уч. 291 площадью 0,10 га. Сплошная вспашка почвы в июле 1948 г., перепашка в октябре 1948 г. По свежеперепашанной почве проведены посев желудей в бороздки. Посев погиб. Весной 1949 г. проведены сплошная культивация почвы конным культиватором и боронование. Посадка сеянцев сосны зимней прикопки из Моховского лесхоза выполнена в апреле 1949 г. с размещением посадочных мест 1,5×0,7 м. Проведено однократное рыхление почвы в рядах и междурядьях. Приживаемость сосны составила 17,1 %.

Уч. 285 площадью 0,12 га. История и агротехника выращивания аналогичны участку 291. На месте погибших посевов высаживались сеянцы лиственницы сибирской. Приживаемость составила 50 %.

Уч. 284 площадью 0,12 га. Сплошная вспашка почвы в июле 1948 г. Перепашка в октябре 1948 г. В это же время проведен осенний посев желудей дуба в борозды. Посев погиб. В апреле 1949 г. участок закультивировали и высеяли под кол желуди дуба местного сбора с размещением посевных мест 0,25(0,30) × 1,5 м (строчно-луночный посев). В год посева провели однократное рыхление почвы в рядах и междурядьях. По состоянию на 1951 г. сохранялось 34,8 % посевных мест.

Уч. 290 площадью 0,04 га. Перекопка почвы площадками 1×1 м с предварительным снятием дернины в октябре 1949 г. Выравнивание почвы граблями с удалением остатков дернины. Посев желудей по 41 шт. на площадку в октябре 1948 г. Посев погиб. В апреле 1949 г. проведено рыхление почвы в площадках и посев желудей по 15 шт. на площадку (5 лунок в форме конверта с высевом по 3 желудя в лунку). Однократное рыхление почвы и прополка сорняков на площадках в год посева. Размещение площадок 3,15×3,15 м. Желуди местного сбора дали всхожесть 40 %.

Уч. 289 площадью 0,10 га. Перекопка задернованной почвы площадками 1×1 м с одновременным удалением дернины в октябре

1948 г. Посев желудей в площадки в октябре 1948 г. Посев погиб. В апреле 1949 г. проведены рыхление почвы на площадках и посадка на них семян лиственницы сибирской из зимней прикопки Моховского лесхоза по 5 шт. Размещение площадок 3,54×3,54 м. За культурами проведен один уход. Приживаемость культур была 68 %.

Уч. 288 площадью 0,14 га. История и агротехника выращивания аналогичны предыдущему участку, но высаживались сосны обыкновенной по 5 шт. на площадку 1×1 м. Размещение площадок 2,23×2,23 м. В ноябре 1949 г. приживаемость составила 32 %.

Уч. 287 площадью 0,10 га. Осенний посев желудей дуба проведен под лопату в октябре 1948 г. шпиговкой по дернине. В каждое посевное место высевалось по 2 желудя местного сбора. Размещение посевных мест 0,33×0,7 м. Посев погиб. Позднее на этом участке были высажены культуры сосны.

Уч. 278, 279 площадью 0,13 га. Посадка семян сосны и лиственницы (из Моховского лесхоза) чистыми культурами в ямки по задернованной почве выполнена в октябре 1948 г. Размещение посадочных мест 1×1 м. Уходы не проводились. По состоянию на ноябрь 1951 г. сохранность лиственницы составила 34,9, сосны 39,7 %.

Уч. 282 площадью 0,09 га. Перекопка задернованной почвы площадками 1×1 м с расстоянием между центрами площадей 6,33 × 6,33 м и посадка семян сосны по 41 сеянцу на площадку выполнены осенью 1948 г. Весной 1942 г. между площадками, подготовленными осенью (в междурядьях), проведены штыкование почвы площадками 1×1 м и посадка в них по 20 семян сосны. В то же время (апрель) проведена посадка семян сосны по 10 семян в лунки по задернованной почве с размещением посадочных мест в виде конверта в площадки 1×1 м (в рядах). Проведено однократное рыхление почвы на площадках. По состоянию на ноябрь 1942 г. приживаемость семян сосны на варианте осенней посадки составила 42 %, на варианте весенней посадки 20 шт. 62 %, в лунки – 28 %.

Уч. 281 площадью 0,11 га. Перекопка задернованной почвы площадками 1×1 м с последующим выравниванием почвы граблями удалением остатков дернины. Посадка семян сосны по 13 шт. на площадку в октябре 1948 г. В апреле 1949 г. проведено дополнение семян и однократное рыхление почвы в площадках. По состоянию на ноябрь 1949 г. приживаемость составила 53 %.

Уч. 280 площадью 0,09 га. Перекопка задернованной почвы площадками 1×1 м осенью 1948 г. с размещением центров площадок

2,23×2,23 м. Осенняя посадка сеянцев сосны по 5 шт. на площадку в апреле 1949 г. проведено дополнение культур, однократное рыхление почвы в площадках. По состоянию на ноябрь 1949 г. приживаемость составила 57 %.

Уч. 275 площадью 0,14 га. История и агротехника выращивания аналогичны участку 280. По состоянию на ноябрь 1949 г. приживаемость сеянцев сосны составила 51 %.

Уч. 274 площадью 0,11 га. История и агротехника выращивания аналогичны участку 280, но расстояние между центрами площадок 3,54×3,54 м. По состоянию на ноябрь 1949 г. приживаемость сосны составила 50 %.

Уч. 273 площадью 0,15 га. История и агротехника выращивания аналогичны участку 282. По состоянию на ноябрь 1949 г. приживаемость сеянцев сосны на варианте осенней посадки по 41 сеянцу на площадку 1×1 м составила 44,6 %, весенней посадки по 20 сеянцев – 48 %, в лунки по задернованной почве 42 %.

Уч. 272 площадью 0,16 га. Перекопка задернованной почвы площадками 1 × 1 м в октябре 1948 г. Весенняя посадка сеянцев по 5 шт. на площадку выполнена в апреле. Размещение площадок 2,23×2,23 м. Проведено однократное рыхление почвы в площадках. По состоянию на ноябрь 1949 г. приживаемость составила 39 %.

Уч. 271 площадью 0,14 га. История и агротехника выращивания аналогичны участку 272, но высаживались сеянцы лиственницы сибирской. По состоянию на ноябрь 1949 г. приживаемость составила 51 %.

В результате этого многовариантного опыта было установлено, что посевы семян не дают положительных результатов, даже несмотря на тщательную подготовку почвы вручную. Неудачными и осенние посевы желудей дуба. Во всех остальных случаях на всех вариантах густоты посадки и подготовки почвы получены удовлетворительные результаты по приживаемости сеянцев всех испытываемых пород.

К настоящему времени на большинстве участков сформировались высокополнотные насаждения лиственницы, березы и сосны, растущие по 1-1а бонитетам. В культурах ели, особенно в смешанных насаждениях большие выпады. Она в 1,5-2 раза уступает по высоте и диаметру перечисленным породам. Дуб имеет вполне удовлетворительные показатели роста в чистых культурах, в смешении же с березой к возрасту 45 лет полностью выпал. На участках с посадками узкими лентами при близком размещении таких же лент из более быст-

пораствующих пород дуба сильно угнетается и со временем также выпадает полностью.

В вершинной части левого берега суходола заложен опыт по облесению берегов гидрографической сети с разными вариантами подготовки почвы. Экспозиция северо-западная, крутизна до 15° , почвы намывные. Уходы за культурами выполнялись по схеме: 2 ухода в год посадки, один уход на третьем году жизни. Между рядами выкашивались и течение 6 лет.

Вариант 1 (уч. 327, площадь 0,56 га). Подготовка почвы полосами шириной 3 м конным плугом выполнена в августе 1952 г. на глубину 22 см. Расстояние между необработанными полосами 3,5 м. Посев желудей дуба (из Белоруссии) проведен гнездами в апреле 1953 г. с расположением посадочных лунок на площадке 1×1 м в форме конверта. Варианты посева желудей: по 10, 20, 30, 50 шт. в каждую посевную лунку. Каждый вариант густоты посева состоит из двух рядов площадок с расположением сверху вниз по склону.

Вариант 2 (уч. 325а, площадь 0,30 га). Подготовка почвы проведена в августе 1952 г. полосами шириной 2 м на глубину 20-22 см. Между вспаханymi полосами оставлены промежутки шириной 2 м. Весной 1953 г. высажены сеянцы сосны обыкновенной из Залегощенского лесхоза Орловской области. В каждую полосу высаживалось по 2 ряда сосны с размещением $1 \times 0,6$ м. В 1954 и 1955 гг. проведено дополнение культур. По состоянию на октябрь 1953 г. приживаемость культур была 73,8 %.

Вариант 3 (уч. 325, площадь 0,22 га). Технология выращивания аналогична варианту 2, но расстояние между сеянцами сосны в ряду 0,3 м. По состоянию на октябрь 1953 г. приживаемость была 64,8 %.

Вариант 4 (уч. 324, площадь 0,06 га). Подготовка почвы проведена в августе 1952 г. конным плугом полосами шириной 1 м с оставлением между ними неспаханых полос такой же ширины. Посадка сеянцев сосны обыкновенной из Залегощенского лесхоза выполнена в площадки 1×1 м с размещением посадочных мест в виде знака «+». В каждую площадку высаживалось по 9 сеянцев. Расстояние между центрами площадок $2,5 \times 2,0$ м. В 1954 г. проведено дополнение культур. Приживаемость сеянцев на октябрь 1953 г. составляла 80 %.

Вариант 5 (уч. 324, площадь 0,06 га). Дублирует вариант 4, но посадка сеянцев выполнена по неподготовленной почве. Приживаемость на октябрь 1953 г. составила 73,8 %. Уходы не проводились.

Вариант 6 (уч. 323, площадь 0,14 га). Дублирует вариант 4, но посев желудей выполнен по задернованной почве в разрыхленные лунки. Уходы не проводились.

Вариант 7 (уч. 322, площадь 0,07 га). Дублирует вариант 2, но посадка сеянцев сосны выполнена в ямки по задернованной почве. Уходы не проводились. Приживаемость на октябрь 1953 г. составила 82,6 %.

Вариант 8 (уч. 322, площадь 0,07 га). Дублирует вариант 3, но посадка сосны выполнена в ямки по задернованной почве. Уходы не проводились. Приживаемость на октябрь 1953 г. составила 63,8 %.

К настоящему времени на всех вариантах сформировались высокополнотные сомкнутые насаждения. Некоторое исключение составляет вариант посева желудей дуба по задернованной почве. Здесь растения сохранились не во всех лунках, вследствие чего полнота не превышает 0,4-0,5. На вариантах посадки сеянцев сосны по задернованной почве длительное время приросты были меньше, чем на вариантах посадки в обработанную почву. Несмотря на проведенные в 1970 г. рубки ухода средней интенсивности, в насаждениях сосны продолжается естественный отпад. В отдельные зимы имеет место снеголом. В возрасте 38 лет на вариантах посадки в обработанные полосы сосна имеет высоту 20 м при диаметрах 18-19 см; на вариантах посадки в ямки – соответственно 20 м и 15-16 см.

Ниже описанного опыта (примыкает к варианту 1) на верхней половине берегового склона расположены географические культуры дуба (уч. 339, площадь 0,93 га). Подготовка почвы выполнена путем рыхления лунок. Желуди высевались в начале мая 1953 г. в лунку по 5 шт. с размещением рядов лунок через 1 м, в ряду – через 0,7 м. Уходы не проводились. Всхожесть зависела от происхождения желудей: из Гомельской обл. 68, Саратовской 96, Сумской 72, Закарпатской 54, Чувашии 60 %.

В настоящее время на всех вариантах сформировались сомкнутые дубовые насаждения. Но делать вывод о преимуществе насаждений из желудей того или иного происхождения не представляется возможным, поскольку на всей территории опыта имеется большая примесь березы, оказывающей общее отрицательное влияние на состояние и рост дуба.

К географическим культурам дуба примыкает еще один опытный участок по технологии выращивания насаждений в гидрографической сети. Под опыт отведена территория площадью 1,77 га с ча-

стыми глубокими, но в большинстве случаев короткими береговыми размывами, которые зачастую выполняют роль естественных границ вариантов. Экспозиция западная, крутизна 15-20°, почвы намытые.

Вариант 1 (уч. 366, площадь 0,12 га). Посадка сеянцев лиственницы сибирской и липы мелколистной в ямки по задернованной почве выполнена в апреле 1955 г. Схема посадки 1,5×0,7 м. Смешение в рядах по схеме Л-Лп-Л... В нижнем опушечном ряду, кроме перечисленных пород, высаживали орех серый. Сеянцы получены из Моховского лесхоза Орловской области. К концу первого года приживаемость лиственницы сибирской составила 88, липы 93, ореха 80 %. В 1956 г. проведена прополка сорняков вокруг сеянцев, до 1958 г. регулярно выкашивали травостой в междурядьях.

Вариант 2 (уч. 365, площадь 0,15 га). Почва подготовлена бороздами конными плугом на глубину 18 см в сентябре 1954 г. Посадка сеянцев лиственницы сибирской и липы мелколистной в борозды проведена в апреле 1955 г. с размещением 1,5×0,7 м. Смешение в рядах по схеме Л-Лп-Л-... Вариант, в свою очередь, делился на 2 части (сверху вниз по руслу суходола): на верхней проведены в год посадки два ухода за почвой в рядах, на следующий год – еще один; на нижней – уходы не проводились. На всей территории до 1958 г. выкашивался травостой в междурядьях. Приживаемость сеянцев лиственницы сибирской на варианте с уходом составила 90 и без ухода 83 %, липы соответственно 92 и 88, ореха 87 и 81 %.

Вариант 3 (уч. 362, 363, общая площадь 0,16 га). Почва готовилась бороздами в сентябре 1953 г. конным плугом с расстоянием между бороздами 1,5 м. Посадка выполнена весной 1954 г., причем вариант делился на два участка: на верхнем высаживались сеянцы лиственницы даурской, на нижнем – сеянцы сосны обыкновенной (сеянцы из Залегощенского лесхоза). Размещение сеянцев в рядах через 0,4 м. Уходы, как и на других вариантах: в год посадки два ухода, на следующий год – еще один. До 1958 г. проводилось выкашивание травы в междурядьях. К концу первого года приживаемость лиственницы даурской составила 89,2, сосны 97,7 %. В последующие два года отмечалось увеличение отпада лиственницы даурской, поэтому было проведено дополнение культур, но уже сеянцами лиственницы сибирской.

Вариант 4 (уч. 361, площадь 0,21 га). Почва готовилась полосами шириной 0,5 м конным плугом в сентябре 1954 г. Между ними оставались ленты необработанной почвы шириной 1 м. Весной 1955 г.

в каждую полосу высаживалось по одному ряду сеянцев лиственницы сибирской и липы мелколистной (из Моховского лесхоза). Расстояние между сеянцами в ряду 0,4 м. Смешение в рядах Л-Лп-Л-... Как и на других вариантах смешанных липово-лиственничных культур в нижний ряд вводился орех серый. Вариант делился на 2 участка: с уходами и без них. На всей территории до 1958 г. выкашивался травостой в междурядьях. По состоянию на сентябрь 1955 г. приживаемость лиственницы с уходами составила 90, без уходов 93 %, липы соответственно 95 и 93, ореха 92 и 82 %.

Вариант 5 (уч. 360, площадь 0,19 га). Почва готовилась полосами шириной 1 м в сентябре 1954 г. Между ними оставлялись необработанные ленты такой же ширины. Весной 1955 г. на вспаханных полосах высаживалось по одному ряду лиственницы сибирской в смешении с липой мелколистной подеревно через 0,7 м. На верхней половине участка в год посадки провели два ухода за почвой и один – на следующий год. Нижний участок оставался без уходов. До 1958 г. в междурядьях травостой выкашивался. По состоянию на сентябрь 1955 г. приживаемость лиственницы с уходами составила 91, без уходов 90 %, липы соответственно 96 и 92, ореха 82 и 80 %.

Вариант 6 (уч. 363, 364, общая площадь 0,19 га). Почва готовилась полосами шириной 0,5 м в сентябре 1953 г. Между вспаханymi полосами оставлены ленты необработанной почвы шириной 1 м. Весной 1954 г. на верхней половине участка высажены сеянцы сосны, на нижней – лиственницы сибирской (из Залегощенского лесхоза). В свою очередь, каждая половина участка делилась на 2 части: вариант, где проведено по три ухода за почвой за два года, и вариант без уходов. До 1958 г. травостой в междурядьях выкашивался. В 1955 и 1956 гг. проводили дополнение культур. По состоянию на сентябрь 1954 г. сохранность лиственницы составила 91,8, сосны 91,5 %.

Вариант 7 (уч. 340, 340а, общая площадь 0,25 га). Весной 1954 г. сеянцы лиственницы даурской и сосны обыкновенной высаживались в ямки по задернованной почве с расстоянием между рядами 2,0, в ряду 0,4 м. Лиственница высаживалась на верхней половине участка, сосна – на нижней. В 1955 и 1956 гг. провели дополнение культур. Выпавшие сеянцы лиственницы даурской дополнялись сеянцами лиственницы сибирской. По состоянию на сентябрь 1954 г. приживаемость лиственницы составляла 43,3, сосны 52,4 %.

Вариант 8 (уч. 341, 341а, общая площадь 0,30 га). Почва готовилась полосами шириной 1 м с оставлением между ними необработанных

ных лент такой же ширины осенью 1953 г. Весной 1954 г. на вспаханных полосах высажено по одному ряду сеянцев лиственницы даурской (нижняя половина участка) и сосны обыкновенной (верхняя половина участка). Как и на других вариантах, каждый участок делился на две части: с уходами и без. До 1958 г. междурядья выкашивались. В 1955 и 1956 гг. провели дополнение культур сеянцами сосны и лиственницы сибирской. По состоянию на сентябрь 1954 г. приживаемость сеянцев лиственницы даурской был 61,9, сосны 82,4 %.

Вариант 9 (уч. 367, 368, общая площадь 0,21 га). Расположен на крутых откосах берегового размыва, разделяющего 1 и 2-й варианты. Экспозиция откосов юго-западная и северо-восточная, крутизна до 40-45°. В мае 1955 г. проведена посадка сеянцев липы и сосны по обнаженным откосам с размещением посадочных мест 1 × 1 м. Смешение пород рядами. Кроме того, на откосе СВ экспозиции высажен небольшой участок чистого соснового насаждения. К сентябрю 1955 г. в верхней части откоса ЮЗ экспозиции приживаемость сосны составила 68, липы 79; и нижней части соответственно 96 и 94 %. В верхней части откоса СВ экспозиции приживаемость сосны 98, липы 95, в нижней части 97 и 100 %. В 1956 г. проведено дополнение культур. Уходы не проводились.

Разные варианты подготовки почвы имели значение лишь в первые годы жизни, а затем приросты всех деревьев сравнивались. На всех вариантах опыта сформировались высокополнотные насаждения. Особенно хорошим состоянием и ростом характеризуется лиственница сибирская в смешанных липово-лиственничных культурах, где она в возрасте 36 лет имеет высоту 20 м, диаметр 21 см. В чистых культурах лиственница со временем сильно изреживается, особенно при опоздании с рубками ухода. Лиственница даурская постепенно выпала из всех вариантов посадки. Липа везде сформировала второй ярус и, хотя существенно отстает от лиственницы в росте (ее высота в возрасте 36 лет достигла 10-12 м, диаметр 10-11 см), имеет хорошее состояние. В насаждениях сформировался слой подстилки толщиной до 5 см. Сосна в чистых культурах формирует более высокополнотные насаждения, чем лиственница, хотя и здесь интенсивно протекают процессы естественного самоизреживания, существует опасность поражения корневой губкой. В сосново-липовом насаждении сосна растет по 1 бонитету. Хорошим состоянием на этих бедных почвах характеризуется также и липа.

За бровкой левого берега суходола (ближе к устью) заложен опыт по изучению влияния уходов и минеральных удобрений на рост и состояние древесных и кустарниковых пород (уч. 374, площадь 0,47 га). Высаживались лиственница сибирская в смешении с березой, береза с яблоней, дуб с кленом остролистным, тополь с сиренью и акацией желтой, лиственница сибирская с бересклетом бородавчатым. Размещение посадочных мест 1,1×0,7 м. Посадка проведена весной 1937 г. в ямки по задернованной почве. Одновременно с посадкой семян вносились удобрения в дозах: суперфосфат 50, калийная соль 25, азотнокислый аммоний 75 кг/га. Кроме того, для каждой главной породы заложены варианты с комплексными удобрениями: N + P, N + K, N + P + K. Каждый вариант, в свою очередь, делился на два участка: с уходами и без. На участках с уходами в год посадки проведено по два ухода за почвой. Повторность всех опытов двукратная.

Данных о состоянии и росте культур в первые годы жизни не сохранилось. В возрасте 55 лет лучшие состояние и рост культур отмечены на вариантах посадки березы с яблоней. Здесь береза имеет хорошую сохранность, высота ее 20 м, диаметр 20 см. Яблоня, хотя и угнетена, но все же сформировала изреженный второй ярус. Хорошее состояние и довольно высокие показатели роста на вариантах посадки дуба с кленом, где дуб, уступая березе по высоте (его высота 16 м), имеет с ней одинаковые средние диаметры. Клен тоже сформировал второй ярус. Но полнота этого насаждения несколько ниже, чем насаждения березы с яблоней.

На вариантах посадки лиственницы с бересклетом сохранилась только лиственница. Участок стравлен скотом, насаждение имеет полноту 0,5. Но даже и в этих условиях лиственница не уступает березе по высоте, а по диаметру даже превосходит ее. На варианте посадки лиственницы с березой сохранились только одиночные деревья березы. Тополь к настоящему времени выпал.

Весь участок на стыке Глубковского суходола (левый берег, западная экспозиция) и правого берега р. Зуши (южная экспозиция) площадью около 1,5 га в настоящее время занят отдельными куртинами разных древесных пород: клена полевого, клена татарского, ясени обыкновенного, клена остролистного, березы, липы, тополя, сосны обыкновенной, сосны веймутовой. История этих культур неизвестна. Участок неоднократно страдал от пожаров в послевоенные годы, на нем до настоящего времени сохранились многочисленные воронки от взрывов бомб и снарядов, окопы и ходы сообщения.

На другом участке, расположенном рядом и примыкающем к левому берегу суходола, на сильно смытых землях весной 1932 г. проводилась посадка сеянцев сосны веймутовой и ели обыкновенной в ямки по задернованной почве (уч. 383, площадь 0,29 га). Размещение посадочных мест 2×1 м, схема смешения Св-Св-Св-Е-Е-Е-Св. Сеянцы для посадки получены из Моховского лесхоза. К концу вегетационного периода 1935 г. сохранность сосны веймутовой составила 64, ели 78 %. В то же время отмечалось, что окраска хвои и у ели, и у сосны была светло-зеленая, что наряду с незначительными приростами в высоту указывало на нежизнеспособность этих культур. Поэтому в 1936 г. на этой же площади высадили сеянцы клена остролистного и ясеня обыкновенного. Однако, как оказалось, и для этих пород условия щебенистых почв оказались малопримлемыми.

Жердевский суходол

Водосборная площадь Жердевского суходола в основном находится за пределами территории ОПХ Новосильской ЗАГЛОС. Ширина участка, включенного в состав землепользования станции в 1932 г., составляет всего 650 м. В его пределах правый берег суходола занят порослевым насаждением дуба с густым подлеском из лещины, а примыкающий к нему полевой склон длиной около 300 м используется в почвозащитном севообороте. По левому берегу суходола расположены куртинные насаждения березы и осины естественного происхождения, а также культуры разных древесных пород. На примыкающем длинном пологом склоне северной экспозиции находится система защитных лесных полос разного породного состава и назначения. Описание этих насаждений приводится в соответствующих разделах, а их общая схема на рис. 7 (а, б).

Среди прочих культур особый интерес представляют культуры разных древесных пород внутри кольматирующей клетки, заложенные с разной агротехникой выращивания. Общая площадь опытного участка 1,52 га (уч. 66). Вероятнее всего, участок ранее был занят сельскохозяйственными культурами. Применялись следующие варианты:

Вариант 1. Весной 1939 г. почва была вспахана на глубину 16-18 см, затем проведены культивация, боронование и посев гороха. Во время цветения горох был запахан. Осенью сделана перепашка почвы под зябь. Весной 1940 г. почву закультивировали и под меч Колесова

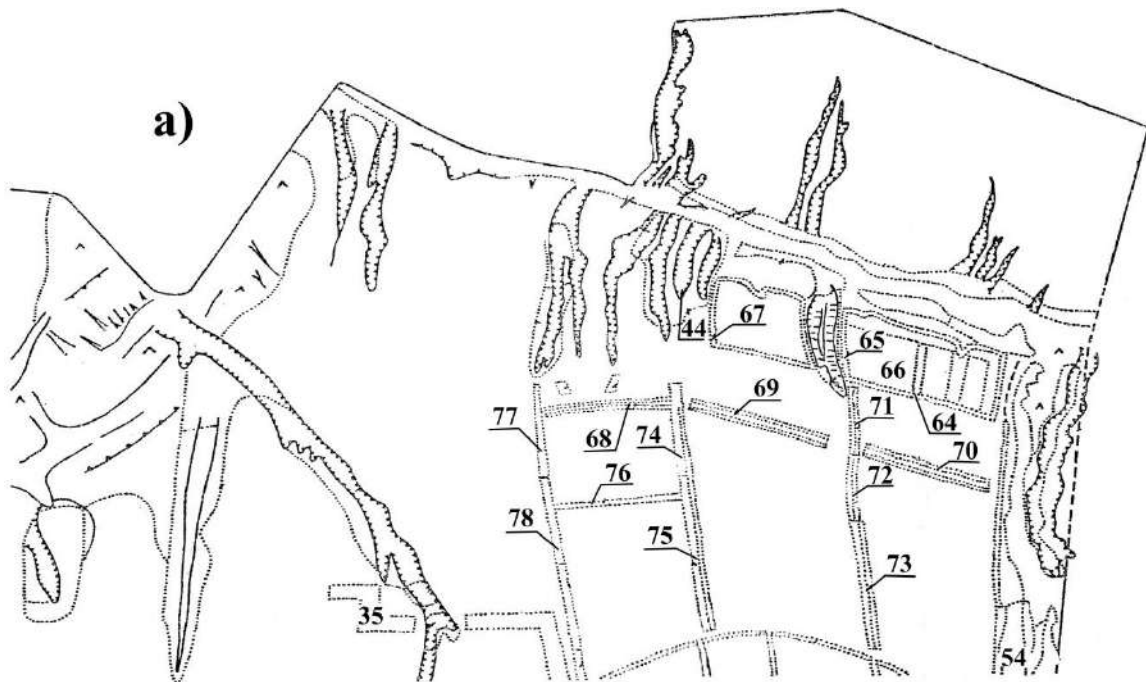


Рис. 7а. Схема размещения защитных насаждений на водосборе Жердевского суходола

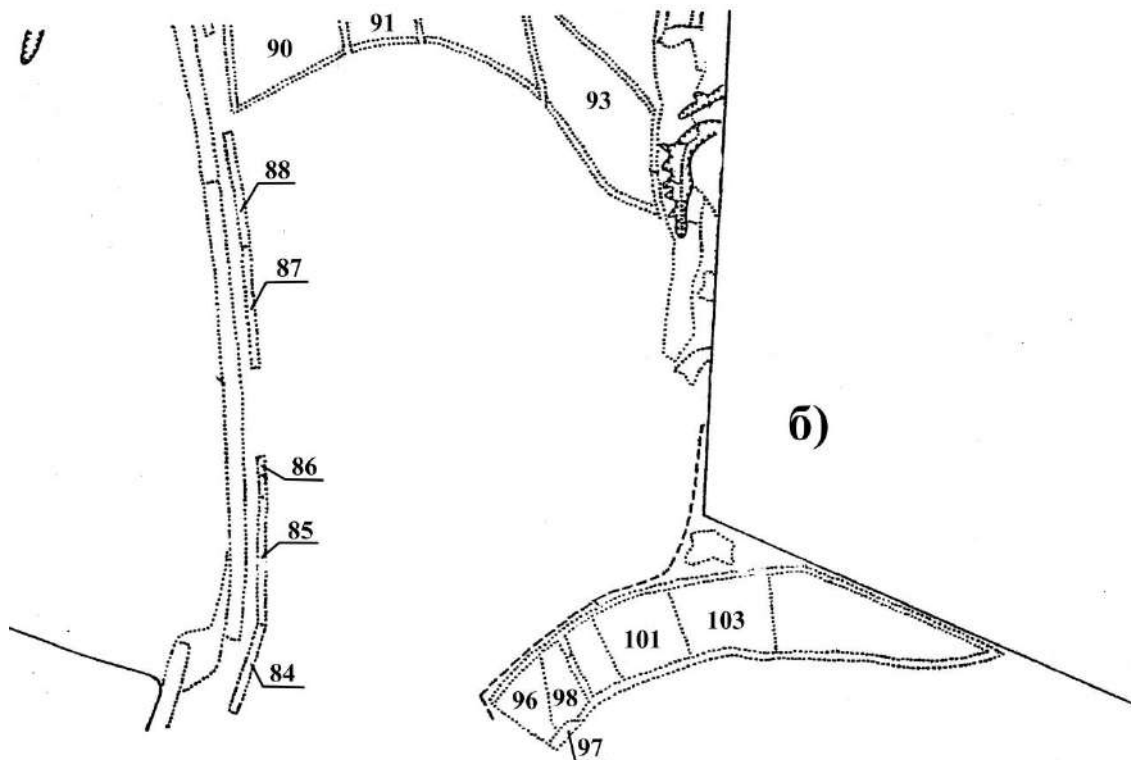


Рис. 7б. Схема размещения защитных насаждений на водосборе Жердевского суходола

заложили культуры из разных древесных и кустарниковых пород. В год посадки в культурах провели два ухода за почвой в междурядьях и один – в рядах, на следующий год – два ухода в рядах. Весной 1941 г. проведено дополнение культур с соблюдением принятой схемы смешения.

Вариант 2. С весны 1939 г. участок содержался под черным паром с проведением двукратной перепахки почвы на глубину 16-18 см и трехкратной культивации почвы с одновременным боронованием. Последующие работы аналогичны работам варианта 1.

Вариант 3. Зяблевая вспашка почвы проведена в сентябре 1939 г. Последующие работы аналогичны работам варианта 1.

Вариант 4. Весной 1940 г. выполнена вспашка. Последующие работы аналогичны работам варианта 1.

Вариант 5. Весной 1940 г. проведены нарезка борозд конным плугом, затем рыхление дна борозд в местах посадки сеянцев и их посадка. Последующие работы аналогичны работам варианта 1, но уход в междурядьях не проводился.

Вариант 6. Весенняя посадка сеянцев в ямки, подготовленные перед посадкой. Последующие работы аналогичны работам варианта 1, кроме ухода за междурядьями.

По границе каждого варианта высаживались двухрядные полосы из ели и сосны веймутовой. Повторность всех вариантов двукратная. На каждом варианте высаживались чистыми рядами береза, тополь канадский, ель обыкновенная, ясень обыкновенный, сосна обыкновенная, дуб черешчатый, клен остролистный, яблоня лесная, бересклет бородавчатый, шиповник. Смешение рядами с размещением посадочных мест 1,5×0,7 м.

При обследовании культур в 1951-1952 гг. было обнаружено, что лучшие показатели роста все породы имеют на варианте посадки по черному и сидеральному парам, несколько хуже (в порядке ухудшения) – по зяблевой вспашке, по весновспашке, в борозды и в ямки. Обращалось внимание на слабый рост и плохое санитарное состояние клена, ясеня, яблони, дуба и всех кустарниковых пород.

В настоящее время клен, ясень, бересклет в насаждениях отсутствуют, шиповник встречается единичными экземплярами высотой не более 1 м, яблоня одиночными угнетенными экземплярами высотой не более 1-2 м, суховершинит, в условиях лучшего освещения отдельные экземпляры ее достигают 4-6 м, но все же имеют слабо развитую крону. Дуб также испытывает сильное угнетение со стороны

соседних более быстро растущих древесных пород особенно березы. После почти полной вырубki примыкающих к дубу рядов березы рост и состояние его заметно улучшились, но все же он более чем в 2 раза уступает по росту не только березе, но сосне и ели. Эти породы успешно растут на всех вариантах подготовки почвы. Однако близкое соседство березы сказывается отрицательно и на их состоянии: из-за охлестывания березой кроны хвойных имеют одностороннее развитие. После удаления березы кроны быстро восстанавливаются.

В 1974 г. на всех вариантах проведены рубки ухода с удалением сухих и отставших в росте деревьев, а также почти полной вырубкой березы. Тополь был вырублен еще раньше. В настоящее время повсеместно появилось естественное возобновление хвойных пород, преимущественно ели. Самосев ели в большом количестве появился и на расположенных вблизи откосах размывов.

На незадернованных откосах раздвоенного останцем размыва по западной границе кольматирующей клетки весной 1939 г. в ямки с размещением 2×1 м по откосу рядами сверху вниз были высажены сеянцы акации белой, сосны обыкновенной, сосны веймутовой, ели обыкновенной, осины, дуба, ивы, ясеня (уч. 44, площадь 1,44 га). В настоящее время в составе этого насаждения имеются березы, преобладают экземпляры естественного происхождения, сосна обыкновенная, сосна веймутова, ель, которые сформировали основной состав сомкнутого смешанного насаждения. Осина представлена единичными экземплярами. Остальные породы выпали полностью. Сосна и ель имеют хорошее естественное возобновление.

По восточной границе Жердевского участка на левом берегу отвершка (примыкает к нижней широкой стокорегулирующей полосе), на месте сгоревших во время войны культур сосны веймутовой 1932 г. посадки, посевом желудей дуба шпиговкой под лопату и под копые весной 1950 г. были заложены культуры дуба (уч. 54) гнездовым способом в лунки с размещением посевных мест по углам и в центре площадками 1×1 м. В каждую лунку высевалось по 7 желудей. Желуди местного сбора, доброкачественность 76 % варианты глубины заделки желудей 6-8 и 8-10 см. Расстояние между центрами площадок 2,5×2,5 м. Уходы не проводились. Грунтовая всхожесть желудей составила 30-40 %.

В настоящее время здесь сомкнутое насаждение дуба с небольшой примесью березы естественного происхождения. Интенсивно протекает процесс естественного изреживания.

Под пологом насаждения начал формироваться подлесок, преимущественно из рябины. На участке имеется также несколько деревьев сосны веймутовой (остатки сгоревших культур), которые стали источниками появления под пологом дубового насаждения подроста этой породы.

Смытые земли, примыкающие к левому берегу этого же отвершка (несколько выше по руслу), заняты культурами сосны веймутовой посадки 1932 г. Посадка проводилась в ямки по задернованной почве в середине мая сеянцами из Моховского лесхоза, которые при перевозке были подсушены. Приживаемость их составила 66 %. Незначительный ежегодный отпад в пределах 5-6 % продолжался в последующие годы.

Насаждение было сильно повреждено пожаром 1946 г. О причинах возникновения его ничего неизвестно, но именно в этом году многие насаждения были подвергнуты его воздействию. В описываемом насаждении пожаром было затронуто 47 % деревьев.

В настоящее время здесь растет насаждение сосны веймутовой с незначительной примесью березы естественного происхождения (уч. 61, площадь 0,45 га). Полнота насаждения неравномерная. Диаметр сосны на разных участках составляет 21-30 см при высоте 20-23 м. Состояние хорошее. По опушкам насаждения на откосах размывов имеется обильное естественное возобновление сосны веймутовой высотой до 2-3 м.

2.4. Отеняющие насаждения

В отчетах станции о научно-исследовательской работе упоминается, что лесомелиоративные работы начались с создания отеняющих лесных полос. Закладывались такие полосы шириной до 10 м посевом дуба под копые по задернованной почве с размещением посевных мест $0,53 \times 0,26$ м и посадкой сеянцев березы в ямки по задернованной почве (1, 2, 3, 4, 6-рядные) с размещением посадочных мест $0,71 \times 0,71$; 1×1 ; $1,42 \times 0,71$ м. Идея закладки отеняющих полос состояла в том, что они должны создавать благоприятные условия для естественного зарастания откосов оврагов травянистой и древесной растительностью. Их рекомендовалось создавать при широтном направлении размывов (восток-запад) с южной стороны непосредственно вдоль самой бровки размывов, копируя все ее изгибы. Однако вскоре было установлено, что крайние к бровке размывов ряды дуба характеризуются очень медленным

ростом из-за сильного иссушения откосов. Вследствие этого был сделан вывод о нецелесообразности выращивания чистых дубовых оттеняющих лесных полос. Береза же имела хорошие показатели роста во всех рядах. Но было также установлено, что близкое расположение первых рядов березы к бровке размывов действует разрушающе на их откосы из-за раскачивания стволов деревьев. В результате крайние к бровке ряды деревьев обрушиваются, процесс зарастания откосов затягивается. Было признано оптимальным выращивание смешанных оттеняющих лесных полос из березы и дуба, как пород, имеющих разные типы корневых систем. Для широкого применения рекомендовалась следующая схема посадки: к-Д(к)-Б(Д)-Б(Д)-Б(Д)-Б(Д)-Б(к) с размещением посадочных мест $1,2 \times 0,5$ (0,75) м.

Практика показала, что копировать все изгибы бровок размывов при выращивании оттеняющих полос нерационально, лучше их закладывать более или менее прямолинейно, отступив от обрушивающейся бровки на некоторое расстояние с учетом крутизны естественного откоса почвогрунта. Выращивать оттеняющие полосы в большинстве случаев целесообразно не с одной стороны размыва, а окаймлять размыв в обеих сторон. Таким образом, оттеняющие лесные полосы трансформируются в приовражные.

Первые оттеняющие лесные полосы заложены на станции в 1922-1924 гг. вдоль ветвящихся размывов вершины третьего отвершка Одинокского суходола (уч. 533, 547, 527, площадь 0,34 га). Полосы 2-3-рядные, первые ряды закладывались у самой бровки и копировали ее. Размещение $0,7 \times 0,7$ и $1,0 \times 1,0$ м, посадка сеянцами березы в ямки по задернованной почве. В настоящее время состояние полос вполне удовлетворительное. Но местами деревья березы обрушились вместе с откосами.

Аналогичное положение имеет место в оттеняющей лесной полосе, заложеной из березы в 1926 г. с ЮЗ стороны глубокого размыва в вершине второго отвершка Одинокского суходола (уч. 588, площадь 0,34 га), а также в полосе, заложеной в 1933 г. по схеме Б-Б-Б-Ос-Ос-Ос с размещением посадочных мест $1,5 \times 1,0$ м вокруг глубокого размыва по левой стороне суходола (выше ур. Колодезного, уч. 642, площадь 0,15 га). Предполагалось, что обрушивающиеся вместе с бровкой деревья осины создадут условия для появления на откосах большого количества корневых отпрысков. Ряды осины действительно, полностью обрушились, но корневые отпрыски на откосах появились лишь

единично. Облесение их произошло преимущественно за счет березы и ивы, и в срединной части, примыкающей к кольматирующей лесной полосе из ели, появилось обильное естественное возобновление ели.

Оттеняющие полосы из дуба с южной стороны боковых размывов левого берега Глубковского суходола были заложены в апреле 1925 г. посевом желудей под копые по задернованной почве. Высевалось по 1-2 наклюнувшихся желудя в каждое посевное место, размещение $0,53 \times 0,26$ м. Ширина полос 10,5 м. Уходы не проводились. Отмечается медленный рост молодых дубков: в возрасте 8 лет их высота составила всего 62 см.

В настоящее время здесь расположены насаждения дуба со значительной примесью березы (уч. 369, 370, площадь 0,09 и 0,06 га) и осины (уч. 378, площадь 0,17 га). Обе породы угнетающе действуют на дуб. Продолжается и естественное изреживание, тем более что рубки ухода в этих насаждениях, исключая случайные выборки сухих деревьев, здесь не проводились. В обоих случаях откосы размывов облесены. На откосе, примыкающем к уч. 378, расположено естественное насаждение с преобладанием осины, а к уч. 370 – культуры липы и сосны.

Аналогичные полосы из дуба были заложены осенью 1925 – весной 1926 гг. вдоль двух длинных боковых размывов, выходящих за бровку правого берега Одинокского суходола. Ширина полос 10 м, размещение посевных мест $0,5 \times 0,5$ м, в каждое посевное место высевалось по 2 желудя. Отмечалось, что осенние посевы были менее удачны, чем весенние. В настоящее время дуб сохранился только на уч. 503 на площади 0,43 га в виде небольших куртин по бровке берега, остальная площадь участка занята сосной, высаженной позднее. Откосы размывов задернованы, древесная растительность на них отсутствует. Встречаются лишь единичные кусты шиповника, жимолости.

В 1934 г. оттеняющие лесные полосы были заложены по южной бровке двух глубоких боковых размывов длиной 200-250 м по правому берегу Глубковского суходола в его средней части (уч. 261, 249). Посадка проведена в ямки по сплошной вспашке почвы с размещением посадочных мест $1,2 \times 0,5(0,7)$ м. На уч. 249 на площади 0,31 га заложено четыре варианта смешения пород. Каждый вариант делился на два участка: с уходами за почвой и без уходов. На участках с уходами до 1936 г. ежегодно проводилось по два рыхления почвы.

Посадка древесных и кустарниковых пород по вариантам была выполнена по следующей схеме:

1-й ряд (от опушки), вар. 1, 3, 4 – акация желтая, вар. 2 – шиповник;

2-й ряд, вар. 2, 3, 4 – сосна обыкновенная, вар. 1 – сосна обыкновенная и сосна веймутова;

3-й ряд, вар. 1 – акация желтая, вар. 2 – береза с акацией желтой, вар. 3 и 4 – береза с сосной;

4-й ряд, вар. 1 – береза, вар. 2, 3, 4 – береза с акацией желтой;

5-й ряд, вар. 1 и 2 – сосна, вар. 3 и 4 – береза с сосной;

6-й ряд, вар. 1 и 2 – береза, вар. 3 – сосна, вар. 4 – сосна с березой;

7-й ряд, вар. 1 – береза, вар. 2, 3, 4 – береза с акацией желтой.

Приживаемость всех пород была высокой. Но уже к 1941 г. из-за охлестывания березой крон сосны отпад ее составил 45 %. Постепенно состояние сосны ухудшалось и к настоящему времени она выпала полностью. Сосна веймутова оказалась более устойчивой.

На уч. 261 на площади 0,24 га лесная полоса была заложена по сплошной вспашке почвы весной 1934 г. по следующей схеме:

1-й ряд (от бровки размыва) – тополь белый, осина, сирень при смешении в ряду Т-сир-Ос-сир-Т-...;

2-й ряд – береза в смешении с липой (Б-Лп-Б-...);

3-й ряд – береза в смешении с акацией желтой (Б-аж-Б-...);

4-й ряд – сосна в смешении с акацией желтой (С-аж-С-...);

5-й ряд – дублирует 3-й ряд;

6-й ряд – дублирует 4-й ряд;

7-й ряд – дуб (Д-Д-...);

8-й ряд – кустарники: шиповник, жимолость, птелея, терен.

Сведений о росте деревьев в первые годы жизни не сохранилось. Насаждение было значительно повреждено в военные годы. В 1947 г. здесь была заложена пробная площадь с вырубкой кустарников в опушечном ряду и приборочного ряда в нижней части полосы. В 1956 г. проведены повторные пересчеты. Оказалось, что рубка не привела к усилению образования корневых отпрысков на откосах. Они появились в небольшом количестве только от обрушившихся пней и деревьев. Общее их количество не превышало 5-6 тыс./га. Вместе с тем уже в то время на теневых откосах появилось значительное количество (до 12 тыс. шт./га) подроста сосны. Единичные экземпляры самосева сосны начали появляться и на противоположном откосе.

В настоящее время на всех откосах размывов с оттеняющими полосами сформировались разновозрастные насаждения полнотой

0,4-0,6 с преобладанием сосны 35-летнего возраста высотой 12-16 м. а северных откосах имеется также и густой подлесок преимущественно из акации желтой. В лесных полосах господствующее положение занимает береза. Крайний к размыву ряд полностью обрушился, сосна сохранилась единично, сильно охлестанная березой. Дуб угнетен, представлен тоже единичными экземплярами.

2.5. Кольматирующие насаждения

Рабочая гипотеза создания кольматирующих клеток состояла в том, чтобы с помощью узких лесных полос отграничить наиболее эродированные земли, примыкающие к гидрографической сети, и за счет лесолугового использования добиться ускоренного восстановления их почвенного плодородия. Создание таких полос может быть оправдано в том случае, если присетевые земли расчленены густой сетью боковых размывов (ближе 100 м). Полосы располагаются по бровке суходола (лощины), вдоль боковых размывов и по их верхней границе и должны иметь плотную конструкцию. При необходимости создаются дополнительные полосы внутри отграниченных таким образом клеток. В результате весь присетевой фонд оказывается разбитым на небольшие клетки площадью 1-2 га, в которых благодаря мелиоративному влиянию лесных полос создаются благоприятные условия для роста травянистой растительности. Кроме того, в них формируется мощный снежный покров, так как в клетках практически исключается перенос снега. В период весеннего снеготаяния здесь происходит кольматаж мелкозема, выносимого с полевых склонов.

Такие кольматирующие клетки, оконтуренные узкими полосами, на территории станции созданы по обоим берегам Глубковского суходола, по левым берегам Одинокского и Жердевского суходолов. Наблюдения показали, что уже через три года после закладки лесных полос урожайность естественного травостоя в клетках заметно повышается, а смытая почва со временем приобретает признаки полнопрофильных зональных почв.

Наиболее полно идея создания кольматирующих клеток воплощена в натуре на землях, примыкающих к левому берегу Глубковского суходола. Здесь в 1925-1930 гг. (максимальный объем лесопосадочных работ выполнен 1929 г.) были заложены узкие лесные полосы преимущественно из ели и акации желтой. Подготовка почвы прово-

дилась вручную под лопату. На отдельных участках вместо ели использовали сосну, вместо акации желтой – жимолость. Сеянцы высаживались в пятирядные полосы шириной 2 м по схеме аж-Е-Е-Е-аж, междурядья 0,4 м, расстояние между растениями в ряду 0,25 м для ели и 0,5 для кустарников. На некоторых участках внутренний ряд в последующем выкапывался, а саженцы использовались для посадки в других полосах. В год посадки обычно проводилось по два ухода за почвой, после чего уходы прекращались.

К настоящему времени система созданных таким методом лесополос сохранилась, хотя повсеместно встречаются прогалины на месте вырубленных деревьев. Большой ущерб причинен в годы войны, а также пожарами и бессистемными рубками послевоенных лет. Довольно часто встречаются очаги поражения корневой губкой. На таких участках обычно появляется куртинный самосев березы. Но встречаются и участки полос, в которых сохранилась только акация желтая. Опушки полос сильно разрослись. Местами имеется естественное возобновление ели. Особенно в больших количествах оно встречается в нижнем ярусе клеток размером 0,2-0,3 га, непосредственно примыкающих к бровке суходола. Много самосева ели также на теневой стороне лесополос. Здесь встречается также и самосев березы.

Использование в качестве главной породы ели для кольматирующих полос следует все же признать не совсем удачным. Главный недостаток состоит в недолговечности ели в узких лесных полосах и сильной поражаемости ее корневой губкой. Более приемлемой для этих целей могла бы стать лиственница сибирская, характеризующаяся успешным ростом во всех условиях произрастания, а также большой долговечностью. Необходимую плотность профиля лесных полос вполне могли бы обеспечить кустарники.

По правому берегу этого же суходола, ближе к его устьевой части, имеется еще одна небольшая система кольматирующих лесных полос общей площадью 0,89 га (уч. 232, 233, 234). Размеры образуемых ими клеток составляют 80×80 и 80×60 м. Полосы закладывались весной 1932 г. посадкой сеянцев под меч Колесова по предварительно вскопанной с осени почве. Схема посадки аж-Д-Б-С-аж для опушечных полос и аж-Д-Б-Е-аж для внутренних полос-перемычек. Принятая схема не была полностью выполнена из-за отсутствия посадочного материала дуба. Размещение растений 1,2×0,7 м.

Полосы были сильно повреждены в войну и в первые послевоенные годы. В настоящее время береза представлена преимущественно

но порослевым поколением, хотя и имеет достаточно высокие показатели роста: высота ее достигла 20 м, диаметр 38 см. Сосна и ель выпали полностью, возможно, из-за охлестывания их крон ветками березы. Акация желтая сильно разрослась и вышла за пределы проектной ширины лесных полос.

Кольматирующие клетки на склонах, примыкающих к левому берегу Одинокского суходола, создавались в 1933-1937 гг. В большинстве случаев они не примыкают друг к другу.

Нижняя кольматирующая клетка, расположенная ближе к устью суходола, оконтурена 5-рядной лесной полосой площадью 0,21 га со схемой посадки аж(бояр, Ив, Кт)-Д-Б-С-аж (уч. 693). Посадка проведена весной 1934 г. по зяблевой вспашке. Размещение посадочных мест $1,2 \times 0,7$ м, т. е. по той же схеме, что и на правом берегу Глубковского суходола. Но здесь сеянцы дуба посадили весной 1936 г. В этом же году проведено и дополнение полос с соблюдением ранее принятой схемы посадки. Уходы за почвой в лесных полосах проводили только в год посадки (два ухода).

Верхний и нижний участки лесной полосы в год вспашки были разбиты на три варианта: без внесения удобрений, с внесением 250 кг/га сернокислого аммония и 250 кг/га суперфосфата. Удобрения внесены вручную через месяц после посадки и заделаны в почву мотыжением, но не оказали положительного влияния на рост культур.

Полоса была повреждена в войну и в послевоенные годы. В настоящее время береза здесь представлена преимущественно порослевым поколением, имеет высоту 25 м и диаметр 36 см. Сосна полностью выпала, возможно, из-за сильного охлестывания ее кроны ветвями березы. В составе насаждения нет и дуба. Опушки из кустарников сильно разрослись, особенно акация желтая. Боярышник плодоносит почти ежегодно. Ива и клен татарский встречаются единично, сильно угнетены. Внутри клетки появился куртинный самосев березы.

Вторая клетка расположена несколько выше по руслу суходола на смытых землях, примыкающих к берегу суходола и отвершка За. Насаждения заложены весной 1934 г. на площади 0,18 га (уч. 689). Технология выращивания лесополос аналогична предыдущей. В насаждения вместо сосны вводилась ель, а из кустарников – акация желтая, шиповник, жимолость. Азотные удобрения вносились из расчета 170, фосфорные 250 кг/га. Результаты аналогичны результатам предыдущего опыта.

В настоящее время состав и состояние лесных полос, оконтуривающих клетку, неодинаковы. В верхней лесной полосе, где береза была своевременно вырублена, дуб и ель сохранились и имеют вполне удовлетворительное состояние. В правой лесной полосе (по бровке отвершка За), где береза не вырубалась, ель сохранилась лишь единично, дуб полностью выпал. Такая же картина и в нижней лесной полосе. В левой полосе была вырублена ель, но оставлена береза здесь дуб полностью выпал. Сама клетка занята насаждением состава 10Б естественного происхождения, возраст примерно 50-60 лет. Под пологом березы имеется густой подрост ели.

Между Макаркиным верхом (один из отвершков левого берега Одинокского суходола, водосборная площадь которого полностью расположена за пределами территории станции) и отвершком За находится еще одна небольшая система кольматирующих полос. Полосы по бровке суходола и по верхней границе размывов заложены в 1932-1933 гг. преимущественно из ели с размещением посадочных мест $1,5 \times 1,0$ м, общая их площадь составляет 0,92 га. На участке полосы площадью 0,10 га (уч. 638), непосредственно примыкающей к Макаркину верху, имеется участок длиной 160 м со схемой посадки жим-Е-жим-Е-жим-Ос-жим. Предполагалось, что на других участках вместо осины будут испытываться другие породы, но замысел не был реализован. В заложенных 1-3-рядных лесных полосах по границе землепользования до второй клетки в устьевой части отвершка За использовалась только ель. Посадочный материал для этих полос брался из кольматирующих полос, заложенных ранее по левому берегу Глубковского суходола, и из Моховского лесхоза.

Наиболее полно сохранилась только кольматирующая полоса по границе землепользования. Состояние ее хорошее, высота деревьев 21 м, диаметр 26 см. Кроны сильно развиты, опущены до поверхности почвы. Конструкция полос плотная. Осина в составе полосы (уч. 638) сохранилась, ее показатели несколько превосходят аналогичные показатели ели, но стволы ее поражены гнилями. Появилось куртинное корнеотпрысковое возобновление осины. С теневой стороны около лесной полосы имеется густой подрост ели высотой до 3-5 м с небольшой примесью березы.

С восточной стороны систему клеток ограничивает глубокий боковой размыв, расположенный параллельно Макаркину верху на расстоянии 20 м от его бровки и оконтуренный с обеих сторон двухрядны-

ми лесными полосами из сосны обыкновенной (уч. 630, 633, площадь 016 га). Полосы заложены в 1939 г. посадкой семян в ямки по сплошь обработанной почве. Одновременно здесь же закладывался опыт по изучению влияния плодовых на задернение и зарастание осыпающихся откосов, прекращение роста размыва в ширину. С этой целью непосредственно на откосах размыва высаживались вишня слива, яблоня, груша. Но высаженные сеянцы прижились плохо, а затем и сползли в русло размыва вместе с продолжающимися осыпаться откосами. Ряды сосны остались. Причем сосна здесь имеет очень хорошие показатели: в возрасте 50 лет ее высота составляет 24 м, диаметр 29 см. На откосах размыва в настоящее время имеется хорошее естественное возобновление ели высотой до 8 м, осыпание откосов полностью прекратилось.

Подобные двухрядные лесные полосы из сосны с опушками из шиповника и яблони сохранились также по узким останцам между боковыми размывами (уч. 635, площадь 0,06 га).

Весной 1932 г. заложены двухрядные лесные полосы на пологом склоне, примыкающем к левому берегу Жердевского суходола. Крутизна склона 3-4°, экспозиция северная. Схемы посадки Е-Св, Св-Е, Св(Е)-Е(Св) (уч. 64, 65, 67). Посадка семян проведена в ямки с размещением посадочных мест 1,5×0,75 м. Полосы заложены вдоль глубоких боковых размывов, по бровке суходола и параллельно бровке на уровне вершин боковых размывов, таким образом образованы две изолированные друг от друга замкнутые кольматирующие клетки. Общая площадь этих полос составила 0,93 га. В одной из них в 1940 г. были заложены культуры разных древесных пород по разным вариантам подготовки почвы, другая используется под пастбище. Описание культур приведено в разделе «Жердевский суходол».

В настоящее время кольматирующие полосы имеют хорошее состояние. Кроны деревьев хорошо развиты. Средние высоты сосны и ели примерно одинаковы и составляют 20-22 м, но по диаметру сосна значительно толще ели: у сосны он составляет 34-37, у ели 20-25 см.

Весной 1941 г. на склоне между северной широкой стокорегулирующей лесной полосой (ширина 100 м) и кольматирующими клетками была заложена система лесных полос, которые по своему пространственному расположению могут быть отнесены к кольматирующим лесным полосам (сближенное размещение лесных полос, особенно нижнего яруса; размещение полос вдоль неглубоких размывов), хотя по ширине эти полосы в большинстве своем ближе к полезащит-

ным. Их ширина от 8 до 20 м, общая площадь 2,03 га (уч. 68-78). Применявшиеся схемы смешения: С-С-С, Б(Т)-Т(рб)-Т(чер)-Б(Т), Б(ябл)-Б(рб)-Б(ябл)-Б(раб)-Б(ябл), Б(шип, ябл)-Ябл(шип)-Б(шип), Б(ябл)-Б(Аб)-Б(Аб)-Б(Аб)-Б(ябл), Б(Т)-Б(Аб)-С(А)-С(Аб)-Б(Т), Б-Б(Аб)-Б(Аб)-Б-Б(Аб)-Б и другие, почти во всех в качестве главной породы использована береза. Размещение посадочных мест 1,5×0,7 и 3,0×1,0 м. В полосах в год посадки проведено по два ухода за почвой. На этом уходе за почвой были прекращены из-за начавшейся войны. Возможно, по этой причине в некоторых полосах оказался большой отпад древесных растений.

В настоящее время большинство полос с березой имеют хорошее состояние. Сосна в чистых культурах и в смешении с акацией белой изрежена. Тополь сохранился в виде единичных экземпляров, но по росту не уступает березе. Акация белая в большинстве своем выпала, внутри полос угнетена, но по опушкам сформировала хорошее естественное возобновление куртинного характера. Яблоня, черемуха сохранились в виде небольших куртин.

2.6. Полезащитные лесные полосы

В связи с сильной расчлененностью территории гидрографической сетью полевые склоны, как правило, имеют небольшую длину, редко превышающую 500 м. Поэтому полезащитные лесные полосы занимают небольшую площадь. Большинство из них – это стокорегулирующие лесные полосы, расположенные на склоне северной экспозиции, примыкающем к левому берегу Жердевского суходола. Полосы рассчитывались на полное задержание поверхностного стока, а потому ширина их составила 100 м. Закладывались они в 1932-1935 гг.

Нижняя лесная полоса была разбита на участки (90, 91, 92, 93). По периметру каждого из них была высажена однорядная окаймляющая полоса из березы.

На уч. 93 площадью 1,71 га в сентябре 1932 г. проведена вспашка почвы по горизонталям. В октябре того же года выполнена посадка сеянцев из своего питомника в плужные борозды под лопату в ямки с размещением 1×0,75 м. Схема посадки Кяс-Д(аж)-Д(аж)-Д(аж)-Кяс-Б(жим)-Б(жим)-Б(жим)-Кяс-Ос(жим)-Ос(жим)-Ос(жим)-Кяс-Д(аж)-... Дуб, однако, ввели только в 1938 г. посевом желудей под копые.

В 1933 г. проведено по одному рыхлению междурядий конным плугом и по одному ручному рыхлению почвы в рядах. На конец ве-

гетационного периода сохранность клена ясенелистного составила 69, березы 37, осины 55, жимолости 57 %, акация желтая выпала полностью. Весной и осенью 1934 г. было проведено дополнение культур рябиной и лещиной обыкновенной. Ранее принятая при посадке схема смешения не была соблюдена.

В 1933 г. весь участок был разбит на 2 варианта: с уходами (двукратное рыхление почвы в междурядьях и трехкратное в рядах) и без ухода. В 1935 г. на варианте с уходами проведено еще двукратное рыхление почвы в рядах. Затем ухода за почвой были прекращены. По состоянию на конец 1935 г. средняя высота березы с уходами составила 126, без уходов 90 см, осины 80 и 62, клена ясенелистного 51 и 28, жимолости 45 и 30, акации желтой 32 и 20, рябины 74 и 64, лещины 15 и 16 см. Существенных различий в сохранности по вариантам не наблюдалось.

В настоящее время здесь расположено чистое насаждение березы частично порослевого происхождения. В восточной части участка, примыкающего к насаждению из сосны веймутовой, большое количество ее самосева и подростка. Дуб встречается редко, сильно угнетен. Осина и клен ясенелистный, а также жимолость выпали. Имеется густой подлесок из акации желтой высотой до 4 м. Редко встречается лещина.

На участке 92 площадью 1,21 га осенью 1932 г. проведена вспашка по горизонталям полосами шириной 7-12 м с оставлением между ними не вспаханных полос примерно такой же ширины. На вспаханных полосах весной 1933 г. проведена посадка сеянцев в ямки под лопату. Высаживались клен ясенелистный, клен остролистный, вяз, липа, дуб, жимолость, акация желтая. Схема смешения в рядах Ко(кяс)-куст-Вз-куст-Лп-куст-Д-куст-... Дуб ввели посевом желудей в 1938 г. В год посадки культур проведен один уход.

Весной 1934 г. на не вспаханных полосах провели посадку сеянцев древесных и кустарниковых пород по той же схеме. Дополнительно в состав насаждения ввели ясень обыкновенный, орех серый, каштан конский, бузину. В этом же году участок разбили на 2 варианта: с уходами за почвой и без них. Последующие работы выполняли по схеме уходов на участке 93. В конце вегетационного периода 1935 г. средняя высота липы на варианте с уходами за почвой составила 52, на варианте без уходов 42 см, вяза соответственно 58 и 32, ясеня обыкновенного 10 и 10, клена ясенелистного 38 и 27, клена остролистного 29 и 23, жимолости 46 и 29, акации желтой 29 и 20 см.

Орех серый на варианте без уходов полностью выпал. Очевидно, выпал и каштан на обоих вариантах.

Насаждение было сильно повреждено в годы войны. Вследствие этого, например, в окаймляющей участок однорядной полосе из березы преобладают порослевые экземпляры. Остальная площадь участка занята липой с большой примесью березы естественного происхождения (состав 6Лп4Б) в виде кулис, между которыми расположены кулисы кустов жимолости и акации желтой. Все остальные породы выпали.

По уч. 91 площадью 0,73 га первичных материалов не сохранилось. В настоящее время его состав 10Б с единичными деревьями ели и сосны веймутовой. Подрост этих пород высотой до 3 м распространен по всей площади участка. Реже отмечается подрост липы. Подлесок средней густоты, преобладает лещина, встречаются также акация желтая, рябина.

На уч. 90 площадью 1,21 га осенью 1932 г. проведена вспашка почвы полосами шириной 9-12 м по горизонталям оставлением между ними невспаханных полос примерно такой же ширины. Весной 1933 г. по вспаханным полосам в ямки под лопату высадили сеянцы березы, осины, клена ясенелистного, акации желтой, жимолости лентами по 3 ряда главной породы со смешением по схеме куст-подг-г.п.-г.п.-г.п.-подг-куст-подг-г.п.-г.п.-г.п.-подг-... В качестве главных пород использовались береза, осина, дуб, подгоночных – клен ясенелистный. Размещение посадочных мест 1,0×0,75 м, сеянцы-двухлетки получены из своего питомника. Весной 1933 г. оставленные незакультивированными полосы были вспаханы, по ним высажены те же породы и по той же схеме, что и в предыдущем году. Дуб по указанной схеме ввели только в 1938 г. посевом желудей под копые. Уходы за культурами и дополнения проведены по схеме предыдущих участков. Лещина введена в состав насаждения весной 1935 г.

В 1941 г. средняя высота березы с уходами составила 338, без уходов 306 см, осины 343 и 263, клена ясенелистного 120 и 71, жимолости 163 и 73, лещины 92 и 81 см. К этому времени уже появились и корневые отпрыски осины на варианте с уходами.

К настоящему времени сформировалось насаждение состава 10Б с густым подлеском из акации желтой и лещины. Состояние хорошее. Осина и дуб сохранились единично. Клен ясенелистный полностью выпал.

Верхняя лесная полоса шириной 100 м расположена практически по водоразделу в 700 м от предыдущей. При ее закладке площадь

была разбита на секции. Характерной их особенностью является близкое расположение грунтовых вод: в весеннее время они в понижениях выклиниваются на поверхность почвы.

На одной секции (уч. 96-98 площадь 0,89 га) осенью 1932 г. проведена сплошная вспашка почвы по горизонталям. Весной 1933 г. по периметру участка высажена однорядная окаймляющая полоса из березы. На оставшейся части участка культуры заложены только осенью 1934 г. и весной 1935 г. посадкой в ямки сеянцев березы, сосны обыкновенной, клена ясенелистного, ясеня обыкновенного, лиственницы сибирской, липы мелколистной, клена остролистного, сосны веймутова, ели обыкновенной, осины, ольхи черной и 10 видов кустарников. Каждая древесная порода высаживалась чистыми рядами, между которыми помещался ряд кустарников. Кустарники в ряду чередовались друг с другом. Размещение посадочных мест 1,2×0,6 м. Сеянцы всех пород взяты из своего питомника. Дуб в культуры введен в 1938 г. посевом желудей под копые. Вероятнее всего, желуди были высеяны и на месте выпавших сеянцев других древесных и кустарниковых пород.

По состоянию на 1941 г. средняя высота древесных пород, высаженных осенью 1934 и весной 1935 гг. следующая: березы 304 см 1934 г. посадки и 401 см 1935 г., сосны обыкновенной 105 и 166, ели обыкновенной 75 и 75, осины 213 и 280, липы 79 и 78, ольхи 189 и 175, дуба 35 и 24 см. Сосна веймутова 1934 г. посадки выпала, 1935 г. имеет высоту 78 см.

Сохранность березы, высаженной в разные сроки, примерно одинакова и достигла 98-100 %. Сохранность остальных лиственных пород, кроме осины, была выше при весенней посадке. Особенно большой отпад имел место при осенней посадке хвойных пород, а сосна веймутова выпала полностью. Правда, большой отпад сосны веймутовой, ели обыкновенной, ольхи черной отмечен и на варианте посадки в весеннее время, к 1941 г. он достиг 51,6-64,1 %. Кустарниковые породы хорошо сохранились на всех вариантах посадки.

Насаждение очень сильно было повреждено в годы войны: и пожарами 1946 г. К 1967 г. на участке преобладал дуб с большой примесью березы естественного происхождения. Подлесок и подрост отсутствовали. Дуб сильно угнетался березой, поэтому тогда же на большей части участка провели сплошную вырубку березы. Это значительно улучшило условия для роста дуба. При обследовании насаждения в 1991 г. состав был 10ДедБ (исключая окаймляющий ряд

березы). Насаждение сомкнутое. Высота дуба достигла 17 м, диаметр 19 см. В небольшом количестве начал появляться подрост липы и подлесок рябины.

В восточной части участка, где вырубка березы не проводилась, дуб сохранился лишь в небольшом количестве и продолжает отмирать. Верхний ярус занимает береза (уч. 98 площадью 0,40 га), высота которой достигла 23 м, диаметр 25 см. Под пологом насаждения имеется обильный подрост липы и клена остролистного высотой до 3 м, единично встречается подрост ольхи черной. По восточной границе участка сохранились единичные суховершинные деревья ольхи черной. Подлесок представлен преимущественно рябиной средней густоты и редко встречающимися кустами бересклета бородавчатого, бузины, жимолости.

На другой секции (уч. 101 площадью 1,35 га) осенью 1932 г. была проведена сплошная вспашка почвы по горизонталям. Посадка сеянцев выполнена весной 1933 г. в ямки под лопату. Высаживались липа, клен остролистный, ясень обыкновенный, вяз, клен ясенелистный, жимолость «по периметру участка сделана однорядная посадка березы. Смешение пород – рядами, располагавшимися поперек полосы» размещение посадочных мест 1,0×0,75 м. Схема посадки жим-Д-жим-Яс-жим-Ко-жим-Вз-жим-Лп-жим- Д-... Участок разбивался на 2 варианта: с уходами за почвой и без уходами. Дополнение культур проведено в 1934 г. По состоянию на 1941 г. высота культур по вариантам (с уходами и без уходами) следующая: липы 138 и 129 см, вяза 108 и 65, ясеня 53 и 50, клена остролистного 47 и 37, жимолости 101 и 88 см. Сохранность всех пород выше на варианте с уходами за почвой.

Как и на предыдущем участке, насаждение было сильно повреждено в войну и в послевоенные годы. До настоящего времени здесь сохранились остатки окопов. К 1957 г. насаждение представляло собой ряд кулис, в каждой из которых имелось по ряду дуба, липы, ясеня, клена, вяза, чередующихся с рядами жимолости. Среди древесных пород господствующее положение занимала липа, остальные были представлены небольшим количеством угнетенных деревьев. Окаймляющая участок однорядная посадка березы уже была порослевой. Значительное количество деревьев березы естественного происхождения встречалось по всей площади участка. В 1957 г. здесь заложена пробная площадь, где вырублены отставшие в росте деревья липы. Санитарные рубки проведены и в остальной части насаждения. При

этом значительное число деревьев березы все же было оставлено. Дальнейшие наблюдения показали, что оставление одиночно расположенных деревьев березы привело к охлестыванию и деформации кроны липы. В 1969 г. оставшиеся деревья березы полностью были вырублены. Отмечалась высокая товарность стволов березы.

В настоящее время насаждение имеет состав 10 Лп и находится в хорошем состоянии. Высота липы достигла 25 м, диаметр 24 см. Остальные породы представлены единичными экземплярами. Среди них лучшие показатели у клена остролистного, но и он уступает липе в росте. Клен остролистный в небольшом количестве встречается в подросте. В подлеске редко встречается рябина. Липа плодоносит, но ее естественное семенное возобновление отмечено только за пределами участка, под пологом дубового и березового насаждений.

Часть участка 100 на площади 0,36 га была оставлена без ухода. Здесь в настоящее время господствующее положение занимает береза, насаждение имеет состав 8Б2Лп, причем кроны липы сильно охлестаны. Подлесок средней густоты из рябины, жимолости, лещины.

На третьей секции (уч. 103 площадью 1,35 га) осенью 1932 г. по сплошной вспашке были высажены сеянцы березы и осины кулисами 10×10 м с шахматным расположением. Схемой предусматривалось введение дуба, посев желудей которого был проведен в 1938 г. В каждой кулисе расположение посадочных мест 1,0×0,75 м с чередованием чистых рядов главной породы и кустарника (жимолости или акации желтой). К концу 1933 г. культуры практически погибли: сохранность осины составила 7, жимолости 44, березы 22 %. Поэтому весной 1934 г. здесь же в ямки были высажены сеянцы березы, липы, ясеня, акации желтой, бузины по схеме аж-аж-аж-Д-Д-Ко-(Кяв)-Лп(Яо)-жим-Лп(Яо)-жим-Лп(Яо)-Ко-(Кяв)-Д-Д-... В 1935 г. проведено по две прополки сорняков вручную. К 1941 г. средняя высота березы составила 505 см, липы 186, ясеня 101, клена остролистного 30, оспины 516, жимолости 112, акации желтой 130 см.

Насаждение было сильно повреждено в войну и в последующие годы пожарами и бессистемными рубками. К 1957 г. оно представляло собой разбросанные по всей территории участка многочисленные куртины и гнезда березы, осины, липы, преимущественно порослевого происхождения, чередующиеся с небольшими окнами, которые заняты редкой порослью березы и осины. Имеется редкий подрост липы, клена остролистного, ясеня, ивы. Весь участок сильно изрезан

окопами и ходами сообщения, сохранились также остатки пней от бессистемных рубок.

В настоящее время в насаждении преобладает береза. Липа и клен (во втором ярусе) значительно уступают ей в росте. Отмечается сильная дифференциация деревьев липы, особенно по диаметру. Товарность древостоя низкая, полнота неравномерная. Имеется подрост, преимущественно клена остролистного, местами очень обильный. Подлесок из акации желтой редкий. Другие породы, высаживавшиеся на этом участке, полностью выпали.

По западной границе территории Жердевского участка весной 1941 г. по зяблевой вспашке высаживались 3-5-рядные полезащитные лесные полосы шириной 5-10 м с размещением посадочных мест 1,5×0,7 м (уч. 84, 85, 87, 88). Применялись следующие варианты смешения: Б(Т)-Т(ябл)-Б(Т)-Т(ябл)-Б(Т); Б(ябл)-Б(Ко)-Б(ябл)-Б(Лп)-Б(ябл)-Б(Т)-Т(Лп)-Б(Т); Б(ябл)-Б(Лп)-Б(ябл); Б(ябл)-Б(ябл)-Б(ябл). Общая площадь этих полос составляет 0,57 га. При учетах 1950 г. отмечалось, что береза значительно опередила в росте остальные породы, в том числе и тополь, который к настоящему времени вообще сохранился лишь единично. Яблоня сильно угнетена, ее высота редко превышает 2-3 м. Несколько лучше состояние клена остролистного, который находится во втором ярусе, уступая березе по высоте более чем в 3 раза (уч. 87). И только липа в 3-рядной лесной полосе (уч. 35) имеет хорошее состояние, хотя тоже уступает березе в высоте. Более того, участие липы в составе насаждения значительно улучшило товарность древостоя березы, которая при диаметре 28 см имеет высоту 24 м.

На склоне юго-восточной экспозиции между отвершками 1 и 2 Одинокского суходола в 1931 г. заложено плодовое насаждение шириной 100 м (по горизонталям) с опушками из березы и ели. Подготовка почвы выполнена по системе черного пара. В верхнюю и боковые опушки высаживалось по одному ряду березы и по три ряда ели со смешением в ряду с акацией желтой по схеме Б(аж)-Е(аж)-Е(аж)-Е(аж). Нижняя опушка состоит из трех рядов березы и одного ряда ели в смешении с акацией желтой по такой же схеме. Расстояние между рядами 1, 2 м, между сеянцами в ряду 0,6 м. Общая площадь этих полос 0,64 га. Между верхними и нижними опушками (по существу, садозащитными посадками) отдельными куртинами с размещением посадочных мест 8×8 м высаживались яблони Антоновка, Штрейфлинг, Бабушкино, Коричное, Апорт, Пепин. Ближе к восточной опушке участка в междурядьях плодовых высаживались малина и черная смородина.

Это насаждение было сильно повреждено в ходе военных действий. Окаймляющие сад лесные полосы изрежены бессистемными рубками, и вследствие естественного возобновления березы (семенного и вегетативного) опушки их сильно разрослись. Кроме березы, в небольшом количестве имеется естественное возобновление клена ясенелистного, подлесок представлен рябиной, бузиной, акацией желтой. Ель сохранилась в виде небольших куртин (уч. 479-483).

В послевоенные годы проведен ремонт сада, но уже без соблюдения первоначальной схемы посадки. Выпавшие ягодники больше не восстанавливались. За этим садом в последние годы не ведется совершенно никаких уходов, хотя он продолжает почти ежегодно плодоносить, а в отдельные годы очень обильно.

Кроме упомянутого участка, яблоня лесная, а нередко и культурные сорта, довольно широко применялась при выращивании защитных насаждений на территории станции. Высаживалась она и по садовой схеме, и по схеме посадки лесных культур (сближенные посадочные места). На участках, где яблоня вводилась в лесные полосы вместе с древесными породами, она со временем либо полностью выпала, либо оставалась в подлеске в угнетенном состоянии. В опушечных рядах и в чистых культурах яблоня лесная обильно плодоносит, дает естественное возобновление. Плодоносят и культурные сорта, высаженные по садовой схеме в виде небольших куртин или отдельными деревьями.

На том же склоне, что и плодовое насаждение, по границе приводораздельного и присетевого фондов расположена стокорегулирующая полоса посадки 1939-1940 гг. на площади 0,43 га (уч. 484). Схема посадки шип-Б(С)-Б(С)-Б(С)-аж, размещение посадочных мест 1,0×0,7 м. В настоящее время полоса шириной 8 м имеет состав 10БедС. Из-за сильного охлестывания березой сосна почти повсеместно выпала. В значительной мере выпал и шиповник, хотя в послевоенные годы отмечалось, что он создавал плотную опушку. Акация желтая сформировала подлесок, местами густой.

Осенью 1948 г. и весной 1949 гг. по водоразделу между водосборами Одинокского и Жердевского суходолов заложена приводораздельная лесная полоса шириной 15 м на площади 1,31 га.

Почвы полнопрофильные серые лесные с близким залеганием верховодки. Насаждение создавалось отдельными секциями, на которых применялась различная технология выращивания лесных культур.

Вариант 1 (уч. 454, площадь 0,22 га). Основная вспашка почвы проведена в сентябре. Перед посадочными работами весной 1949 г. почва прокультивирована и проборонована. Посадка дичков дуба проведена пучками по 4 шт. в каждое посадочное место на площадки 1×1 м в форме конверта с размещением площадок $5,0 \times 3,15$ м. В междурядьях высевались семена акации желтой и клена остролистного, но они всходов не дали. Осенью 1949 – 1951 гг. широкие междурядья перепахивались, в 1952 г. проведено однократное рыхление междурядий конным культиватором.

Вариант 2 (уч. 455, площадь 0,11 га). После уборки зерновых в сентябре 1948 г. почва была вспахана под зябь. Перед посадкой сеянцев лиственницы в октябре этого же года почва перепахивалась. Сеянцы высаживались в площадки 1×1 м по 5 шт. с размещением посадочных мест в форме конверта, расстояние между центрами площадок $2,23 \times 2,23$ м. Весной 1949 г. проведено дополнение культур. Уходы за почвой аналогичны уходам на варианте 1.

Вариант 3 (уч. 456, площадь 0,22 га). Основная вспашка почвы проведена в сентябре, весной 1949 г. почва прокультивирована и заборонована. Сеянцы дуба высажены в апреле 1949 г. пучками по 9 шт. в каждое посадочное место на площадке 1×1 м с расположением посадочных мест в форме конверта. Расстояние между центрами площадок $8,54 \times 3,54$ м. Уходы по варианту 1.

Вариант 4 (уч. 457, площадь 0,29 га). Подготовка почвы – по варианту 2. Сеянцы лиственницы сибирской высаживались осенью 1948 г. под лопату в щель по 13 шт. на площадку 1×1 м с расположением площадок $3,54 \times 3,54$ м. Весной 1949 г. проведено дополнение культур и посев в широких междурядьях акации желтой, между площадками клена остролистного. Широкие междурядья были засеяны овсом. Всходы акации желтой погибли, всходы клена не появились. После уборки овса междурядья были перепаханы и засеяны озимой рожью, однако всходы ржи выпрели. Уходы за почвой по варианту 1.

Вариант 5 (уч. 458, площадь 0,13 га). Подготовка почвы – по варианту 2. Осенью 1948 г. в площадки 1×1 м высаживалось по 41 сеянцу лиственницы сибирской с размещением площадок $6,33 \times 3,15$ м. Весной 1949 г. проведено дополнение осенних культур, а в широких междурядьях в дополнительные площадки 1×1 м посажено по 15 сеянцев лиственницы сибирской. Потом широкие междурядья рыхлились, в них высевалось по 4 ряда семян акации желтой и высевался

овес; между площадками высевались семена клена остролистного. Под покровом овса всходы акации желтой погибли, клен всходов не дал. После уборки овса междурядья перепахали и засеяли озимой рожью. Всходы ржи получены слабые и при перезимовке погибли. Дальнейшие уходы – по варианту 1.

Варианты 6 и 7 (уч. 459, площадь 0,13 га). Подготовка почвы по варианту 1. В апреле 1949 г. в площадки 1×1 м высаживалось по 15 и 19 дичков дуба, размещение площадок 6,33×3,15 м. Далее уходы по варианту 5.

Вариант 8 (уч. 460, площадь 0,11 га). Подготовка почвы по варианту 2. Перед посадкой почва перепахивалась. Укорененные черенки тополя высаживались осенью 1948 г. в ямки под лопату с размещением 1×1 м. Черенки тополя готовились весной 1948 г. на Одинокской базе и высаживались сразу же для укоренения на питомнике, а осенью были взяты для посадки. В год посадки проведено 4-кратное рыхление почвы в междурядьях с одновременной прополкой сорняков вокруг сеянцев вручную; в 1950 г. – один уход за почвой в рядах и междурядьях, в 1951 г. – двукратное рыхление почвы в междурядьях конным культиватором.

Вариант 9 (уч. 461, площадь 0,11 га). В сентябре почва была вспахана под зябь, в октябре того же года 1948 г. перепахана и заборонована. Сразу после вспашки и боронования нарезались плужные борозды через 1 м, в которые высевались желуди дуба с размещением посевных мест через 1 м. Зимой желуди погибли. Весной 1949 г. почва прокультивирована, заборонована и высажены дички дуба с размещением посадочных мест 1×1 м. Уходы за почвой – по варианту 10.

Вариант 10. Подготовка почвы – по варианту 2. Осенью 1948 г. под лопату были высажены сеянцы лиственницы сибирской с размещением посадочных мест 1×1 м. Из-за выжимания сеянцев, посаженных по свежевспаханной почве, культуры погибли. В дальнейшем участок остался незакультивированным.

Наблюдения за ростом и сохранностью культур в первые годы жизни показали, что лиственница и тополь растут намного быстрее дуба; в возрасте 6 лет высота тополя составила 344 см, лиственницы на разных вариантах посадки 258-326 см, в то время как дуба всего 55-74 см. Причем у лиственницы максимальные значения высот на варианте посадки по 5 сеянцев на площадку, минимальные – по 41 сеянцу. Самую высокую сохранность в этом возрасте имел тополь –

87 %, сохранность лиственницы, как и дуба, невысокая и по вариантам изменяется в широких пределах, соответственно 26-37 и 35-71 %.

В настоящее время насаждения приводораздельной полосы характеризуются хорошим состоянием и высокими таксационными показателями, особенно лиственница и тополь. В возрасте 42 лет лиственница на всех вариантах достигла высоты 20 м, диаметра 24-26 см, тополь соответственно 25 и 20 см, в то время как дуб 13-15 м и 15-16 см. Следует отметить, что если в возрасте 6 лет дуб по высоте уступал тополю и лиственнице в 4-6 раза, то в возрасте 42 лет всего в 1,5 раза. Повсеместно начал формироваться подлесок из рябины и бузины.

Как бы продолжением предыдущего опыта являются лесные полосы шириной 15 м, заложенные по границе с землепользованием бывшего колхоза «Маяк».

Вариант 1 (уч. 462, площадь 0,09 га). После уборки сельскохозяйственных культур почва вспахана под зябь. Непосредственно перед осенней посадкой почва перепахивалась и бороновалась. В октябре 1948 г. проведен посев желудей в напаханные плугом борозды, на 1 пог. м высевалось по 10 желудей, но всходы не появились. Весной 1949 г. почва была прокультивирована и заборонована; провели посадку семян лиственницы с размещением 1,5×0,7 м. В первый год сделано четыре ухода за почвой, во второй три. Приживаемость культур составила 45 %, сохранность в 3-летнем возрасте 22,5 % при средней высоте 177 см. Сведений о дополнениях не имеется. Теперь здесь сомкнутое насаждение лиственницы с показателями роста по II бонитету. Подлесок отсутствует.

Вариант 2. Подготовка почвы выполнена аналогично варианту 1. В октябре 1948 г. высажены сеянцы лиственницы. Из-за вымерзания сеянцев культуры погибли. Участок площадью 0,09 га остался незакультивированным.

Вариант 3 (уч. 463, площадь 0,16 га). Подготовка почвы аналогична варианту 1. В октябре 1948 г. высажены окоренные черенки тополя с размещением посадочных мест 1,5×0,7 м. В первый год проведено пять уходов за почвой в рядах и междурядьях, во второй – четыре ухода, в третий два. В 3-летнем возрасте сохранность составила 89 %, средняя высота растений 300 см. Теперь здесь сомкнутое насаждение тополя высотой 23 м (диаметр 19 см). Появляется подрост из березы (редко) и подлесок из рябины, черемухи, жимолости.

Далее по границе с землепользованием бывшего колхоза «Маяк» поперек склона крутизной 1-2 (заложена лесная полоса шириной 2 м (уч. 473, 474). Экспозиция склона юго-восточная; почвы несмытые.

Почва готовилась по системе черного пара, осенью перед посадкой перепахивалась с одновременным боронованием. Посадка сеянцев проведена под лопату осенью 1948 г., дополнение культур – весной 1949 г. В 1949 г. сделано 5-кратное рыхление почвы с одновременной прополкой сорняков, в 1950-1952 гг. – по одному уходу.

На уч. 473 на площади 0,32 га заложены 2 варианта посадки однолетних сеянцев лиственницы сибирской с размещением посадочных мест 1,5×0,7 и 1,5×0,35 м. В первом случае в возрасте 3 лет сохранность лиственницы была 54 %, высота 184 см; во втором соответственно 28 % и 180 см.

По таким же схемам посадки на уч. 474 на площади 0,24 га были высажены окорененные черенки тополя. В возрасте 3 лет на первом варианте сохранность тополя была 97 %, высота 270 см, на втором соответственно 97 % и 312 см.

Черенки тополя для окоренения заготавливались в насаждениях Одинокской базы весной 1948 г. и высаживались в питомнике, а осенью пересаживались на постоянное место. Сеянцы лиственницы сибирской получены из Моховского лесхоза.

К настоящему времени на всех вариантах сформировались высокополнотные насаждения с показателями роста по 1 бонитету. В насаждениях выполнены рубки ухода. Состояние хорошее. Имеется подлесок, преимущественно из рябины высотой 2-3 м.

2.7. Снегосборные и снегораспределительные лесные полосы

Система узких лесных полос заложена на бывшем приречном севообороте между Глубковским и Одинокским суходолами. Первые полосы шириной 5 м из жимолости, спиреи, акации желтой были высажены осенью 1923 и весной 1924 гг. на склонах юго-восточной и южной экспозиций в местах сильного сдувания снега. Эти снегосборные полосы размещались по горизонталям на расстоянии друг от друга 15-20 саженей (32-43 м). Насаждения трехрядные, с расположением посадочных мест 1,5×1,0 аршин (1,6×0,7 м). Схема смешения жим-сп-аж. Было высажено 1600 пог. м таких полос. Из-за сильной весенней засухи был большой отпад сеянцев, особенно жимолости. В последующие годы эти полосы выпали полностью.

Посадка снегоборных и снегораспределительных лесных полос продолжалась и в последующие годы. Весной 1926 г. примерно через 50 м друг от друга по горизонталям заложены полосы-ленты шириной 1 м со следующими вариантами культур: аж-аж-аж; аж-Ив-аж; Д-Д-Д. В последнем случае предполагалась периодическая посадка дуба на пень для создания полос плотной конструкции с небольшой защитной высотой. Акация желтая и ива высаживались черенками с размещением 0,26×0,26 м, дуб – по 2 желудя в каждое посевное место по той же схеме. Причем полосы с акацией желтой высаживались преимущественно на склоне юго-восточной экспозиции (общая длина их 2,7 км), только с дубом – на склоне западной и северо-западной экспозиций (общая длина их 2,1 км). Полосы с дубом частично посажены и на склоне юго-восточной экспозиции. В 1928 г. в лесных полосах 415, 416, 432, 433, примыкающих к устьевой части Одинокского суходола, выпавшие экземпляры акации желтой и дуба заменены елью.

В полосах посадки весной 1926 г. в 1933 г. был заложен опыт по изучению влияния уходов за почвой на рост молодых культур. Установлено, что ель и дуб в возрасте 7 лет на уходы за почвой не реагировали, ива на уходы отозвалась незначительным увеличением приростов в высоту. Учеты в это время также показали, что дуб и ель хуже растут в нижней части склона юго-восточной экспозиции (вероятно, сказалась большая смывость почв); на склоне юго-западной экспозиции рост сеянцев лучше, чем на склоне юго-восточной экспозиции.

В 1926 г. продолжалась также закладка системы лесных полос по горизонталям со сближенными межполосными расстояниями (через 15 сажень, или 32 м). Закладывались они из жимолости татарской, аморфы, клена Гиннала, гордовины, вяза. Сеянцы высаживались между канавками для накопления влаги. Отмечалась хорошая приживаемость у всех высаженных пород, но приросты в высоту были невелики, а листья имели светло-зеленую окраску. Уходы за почвой в культурах не проводились.

Остатки этих полос (уч. 427а, 427б, 428, 430, 430а) сохранились до настоящего времени на склоне, примыкающем к правому берегу третьего отвершка Одинокского суходола. Аморфа сформировала куртинные заросли на прилегающих территориях (уч. 420, 429).

В 1927 г. снегоборные полосы из акации желтой вкладывались по предварительно вскопанной почве. Посев желудей выполнялся по неподготовленной почве. Длина высаженных полос из акации желтой составила 1,2, из дуба 1,5 км.

В 1933 г. в снегораспределительные лесные полосы на склоне юго-восточной экспозиции на площади 0,13 га (уч. 431а) дополнительно ввели по одному ряду кустарников лещины, рябины, ивы кустарниковой формы, а также внесли минеральные удобрения.

В 1938 г. значительная часть снегораспределительных лесных полос была вырублена и раскорчевана с целью расширения межполосных расстояний до 200 м, часть посажена на пень для формирования плотной конструкции (уч. 403, 404). Нетронутой осталась только часть полос на склоне западной экспозиции на площади 1,14 га (уч. 401, 405-407, 409, 411). В настоящее время дуб здесь имеет хорошее состояние, высота его составляет около 20 м, диаметр 28-30 см, кроны сильно развиты. Остатки снегосборных полос из акации желтой были раскорчеваны уже в 80-е годы, так как они в это время представляли собой небольшие разрозненные участки. На склоне юго-восточной экспозиции часть снегораспределительных лесных полос оказалась в пределах позднее созданных насаждений на размытых присетевых землях (уч. 432б).

Введение ели в состав узких снегораспределительных лесных полос себя не оправдало, так как она в этих условиях оказалась неустойчивой и почти полностью выпала из насаждений. На участке склона, где закладывались полосы из кустарников (примыкает к третьему отвершку), произошло зарастание межполосных полей липой, березой, редко встречается дуб. Участок используется под пастбище (уч. 418, 419, 421).

Система узких снегораспределительных полос в довоенные годы была также создана на склоне между первым и вторым отвершками Одинокского суходола. Посадочным материалом служили кольца ивы корзиночной длиной 1 м, которые высаживали по сплошной вспашке почвы двумя рядами с междурядьями 1 м. В последующие годы в этих полосах появился обильный самосев рябины и березы, опушки их сильно разрослись, поэтому, а также из-за близкого расположения к ним других защитных насаждений эти полосы в 1967 г. были раскорчеваны.

2.8. Насаждения на водосборе с валами и канавами

Система водозадерживающих валов в сочетании с канавами (т. н. Валы Новосильской станции) расположена на водосборе третьего отвершка Одинокского суходола. В отличие от известных канав Борткевича эти валы рассредоточены по всей площади водосбора. Общая их протяженность составляет 4,7 км, а защищаемая площадь

72,5 га. Создавались они вручную в 1928-1929 гг. с расположением оси канав по горизонталям со спрямлением на ложбинах, где высота вала увеличивалась с 0,9 до 1,6 м. Ширина валов по верху 0,4, по низу 2,2 м, берма 0,2 м, заложение откосов 1×1, глубина канав 1,2 м. Расстояние между валами не более 100 м, рассчитаны они на задержание стока 10-процентной вероятности превышения. На случай более интенсивного стока они были оборудованы водотоками, роль которых выполняли хорошо задернованные ложбины, куда вода сбрасывалась через водосливные шпоры. Разность отметок между валами 4,25 м.

И все же в первые годы в период стока валы почти ежегодно размывались. Капитальный ремонт всех валов был выполнен в 1932 г. Чтобы предохранить тело валов от размывов, с 1931 г. началось их закрепление посадкой древесных и кустарниковых пород. Одновременно подбирали наиболее пригодные для этих целей породы, способы размещения посадок (верхний или нижний откосы вала, его гребень, берма, канава), изучался ход роста и приемы агротехники.

Вал 1 (нумерация валов от Пятницкой дороги сверху вниз по склону). Высаживался клен полевой в 1931 г. на мокром (один ряд) и сухом (два ряда) откосах. К осени 1933 г. отпад сеянцев на мокром откосе составил 31,5, на сухом 21,3 %. В последующие годы отпад клена продолжился. К 1951 г. на мокром откосе сохранились только одиночные деревья клена. Существенные различия имели место и в показателях роста деревьев: в возрасте 10 лет на мокром откосе клен имел среднюю высоту всего 83 см, на сухом 124 (верхняя часть) и 172 см (нижняя часть).

В настоящее время состояние клена полевого хорошее, высота около 15 м, диаметр 16 см, но насаждение нуждается в рубках ухода. Подлесок отсутствует (уч. 434, площадь 0,22 га).

Вал 2. По мокрому откосу в 1931 г. высаживался один ряд клена татарского, по сухому – один ряд клена полевого, второй – акации желтой (уч. 435, площадь 0,18 га). В 1933 г. отпад акации желтой составил 29,4, клена полевого 26,9 и клена татарского 26, 6 %; кустарники достигли высоты соответственно 74, 26 и 26 см. В возрасте 10 лет их высота была уже 110, 117 и 99 см. Клен татарский к настоящему времени сохранился только местами. Состояние клена полевого в верхнем ряду сухого откоса вполне удовлетворительное. В нижнем же ряду он угнетен, местами выпал из-за близкого расположения тополевого лесной полосы, высаженной всего в 2 м ниже вала.

Лесная полоса заложена весной 1950 г (уч. 441, площадь 0,50 га) черенками тополя душистого и тополя канадского по сплошной вспашке почвы с размещением посадочных мест $1,0(1,2) \times 0,8(1,0)$ м. Ширина лесной полосы 10 м, высажено 9 рядов. Приживаемость и рост тополя с первых же лет были хорошими. К настоящему времени тополь достиг высоты 26 м и диаметра 24 см. Полнота насаждения 1,0. Имеется густой подлесок из акации желтой.

Вал 3. По мокрому откосу высаживалась акация желтая (один ряд), по сухому – акация желтая (верхний ряд) и клен полевой (нижний ряд). Этот вариант смешения занимает западное крыло вала (уч. 439, площадь 0,16 га). На других участках вала высаживались по откосам чистые культуры акации желтой и смешанные ивы ломкой с акацией желтой, ивы ломкой с ивой кустарниковой и акацией желтой, ивы ломкой с кленом полевым, а также названные породы в другом сочетании (уч. 440, площадь 0,18 га). И в этих культурах лучшие показатели роста имели сеянцы, высаженные в нижней части сухого откоса, худшие – по мокрому откосу. Это характерно для всех культур. Ива ломкая вследствие своей недолговечности повсеместно отмирает, а клен, высаженный в смешении с ивой, сильно угнетен. Зато на участке, где он высаживался с акацией желтой, имеет хорошее состояние.

Как и возле предыдущего вала, рядом с сухим откосом вала 3 весной 1950 г. заложена лесная полоса из тополя (уч. 441, площадь 0,50 га). Агротехника выращивания аналогична описанной раньше, но таксационные показатели деревьев еще выше. Такой успешный рост тополя объясняется близким залеганием верховодки.

Между валами 2 и 3 вдоль дорог 6 (западная сторона поля) и 7 (восточная) заложены лесные полосы из дуба шириной 12 м (уч. 437, 438, площади 0,18 и 0,16 га). Почва готовилась по системе черного пара. Желуди высевались под мотыгу по 3 шт. в посевное место с размещением $1,0 \times 0,5$ м. Всего высажено 10 рядов. Между рядами дуба высевали семена акации желтой по 20 шт. в лунку. Желуди были местного сбора осени 1949 г., хранились в траншее. Доброкачественность желудей 76 %. Время посева – апрель 1950 г. Грунтовая всхожесть желудей составила 30 %, семена акации оказались невсхожими. В культурах проведено по одному уходу за почвой.

Такие же лесные полосы по той же технологии заложены и между валами 3 и 4 (уч. 442, 446, площади 0,30 и 0,12 га).

В настоящее время состояние дуба вполне удовлетворительное, хотя интенсивно идет естественный отпад. Имеется подлесок средней

густоты из акации желтой. По восточной опушке появилось естественное возобновление дуба в небольшом количестве.

Вал 4. В 1931 г. по мокрому и сухому откосам вала высажено по одному ряду желудей дуба (уч. 443, площадь 0,28 га). Весной 1934 и 1935 гг. на разных участках культур дуба введены лещина, бузина красная, жимолость татарская, бересклет бородавчатый, скумпия, ежевика, акация желтая, рябина, 9 видов ив с размещением в ряду 0,3 и 0,6 м. Кустарники введены с целью утепления тела вала. Заложены варианты с внесением минеральных удобрений и без них. Вносились суперфосфат 250 кг/га и азот 170 кг/га. Были оставлены варианты и без введения кустарников.

В настоящее время состояние дуба хорошее, хотя насаждение и несколько изрежено. Из кустарников лучшее состояние у лещины и акации желтой. Остальные породы либо выпали, либо представлены единично.

К посадкам по валам примыкает лесная полоса из тополя, заложённая посадкой черенков по сплошь подготовленной почве (уч. 444, площадь 0,70 га). Технология выращивания аналогична технологии создания лесной полосы у вала 2. Но показатель роста деревьев ниже примерно на два класса бонитета. Под пологом полосы появляется подлесок из рябины, акации, других кустарников.

Вал 5. На западном участке вала по сухому откосу высаживалось по два ряда сеянцев вяза через 0,75 м в ряду (уч. 447, площадь 0,17 га). Время посадки – весна 1933 г. Лучшая сохранность и рост были в верхнем ряду, но и здесь в возрасте 8 лет вяз достиг высоты всего 80 см. В 1951 г. отмечалось, что вяз представлен слабо развитыми усыхающими деревьями высотой не более 2 м, сильно изрежен. К настоящему времени состояние вяза улучшилось, но полоса состоит как бы из отдельных секций. На необрабатываемых участках-карманах у вала имеются куртины березы естественного происхождения.

На восточном участке вала, примыкающем к вершине ложбины третьего отвершка суходола, по сухому откосу вала высаживали ряд ивы ломкой в смешении с жимолостью татарской через 0,25 м (ива черенками); по дну канавы – ряд черемухи обыкновенной (уч. 440, площадь 0,60 га). Время посадки – весна 1933 г. Данных по отпаду в первые годы не имеется. Известно лишь, что в возрасте 8 лет ива достигла высоты 153, жимолость 111, черемуха 146 см. Теперь здесь сохранились небольшие куртины отмирающей ивы, преобладает же береза естественного происхождения с куртинным размещением деревьев.

Вал 6. По сухому откосу вала весной 1933 г. высаживался ряд ели, по мокрому – ряд жимолости, по дну канавы – ряд черемухи (уч. 452, площадь 0,18 га) с расстоянием в рядах 0,5 м. У ели и жимолости приживаемость была соответственно 52 и 73 %, по черемухе данных не сохранилось. В возрасте 8 лет высота ели достигла 138, жимолости 102, черемухи 142 см. К 18 годам лучшего развития достигла ель, жимолость же почти повсеместно выпала, черемуха по днищу канавы приняла стелющуюся форму, вероятнее всего, из-за завала снегом. Единично встречался ясень пенсильванский, время его введения в культуры неизвестно. Появилась береза естественного происхождения.

Теперь здесь березово-еловое насаждение, черемуха встречается редко, жимолость выпала. На примыкающем к канаве сверху участке появился обильный самосев березы и ели, встречаются также отдельные сильно развитые кусты ивы.

3. ФИТОМЕЛИОРАЦИЯ СКЛОНОВЫХ ЗЕМЕЛЬ

3.1. Водорегулирующая и противоэрозионная роль лесных насаждений

Защитные лесные насаждения (ЗЛН), являясь одним из элементов почвозащитного комплекса, выполняют многофункциональную роль: улучшают водный баланс территории, сокращают смыв почвы, способствуют получению дополнительной сельскохозяйственной продукции и, кроме того, делают более богатой флору и фауну, являются активным связующим звеном в биологической цепи взаимодействия биоценозов (лесных, полевых и луговых и т. д.), повышая их биологический потенциал и общую продуктивность.

Для лесостепной зоны большое научное и практическое значение имеют исследования по формированию стока и оценке противоэрозионной эффективности искусственных лесоаграрных ландшафтов. Такие исследования осуществляются на стоковых площадках и водосборах.

На Новосильской станции в 1928 г. были оборудованы водомерными лотками два комплексных водосбора, а затем с 1934 по 1938 гг. – семь. В 1928-1934, 1937-1938 гг. исследования проводил А. Д. Ивановский, в 1955-1960 гг. – Г. А. Харитонов и В. А. Каргов, в 1963-

1971 гг. – Е. А. Гаршинев. К сожалению, наблюдения велись со значительными перерывами. В период с 1955 по 1965 г. учет стока проводили в основном на одном ранее организованном водосборе № 7. В 1980 г. нами восстановлены водомерные устройства на водосборах № 3 и 7, дополнительно оборудовано девять водосборов. Краткая характеристика водосборов приведена в табл 1.

Результаты наблюдений за стоком приведены в табл. 2. Наибольший интерес представляют водосборы (3, 7, 12), на которых и в настоящее время ведутся наблюдения. Для анализа данных по стоку с 1931 по 1938 гг. в качестве контроля выбран водосбор № 14. К сожалению, А. Д. Ивановский не приводит характеристику агрофона на водосборах, однако имеются сведения об использовании их в полевых севооборотах. Следует отметить, что в довоенные годы вспашку в основном проводили весной, поэтому эти участки условно можно считать «непашью».

Таблица 1

Основные показатели исследуемых водосборов

Номер водосбора и местоположение гидрометрического створа	Площадь, га	В том числе						Экспозиция	Примечание
		лесные насаждения		пашня		луг			
		га	%	га	%	га	%		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Устье Генералова верха	76,0	5,8	7,6	64,6	85,0	5,6	7,4	ЮЗ	Включает водосборы 2 и 4
2. Правый отвершек Генералова верха	13,5	-	-	13,5	100,0	-	-	ЮВ	
3. 3-й отвершек Одинокского суходола	41,0	6,5	15,9	34,5	84,4	-	-	З	Сочетание валов и канав с лесными полосами
4. Левый отвершек Генералова верха	4,2	0,2	5,0	4,0	5,0	-	-	СЗ	
5. Ложбина, падающая к левому берегу Глубковского суходола	6,0	0,5	8,3	5,5	91,7	-	-	СЗ	Без лесных полос на пашне
6. Опушка леса в ур. Колодезное	6,0	-	-	6,0	100,0			С	Пашня
7. Склон со снего-распределителями	13,4	1,0	7,4	12,4	92,6	-	-	З	

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8. Лесополоса № 8	7,6	0,2	2,6	7,4	97,4	-	-	ЮЗ	Включает пашню и лесополосу № 8
9. Луговой участок ниже лесополосы № 7	8,3	0,2	2,4	7,4	89,2	0,7	8,4	ЮЗ	Включает водосбор № 8
10. Пахотный склон к-за «Маяк»	5,0	-	-	5,0	100,0	-	-	С	В зоне влияния 8-рядной лесной полосы
11. Лесная полоса в вершине Одинокского суходола	19,5	0,7	3,3	8,9	45,4	9,9	51	ЮЗ	
12. Устье Одинокского суходола	438,0	94,2	21,5	266,0	60,7	78	18		Включает водосборы 3, 6, 10 и 11
13. Полевой, прилегает к Глубоковскому суходолу	4,0	-	-	4,0	100,0	-	-	СЗ	
14. Отвершек № 2 Одинокского суходола	8,5	-	-	8,5	100,0	-	-	Ю	
15. Отвершек № 3 Одинокского суходола	325,0	-	-	-	-	39	12	ЮЗ	

Таблица 2

Показатели водного баланса на исследуемых водосборах

Номер водосбора	Агрофон	Запас воды в снеге, мм	Сток, мм	Просочилось в почву, мм	Коэфф. стока	Макс. расход с 1 га, л/с	Начало и конец стока
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>1932 г.</i>							
14	-	153,00	137,0	16,0	0,90	43,0	6.04-18.04
3	-	170,00	97,0	73,0	0,57	435,0	4.04-28.04
<i>1933 г.</i>							
14	-	95,00	69,0	26,0	0,72	25,0	18.03-14.04
3	-	116,00	2,0	96,0	0,17	54,0	18.03-6.04
<i>1934 г.</i>							
14	-	80,04	64,5	15,9	0,81	29,0	16.03-28.03
3	-	91,80	24,9	66,9	0,27	77,0	16.03-12.03
7	-	75,90	52,3	23,6	0,73	35,0	16.03-25.03
15	-	93,40	74,1	19,3	0,80	1227,0	16.03-23.04

1	2	3	4	5	6	7	8
<i>1938 г.</i>							
14	-	72,40	53,0	9,4	0,73		-
3	-	98,00	18,6	79,4	0,19		-
7	-	107,00	29,1	77,9	0,27		-
15	-	112,40	76,3	36,1	0,68		-
<i>1963 г.</i>							
7	-	-	202,9	-	-		-
<i>1964 г.</i>							
7		204,00	0	204,0	0	0	6.04-15.04
7		82,00	1,0	81,0	0,02	0,3	21.03-8.04
8	3	102,00	0	102,0	0	0	-
9	3 + тр.	114,00	0	114,0	0	0	-
10	3	148	0	148	0	0	-
13	Тр.	90	0	90	0	0	-
<i>1980 г.</i>							
1	3+л	147	2	145	0,01	0,6	8.04-14.04
2	3	134	33	101	0,32	-	7.04-14.04
3	Тр.	146	0	146	0	0	-
4	3	159	0	159	0	0	-
5	3 + тр	149	27	122	0,18	-	7.04-14.04
6	3	160	0	160	0	0	-
7	Тр.	135	0	135	0	0	-
8	з	134	35	99	0,26	-	7.04-14.04
10	Тр.	154	0	154	0	0	-
13	Оз.	141	25	116	0,18	-	8.04-14.04
<i>1981 г.</i>							
1	3 + л	122	0	122	0	0	-
2	3	149	0	149	0	0	-
3	3 + тр.	171	0	171	0	0	-
4	3	162	0	162	0	0	-
5	Тр.	190	0	190	0	0	-
6	3	135	0	135	0	0	-
7	Тр + оз.	147	0	147	0	0	-
8	3	122	0	122	0	0	-
9	3+л	127	2	125	0,02	0,64	24.03-1.04
10	Неп.	177	0	177	0	0	-
13	Тр.	191	3	188	0,02	0,67	27.03-29.03
<i>1982 г.</i>							
1	3 + л	122	0	122	0	0	-

1	2	3	4	5	6	7	8
2	3	87	0	87	0	0	-
3	Тр.	131	0	131	0	0	-
4	3	115	0	115	0	-	-
5	3	127	0	127	0	0	-
6	3	106	0	106	0	0	-
7	Тр.	114	0	114	0	0	-
<i>1983 г.</i>							
1	3+л	111	0	111	0	0	-
2	3	112	0	112	0	0	-
3	Тр.	151	0	151	0	0	-
4	3	133	0	133	0	0	-
6	Тр.	129	0	129	0	0	-
7	Тр.	91	0	91	0	0	-
8	3	99	2	97	0,01	-	28.01 20.03-27.03
9	3+тр.	101	2	99	0,02	-	28, 29.01 20-27.03
10	Оз.	167	0	167	0	-	
11	Ц+з	116	11	105	0,09	0	28-29.01 20.03-27.03
<i>1984 г.</i>							
1	Оз.+л	72	2	70	0,01	0,7	16.03-4.04
2	Оз.	55	17	38	0,31	24,0	31.03-4.04
3	Оз.+з	75	0	75	0	0	-
4	Оз.	52	10	41	0,19	12,0	30.03-1.04
6	Тр.	66	17	49	0,26	-	31.03-4.04
7	Тр.	73	10	63	0,14	-	30.03-3.04
8	Оз.	65	28	37	0,43	68,0	15.03-3.04
9	Оз.+л	68	28	40	0,41	54,0	15.03-3.04
11	Ц+з	58	5	53	0,09	1,5	28.03-4.04
12	Комп.	82	1	81	0,01	0,6	26.03-5.04

Примечание. з – зябь; л – луг; тр. – многолетние травы; оз. – озимые; ц – целина; комп. – комплекс почвозащитных мероприятий.

Для всех водосборов характерны большие величины стока при высоких коэффициентах.

На водосборе № 3 в первые годы наблюдений имелись случаи прорыва валов. Однако сток талых вод с обвалованного водосбора в 1,4-3 раза меньше, чем с контрольного немелиорированного. На водо-

сборе № 7 со снегораспределителями, имеющем одинаковую экспозицию с мелиорированным, сток несколько выше, чем на образованном, но меньше по сравнению с контрольным. Молодые лесные насаждения из дуба оказывали незначительное влияние на распределение снега. Основная масса его (68 %) скапливалась в лесных полосах; максимальная глубина снега в сугробах достигала высоты снегораспределителей – 200 см. Необходимо отметить, что уже в эти годы полосы оказывали высокое кольматирующее действие. Так, по данным А. Д. Ивановского, в 1937 г. талые воды несли до 13,72 г/л мелкозема, а после прохождения сугроба и лесной полосы его содержание снижалось до 3,9 г/л.

В последующие годы водорегулирующая и кольматирующая роль снегораспределителей в сочетании с траншеей, отрытой в 1942 г., резко повысилась. Как сообщает Е. А. Гаршинев (1965), в 1963-1965 гг. на полевых участках сток достигал 51 мм, смыв почв составлял 6,5 куб. м/га. В то же время на водосборе со снегораспределителями смыва мелкозема не отмечалось.

На водосборе № 12 в конце двадцатых годов были начаты работы по облесению берегов и присетевых земель, а также по созданию противоэрозионных насаждений на пахотных участках. Почва на берегах суходола была слаборазвитой, имелись выходы коренных пород, представленных известняками. Присетевые земли преимущественно сильноносмытые, с частыми размывами. Поэтому не случайно сток талых вод в 1934 и 1938 гг. был значительно выше, чем на полевых и мелиорируемых участках. А. С. Козменко (1954) пишет, что в 1928 г. после ливня с суммой осадков 41 мм и интенсивностью 1,6 мм/мин. по Одинокскому суходолу образовались каменные пересыпы длиной до 20 м, толщиной 1 м и шириной во все русло суходола. Река Зуша в устье суходола была некоторое время сплошь перепружена выносом из суходола.

Хотя гидрометеорологические условия указанных лет и 1980-1984 гг. не полностью идентичны, все же нельзя не отметить резкое уменьшение стока в последние годы. На обвалованном водосборе с лесными насаждениями (№ 3) сток отсутствовал. Только в 1984 г. одна канава перед валом была полностью заполнена водой, в остальные годы поступающая вода занимала не более трети объема канав. Это связано с улучшением водно-физических свойств почвы на полях между валами и в канавах, а также с повышением мелиоративной роли лесных насаждений. Определение водопроницаемости почвы, проведенное совместно с Н. Е. Петелько, показало, что скорость водопоглощения на дне канавы с

ненарушенным верхним слоем составляет 29,1 мм/мин. В том случае, когда культурный слой был снят, водопроницаемость падала до 4,6 мм/мин. На мелиорированных почвах на расстоянии 0,5 Н от лесной полосы (стерня озимой пшеницы) водопроницаемость не превышала 2 мм/мин., а вне зоны влияния лесной полосы составляла 0,9 мм/мин. Несомненно, в период весеннего снеготаяния водопроницаемость почвы в канавах будет значительно ниже. Однако незамерзшая почва в состоянии поглотить слой стока 20-процентной обеспеченности (до 80 мм), поступающий с поля протяженностью 400 м.

Анализ материалов по стоку на полевых водосборах (2, 4, 10, 11, 13) за 1980 и 1984 гг. (в 1981-1983 гг. сток отсутствовал или был очень слабым) показал, что независимо от агрофона, максимальный сток формируется на водосборах, ориентированных на ЮВ и ЮЗ, т. е. освещенных экспозиций. При почти одинаковых снегозапасах на водосборах теневых экспозиций (С, СЗ, З, ЮЗ) сток в большинстве случаев отсутствовал. В отдельные годы возможно формирование стока на водосборах северо-западной экспозиции со стокообразующими агрофонами (озимыми). Необходимо подчеркнуть, что четырехрядная лесная полоса в нижней части водосбора № 8 оказывала незначительное влияние на сокращение стока, в то время как полоса леса из березы (водосбор № 4) способствовала полному поглощению воды (1980 г.) или же сокращению стока (1984 г.) на 41 %. На водосборе № 9, охватывающем пахотный склон с водорегулирующей лесной полосой и нижележащий луг, сток имел такую же величину, как и на водосборе № 8, однако смыва почвы на травах и выноса мелкозема талой водой не наблюдалось. Многолетние отложения мелкозема на залуженных участках и предотвращение смыва почвы способствовали формированию полнопрофильных серых лесных почв на ранее сильно смытых почвах.

Рассмотрим материалы по водопоглощающей эффективности системы малорядных (практически однорядных) лесных полос, размещенных по горизонталям (водосбор № 7). Как указывалось, в довоенные годы на водосборе со снегораспределителями наблюдалось скопление снега в лесных насаждениях. В настоящее время распределение снега на участке равномерное, скоплений снега в лесных полосах не отмечается. За 1980-1984 гг. сток был только в 1984 г. – 10 мм при коэффициенте стока 0,137. В 1980 г. водосборная площадь была вспахана под зябь и занята озимыми и многолетними травами. На зяби и озимых сток отсутствовал, на травах слой стока варьировал от 14

до 25 мм. Учитывая, что травы занимали половину площади водосбора, можно было ожидать сток через водослив около 20 мм. Однако система лесных полос и канава с валом способствовали полному поглощению стока. Представляют интерес результаты исследований на водосборах № 1 и 2. На водосборе № 2 в вершине суходола слой стока составил в 1980 г. 33 мм, в 1984 г. 17 мм, а в устье суходола сток был очень слабым – 2 мм. Можно предположить, что основная масса поступающего стока поглощается в защитных лесных насаждениях, размещенных вдоль суходола и в его русле, занятом естественным выпасаемым лугом. Таким образом, на водосборах с короткими присетевыми склонами (до 200 м) для регулирования стока достаточно иметь лесные полосы в нижней части присетевого фонда и улучшенный естественный луг по суходолу.

Было уже указано, что сток с водосбора № 12 в довоенные годы достигал 74-76 мм при коэффициентах стока 0,68-0,80. По визуальным наблюдениям, незначительный сток с водосбора отмечался в 1980 и 1982 гг. В 1984 г. на основании данных по стоку на водосборах и стоковых площадках, располагающихся на водосборной площади суходола, в гидрографическую сеть должно поступить около 14 тыс. куб. м талой воды, или 30 куб. м/га. Вследствие поглощения воды в массивных лесных насаждениях по берегам гидрографической сети и на присетевых землях сток составил 1 мм при коэффициенте стока 0,012. Это означает, что комплекс противоэрозионных мероприятий, осуществленный на крупном водосборе, оказал очень большое воздействие на повышение водопоглотительной способности ранее эродированных почв и предотвращение смыва и размыва земель.

Выводы

1. На формирование стока на полевых водосборах значительное влияние оказывал агрофон. В большинстве случаев максимальный сток наблюдался на участках с озимыми и минимальный на зяби.

2. При одинаковых погодных условиях на водосборах, ориентированных преимущественно на С и С-З, сток даже на стокообразующем агрофоне отсутствовал, а на инсолируемых участках достигал 33 мм, поэтому на склонах теневых экспозиций объемы почвозащитных мероприятий должны быть меньше, чем на водосборах противоположной ориентации.

3. Система защитных лесонасаждений совместно с гидротехническими устройствами обладает высокой водорегулирующей и кольматирующей эффективностью. Мелиоративная роль лесных насаждений увеличивается с возрастом.

4. Лесолуговой пояс на землях присетевого и гидрографического фондов способствует кольматации мелкозема, поступающего со стоком с выше расположенных участков, и как следствие, морфологические показатели ранее смытых почв резко улучшаются.

3.2. Гидрологическая и противоэрозионная функции защитных лесных насаждений в сочетании с водоудерживающими валами и канавами

Наблюдения, проведенные в 1938-1940 гг. Г. А. Харитоновым (1963) в Шиповом лесу на четырех водосборах, показали, что на лесных водосборах средний слой стока составил 1,3 мм при коэффициенте стока 0,007, а на полевых водосборах соответственно 59 мм и 0,42.

В Моховском лесхозе (Орловская обл.) средний сток за период 1938-1940 гг. на необлесенном водосборе достиг 68, а на облесенном 10 мм. На Нижнедевицкой стоковой станции за 7 лет наблюдений средний коэффициент стока на полевом водосборе равнялся 0,59, тогда как на облесенном на 50 % лугу он был значительно ниже – 0,1.

Экспериментальными наблюдениями за весенним стоком установлено, что под лесными полосами поглощается в среднем от 250 до 450 мм талой воды.

Уменьшение поверхностного стока является эффективным средством защиты почв от эрозии. М. И. Львович (1969) считает, что уменьшение склонового стока в 2 раза снижает смыв почвы в 4 раза. Интенсивность стока и смыв почвы талыми водами в значительной степени зависят от мощности снежного покрова и равномерности распределения его на водосборной площади. В Нечерноземной зоне в виде снега выпадает 25-30 % годовых осадков.

Снежный покров играет важную климатическую и гидрологическую роль. Он является плохим проводником тепла и в зимний период предохраняет почву от глубокого промерзания. Однако под действием метельных ветров снег нередко перемещается с открытых участков в понижения, гидрографическую сеть. Неравномерное залегание снега создает неодинаковые условия для перезимовки озимых

культур и многолетних трав, освобождения пашни из-под снега, что мешает проведению полевых работ одновременно на всей площади полей. Скопление снега на вышерасположенных по склону участках при весеннем снеготаянии может привести к смыву освободившейся от снега почвы на нижележащих склонах. В начальный период зимы снегоотложение на участках без лесных насаждений можно регулировать агротехническими приемами – обработками почвы с оставлением стерни, созданием кулис из высокостебельных растений. Однако на полях со стерней накопление снега происходит до высоты жнивья. Наиболее равномерное снегоотложение по полю обеспечивается при обработке почв с оставлением стерни в системе ЗЛН.

По данным А. И. Субботина (1986), в лесных насаждениях Подмосковной воднобалансовой станции снегозапасы на 20-25 % больше, чем в поле.

В. В. Рахманов (1984) считает, что большие снегозапасы в лесах создаются вследствие поступления в них снега с полей, особенно при малых размерах лесных массивов и их мозаичном размещении в Центральном районе.

По нашим наблюдениям, аккумуляция снега вследствие его переноса с полей происходит только в приопушечной зоне. При этом существенную роль в накоплении снега играет травянистая растительность, кустарники и подрост по опушкам леса. Максимальная высота снежного покрова в лесу отмечена на расстоянии не более 10-15 м от опушки.

Как показали многолетние наблюдения, породный состав массивных насаждений оказывает значительное влияние на накопление и сохранение снега, интенсивность снеготаяния.

В искусственно созданных лесных массивах из лиственных пород на смытых присетевых землях ОПХ Новосильской ЗАГЛОС средне-многолетние (1964-1988 гг.) снегозапасы к периоду снеготаяния составили 145, а на прилегающем поле 129 мм. В хвойных насаждениях средние запасы воды в снеге за этот же период были ниже (123 мм), чем на поле. Часть выпадающих твердых осадков задерживается на ветвях елей и сосен и в последующем сублимируется; снеготаяние более растянуто по сравнению с лиственным лесом, сток часто отсутствует или формируется редко, слой его меньше в сравнении с полем.

На лесных прогалинах или на полянах создаются наиболее благоприятные условия для сохранения зимних осадков. Если принять здесь

снегозапасы за 100 %, то в лиственных насаждениях разной полноты и возраста они составляют 90-95, в хвойных 76-80, а на поле – 80-85 %.

Но наблюдениям В. И. Рутковского (1956), интенсивность снеготаяния в густых высокополотных ельниках Подмосковья не превышает 2-5 мм/сут. В смешанном лесу средняя интенсивность снеготаяния колеблется в пределах 3,7-8, в поле 4,3-11,8 мм/сут.

Воздействие зимних оттепелей на снежный покров на открытом поле сильнее, чем в лесу. Во время оттепелей снег на полях очень часто сходит полностью, а в лесных насаждениях сохраняется в больших количествах. Установлено, что на полевых угодьях почва освобождается от снега на 5-17 дней раньше.

На формирование снежного покрова в ленточных насаждениях и прилегающих к ним полях оказывает влияние породный состав, конструкция и возраст насаждения.

Лесные полосы из березы повислой до 10-12 лет имеют непродуваемую конструкцию, в последующем независимо от числа рядов (Басов, Грищенко, 1963; Харитонов, 1963), – продуваемую. В насаждениях, как правило, отсутствует опад, слой снега не превышает 15-20 см, зоны шлейфа имеют протяженность 18-20 м, максимальные снегозапасы отмечаются на расстоянии 8-10 м от опушки. Для предотвращения выноса снега из березовой лесной полосы необходимо вводить в ряды, прилегающие к нижней опушке, кустарники высотой не более 60 см. В тех случаях, когда в нижнем междурядье лесной полосы устраивается канава с валом по опушке, необходимость в посадке кустарника отпадает.

В полосных насаждениях из дуба (гнездовая посадка) складываются более благоприятные, чем в лесных полосах из березы, условия для отложения снега и, как результат, почва промерзает на меньшую глубину.

Лесные полосы из лиственницы сибирской в возрасте ориентировочно до 15 лет имеют плотную конструкцию. В последующем, вследствие частичного отмирания нижних сучьев насаждение приобретает более продуваемую конструкцию, в нем не формируются большие сугробы снега, мощность снежного покрова не превышает 50-60 см, почва промерзает на незначительную глубину, и в отдельные годы находится в талом состоянии.

Данные, полученные Валдайской НИГЛ, свидетельствуют о том, что стокорегулирующая роль лесных насаждений проявляется на 5-6-й год после посадки, когда в лесных полосах снега аккумулируется в

три раза больше, чем в поле, а коэффициент стока снижается в 15-16 раз (Львович, 1963; Молчанов, 1960).

Система стокорегулирующих лесных полос на водосборе действует на сохранение и распределение снега более эффективно, чем единичные полосы. Она способствует увеличению снеготранспортировки на межполосных участках на 40-90 % по сравнению с незащищенным полем.

Заметим, что на склонах и берегах суходолов разной ориентации различия в мощности снежного покрова существенные. Так, в период 1980-1986 гг. в ОПХ Новосильской ЗАГЛОС средняя мощность снежного покрова на склоне северо-западной экспозиции с лесными полосами и массивным насаждением из березы повислой на присетевых землях была 41, а на противоположном склоне с системой защитных насаждений 35 см. Наиболее ощутима разница в снеготранспортировке на берегах суходола. Берег юго-восточной экспозиции более инсолируемый. Здесь, несмотря на наличие массивного насаждения в присетевой зоне, средняя высота снега за указанный выше период составила только 23 см, или 58 % от снеготранспортировки на противоположном берегу. Приведенные данные свидетельствуют о том, что в зимний период на инсолируемых берегах вследствие сублимации происходят значительные потери осадков, создаются неблагоприятные условия для инфильтрации талой воды и обеспечения влагой естественных трав. В тех случаях, когда освещенные берега заняты древесной растительностью, не отмечается переноса снега, потери на сток незначительны или сток отсутствует.

Снежный покров оказывает согревающее действие на почву. Увеличение толщины снега на 1 см приводит к повышению температуры почвы в зоне корневой системы на 0,1 °С. Лесные насаждения, регулируя снеготранспортировку в значительной степени воздействуют на характер промерзания и оттаивания почвы. При этом необходимо иметь в виду, что при прохождении ветрового потока через продуваемую лесную полосу из березы скорость его увеличивается охлаждающее действие на почву в холодное время года возрастает. Поэтому глубина промерзания в насаждении из березы значительно больше, чем в открытом поле. Кроме того, как известно, в осенний период почва в лесополосе менее увлажнена.

Незначительная высота снежного покрова и толщина листового опада в березовых лесных полосах, также способствует глубокому промерзанию почвы. Это накладывает отпечаток на формирование стока. В

качестве примера можно сослаться на наши данные по ОПХ Новосильской ЗАГЛОС за 1980-1988 гг. Среднемноголетний слой стока из березовой лесной полосы был равен 23 мм при коэффициенте стока 0,19, а из дубовой, расположенной рядом, 14 мм (коэффициент стока 0,12). В период снеготаяния в 4-рядной лесной полосе из березы и тополя, созданной в 1966 г., просочилось в среднем 125 мм талой воды, что недостаточно для эффективного регулирования стока (табл. 3). Обвалование лесной полосы по нижней опушке в отдельные годы не способствовало увеличению водопоглощения. В период зимних оттепелей на участках с обвалованными насаждениями талая вода, скопившаяся перед валом, при понижении температуры превращается в лед, который резко снижает водопоглощение во время снеготаяния. Наиболее радикальное средство повышения водопоглощения в полосах продуваемой конструкции – создание канав в нижнем междурядье с валом по нижней опушке. Средняя за 1980-1985 гг. величина водопоглощения в лесной полосе с простейшими гидротехническими устройствами составляет 372 мм, а в многоводные годы при близком залегании известняков достигает 5000 мм (Борец, 1986). Следует иметь в виду, что создание в насаждениях канав с валами поперек естественных русел (ложбин) водных путей не всегда целесообразно (Сутрач, 1971). Известно, что стекающая со склонов вода

Таблица 3

Показатели водопоглощения в лесных полосах W , стока с полевых $C_{п}$ и комбинированных $C_{к}$ площадок, мм

Вариант	Показатели	1980 г.	1981 г.	1982 г.	1983 г.	1984 г.	1985 г.	Среднее
Поле	$C_{п}$	16	10	3	3	16	46	17
Поле + лесная полоса	W	33	211	127	93	57	231	125
	$C_{к}$	19	3	2	2	15	38	13
Поле + лесная полоса с валом	W	139	106	121	93	58	336	142
	$C_{к}$	16	10	1	5	15	33	13
Поле + лесная полоса с канавой и валом	W	382	304	178	158	355	85 2	372
	$C_{к}$	0	0	0	0	0	8	1
Поле + лесная полоса с канавой + луга шириной 100 м	$C_{к}$	9	2	0	5	8	20	7
Луг	$C_{п}$	42	15	5	26	21	49	26

собирается по существующим понижениям (естественным коллекторам) в отдельные ручейки, потоки, которые увеличиваются с расширением бассейна.

Согласно Н. Ф. Михайловой и И. П. Здоровцова (Михайлова, Здоровцов, 1986), сток с пашни поступает на балочные склоны по водотокам только на десятой части всей границы, причем функционируют 50 % водных путей от общего количества.

В результате обследования водосбора р. Алешин (Орловская обл.) выявлено, что в местах, где необходимо проводить трассы стокорегулирующих лесных полос, на каждые 1000 м протяженности насаждения имеется от 8 до 32 естественных водотоков глубиной от 0,5 до 5 м. (табл. 4).

Поэтому при создании простейших гидротехнических устройств на части ложбин возникает необходимость доведения высоты валов до 2 м и более. Однако при этом необходимо учитывать, во-первых, что талая вода, скапливающаяся перед валами, мешает своевременному проведению ранневесенних полевых работ, вызывает заболачивание пониженных участков, и они выбывают из оборота; во-вторых, создание валов с канавами не решает проблемы сброса непоглощенной в насаждении талой воды; в-третьих, канавы по понижениям, а затем и участки перед валами заполняются мелкоземом, в результате происходит сокращение объема прудка и водопоглощения в лесном насаждении. Переполнение талой водой прудка перед валом вызывает его разрушение, и накопленная масса мелкозема за короткий промежуток времени выносится за пределы противозерозионной системы. Концентрированный поток талой воды производит разрушение почвы в местах пересечения трассы лесной полосой с естественным коллектором. В тех случаях, когда ниже по склону располагается зябь, поток воды вызывает катастрофическое разрушение почвогрунта. Естественный луг или сеяные травы в хорошем состоянии предохраняют почву от разрушения и способствует частичному или полному кольматажу твердого стока. Обратимся к нашим наблюдениям. На малых полевых водосборах, где длина водотоков не превышает предельно допустимого расстояния между рубежами, наличие лесного насаждения (с канавой и валом на границе присетевого и гидрографического фонда) и естественного хорошо развитого травостоя на берегах способствовало сокращению содержания в талой воде биогенных элементов и питательных веществ до пределов, не опасных для загрязнения водоемов.

Таблица 4

Местоположение разреза, расстояние, м	Крутизна, град	Номер разреза	Горизонты, глубина нижней границы горизонтов, см			Гумус, %	pH _{топ}	P ₂ O ₅ мг/100 г почвы	K ₂ O	
			A ₁ A _{вех}	A ₁ A ₂ A _{топ}	BA					B
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Профиль 1. Склон юго-западной экспозиции</i>										
Нижняя часть: 50 м от ПШП 150 м	5	1	63(A ₁ +A ₁)	-	76	-	5,3		3,2	10,8
	3	2	17	29	65	-	4,9	5,1	4,2	12,5
Средняя часть: 300 м 450 м	5	3	19	41	64	-	4,8	5,2	4,5	10,0
	3	4	19	39	66	-	4,9	5,1	5,2	10,4
Верхняя часть: 600 м 750 м	1	5	19	42	70	-	6,6	5,3	8,0	17,8
	0	6	21	44	81	92	7,1	5,9	8,2	13,8
<i>Профиль 2. Склон восточной экспозиции</i>										
Нижняя часть: 50 м от бровки необлесенной балки 150 м	5	10	20	27	-	-	4,0	5,8	16,5	16,2
	3	9	19	38	-	-	4,6	5,5	6,3	7,7
	2,5	8	20	41	-	-	5,6	5,5	11,4	10,0
	1	7	19	35	54	-	4,3	5,8	7,4	11,7
<i>Левый берег необлесенной балки, склон восточной экспозиции</i>										
20 м выше бровки балки	5	11	24	40	54	-	4,7	5,0	3,0	10,4
Верхняя часть берега	7	12	15(A+B)	-	-	24	4,5	5,4	0,2	13,8
Средняя часть берега (пологая)	5	13	33(A ₁)	68(A ₁ ²)	47(A ₁ ³)	-	5,2	5,1	1,2	8,6
Нижняя часть берега, 20 м выше днища	7	14	50	-	92	-	6,3	5,3	3,8	10,4
<i>Правый берег необлесенной балки, склон западной экспозиции</i>										
Нижняя часть берега (пологая)	5	15	33(A ₁ ²)	61(A ₁ ¹)	62 и глубже	-	3,7	5,7	6,6	7,3
Средняя часть берега (пологая)	5	16	50(A ₁ ²)	100(A ₁ ²)	-	-	6,4	4,8	1,7	7,3
Верхняя часть берега: пологая	5	17	36(A ₁ ²)	120(A ₁ ²)	-	-	5,9	4,9	2,5	6,3
пологая	5	18	38(A ₁ ²)	80(A ₁ ²)	-	-	5,9	5,0	3,2	8,6
крутая	9	19	33	-	55	-	2,3	5,2	7,6	10,0

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Склон западной экспозиции</i>										
Нижняя часть: 20 м от бровки балки 50 м	4	26	-	-	-	-	5,4	5,3	5,3	7,8
	3	26	-	-	-	-	3,8	5,2	6,3	9,1
70 м	3	27	-	-	-	-	4,3	5,3	5,0	8,2
Средняя часть: 170 м от бровки балки 320 м	2,5	28	-	-	-	-	3,3	5,1	7,2	9,1
	2,5	29	-	-	-	-	3,1	5,1	6,3	12,9
<i>Профиль 3. Склон северо-западной экспозиции</i>										
Нижняя часть склона: 30 м от ПЛТ 130 м	5	30	25(A+B)	-	-	60	5,6	5,3	3,5	8,6
	3	31	20	-	32	-	5,2	5,5	6,1	10,8
Средняя часть: 380 м 630 м	1	32	21	44	62	-	5,6	5,4	6,5	9,8
	3	33	26(A+B)	-	-	58	4,0	5,5	10,4	9,6
Верхняя часть: 830 м 1030 м	5	34	20	-	36	-	4,8	5,4	7,6	9,1
	1	35	19	-	55	-	6,0	5,4	8,8	10,8
<i>Профиль 4. Склон юго-восточной экспозиции</i>										
Верхняя часть: 0 м 150 м	0-1	36	18	48	65	-	6,8	5,3	7,5	19,5
	1	37	20	39	60	-	7,1	5,3	7,0	9,1
Средняя часть: 400 м 630 м	2	38	28	-	50	-	6,2	5,7	7,5	8,6
	3	39	31	-	57	-	6,0	5,5	7,7	8,6
Нижняя часть, 830 м	5	40	24	-	42	-	5,7	5,3	8,5	10,4
<i>Левый берег облешенной балки, склон юго-восточной экспозиции</i>										
Верхняя часть берега: 5 м ниже бровки пологая	5	41	20	-	44	-	4,8	4,9	5,0	15,0
	3	42	26(A ₁)	60(A ₁)	33	-	4,8	4,9	5,0	15,0
Средняя часть берега: крутая пологая	7	43	27	-	43	62	7,2	4,9	2,8	16,7
	3	44	34	47	64	86	6,5	4,5	2,0	17,3
Нижняя часть берега	4	45	29	47	68	-	7,0	4,8	3,8	13,3
<i>Правый берег облешенной балки, склон северо-западной экспозиции</i>										
Нижняя часть берега (пологая)	5	46	27(A ₁)	107(A ₁)	-	-	5,6	5,1	4,0	11,7
Средняя часть берега	5	47	60(A ₁)	107(A ₁)	-	-	4,9	5,0	4,6	10,8
Верхняя часть берега (пологая)	5	48	30	-	106	-	-	-	-	-

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Присековой склон северо-западной экспозиции</i>										
Нижняя часть, 20 м от бровки балки	4	49	25(A+B)	-	-	55	5,1	5,0	3,8	14,6
Средняя часть, 50 м	3	50	17(A+B)	-	-	32	5,0	5,1	4,5	22,0
Верхняя часть, 80 м	3	51	20(A+B)	-	-	43	7,8	4,9	3,5	9,6
<i>Приводораздельный склон северо-западной экспозиции</i>										
Нижняя часть, 110 м от бровки балки	3	52	16	-	50	-	6,2	5,0	4,1	11,7
Средняя часть, 220 м	2	53	19	31	40	-	3,5	5,1	9,4	17,3
Верхняя часть, 420 м	1	54	22	42	59	-	-	-	-	-
<i>Профиль 5. Склон западной экспозиции</i>										
Нижняя часть: 50 м от бровки необле- сенной балки	2	60	13	33A _{лет}	63	90	5,6	5,3	6,0	9,1
	2	61	19	41	57	78	6,1	5,3	8,2	7,7
	3	62	19	39	53	79	6,1	5,1	10,5	10,4
Средняя часть: 700 м	5	63	20	42	57	-	6,1	5,4	9,5	6,8
	3	64	12	-	35	54	4,3	6,3	12,5	10,8
Верхняя часть, 1650 м	1,5	65	19	37	61	71	6,5	5,0	8,4	8,6
	1	66	19	43	59	78	6,1	5,2	12,0	14,5
<i>Профиль 6. Склон юго-восточной экспозиции</i>										
Нижняя часть: 10 м от бровки суходола 100 м	4	67	23(A+B)	-	-	40	3,1	5,4	4,5	-
	3	68	23	34	53	-	4,3	5,4	5,6	-
	3	69	20	-	-	64	5,4	5,3	4,0	-
Средняя часть: 350 м	2	70	20	31	41	83	3,7	5,2	4,5	-
	1	71	17	33	49	69	4,5	5,1	4,1	-
Верхняя часть: 750 м	1	72	18	38	51	70	3,7	5,1	4,1	-
	1	72	18	38	51	70	3,7	5,1	4,1	-
<i>Профиль 7. Склон юго-восточной экспозиции</i>										
Нижняя часть: 30 м от ПЛП 130 м	4	73	16	-	32	44	3,2	4,8	4,3	9,6
	3	74	18	-	29	58	4,3	4,9	4,7	9,1

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Средняя часть: 330 м	2	75	19	-	43	64	5,2	5,0	6,1	11,7
580 м	2	76	21	-	61	73	5,3	5,0	5,1	10,8
Верхняя часть: 630 м	1,5	77	20	-	52	77	5,0	5,8	6,8	10,8
730 м	1	78	18	-	52	78	5,7	5,8	25,0	15,5
<i>Профиль 8. Склон северо-западной экспозиции</i>										
Верхняя часть: 50 м от ЛШ (полезая)	1	79	20	36	67	-	-	-	-	-
150 м	2	80	18	30	50	-	-	-	-	-
300 м	2	81	20	38	53	-	-	-	-	-
Средняя часть: 450 м	3	82	19	33	59	-	-	-	-	-
600 м	2	83	18	31	45	-	-	-	-	-
750 м	2	84	17	29	47	-	-	-	-	-
Нижняя часть: 900 м	3	85	19	-	47	-	-	-	-	-
100 м, 30 м от прибалочного насаждения	3	86	17	24	47	-	-	-	-	-
<i>Профиль 9. Проходит поперек верхней части склона северо-западной экспозиции</i>										
50 м от бровки суходола	3	87	44(A ₁ A _{1(ост)})	-	-	60	-	-	-	-
100 м от р. 87	3	83	20	33	42	-	-	-	-	-
100 м от р. 88	2	89	17	-	30	-	-	-	-	-
50 м от р. 89	1	90	18	32	41	-	-	-	-	-
100 м от р. 90	1,5	91	15	33	40	-	-	-	-	-
100 м от р. 91, 30 м от бровки суходола	2,5	92	17	30	45	-	-	-	-	-

Исследования показали, что глубина канав должна быть несколько больше среднемноголетней глубины промерзания почвы, т. е. примерно 1,0-1,5 м.

Значительное влияние на величину водопоглощения оказывает конструкция лесных полос. Полосы из березы и тополя имеют, как правило, продуваемую конструкцию. Вследствие отсутствия подстилки (опад выносятся за пределы лесной полосы) и слабой мощности снежного покрова почва в таких полосах промерзает на значительную глубину и обладает слабой водопроницаемостью. Увеличения водопоглощения в них можно достичь посредством создания искусственной подстилки и устройства простейших гидротехнических сооружений (табл. 5).

На серых лесных почвах подстилка из соломы в лесной полосе состава 5Б5Т за 4 года наблюдений способствовала сокращению стока в среднем с 27,4 до 2,6 мм, при этом коэффициент стока уменьшился с 0,273 до 0,038.

Таблица 5

Влияние искусственной подстилки и гидротехнических устройств на сток талых вод (1972-1975 гг.)

Варианты	Запасы воды в снеге + осадки за период стока, мм	Просочилось в почву, мм	Сток, мм	Кэфф. стока
Зябь	53,5	39,0	15,2	0,284
Зябь + лесополоса	54,9	38,8	16,1	0,293
То же + канава с органическим наполнителем	52,2	52,2	0	0
Зябь + лесополоса + вал	57,0	43,8	13,2	0,232
Зябь + лесополоса с искусственной подстилкой	52,2	41,1	11,1	0,211
Лесная полоса	100,1	72,7	27,4	0,273
То же + искусственная подстилка	67,8	65,2	2,6	0,038

Органический материал предохраняет дно и стенки канав от замерзания, способствует увеличению водопоглощения. Однако органические наполнители требуют периодического пополнения, так как по

мере разложения их теплоизоляционная способность уменьшается и водопоглощение в канавах с органическим наполнителем и без него не имеет существенных различий (табл. 6). Но и в этом случае оно в 2 раза больше, чем в канавах с минеральным наполнителем (шлак, щебень).

Из березового насаждения 1928 года посадки в среднем за 5 лет (1964-1968) сток оказался на 43, а из сосново-елового такого же возраста – на 32 мм, или в 2,6-6,1 раза меньше, чем на пашне. Следует отметить, что в эти годы сток из сосново-елового насаждения всегда был больше, чем из березового. В отдельные годы различия достигли 30 мм.

В 1971-1975 гг. сток из березового насаждения составил в среднем 34,2, из сосново-елового – 16,6 мм при соответствующих коэффициентах стока 0,285 и 0,174. Такие изменения во многом объясняются характером погодных условий, складывающихся в период снеготаяния (соллярный тип весны). В последние годы (1980-1983) сток отсутствовал.

Таблица 6

Влияние наполнителей канав в лесных полосах на сток талых вод (1977-1979 гг.)

Варианты	Запасы воды в снеге + осадки за период стока, мм	Просочилось в почву, мм	Сток, мм	Кэфф. стока
Зябь	129,5	90,5	39,0	0,301
Зябь + лесополоса шириной 10 м	128,1	78,3	49,7	0,387
То же + канава (без наполнителя)	127,8	116,8	10,9	0,085
То же – наполнитель хворост	135,0	117,4	11,6	0,085
То же – наполнитель щебень	127,1	108,2	18,9	0,148
То же – наполнитель шлак	113,3	90,8	22,5	0,198

Примечание. Глубина канав – 1,5 м, ширина – 0,8 м, ширина лесной полосы – 10 м.

Уменьшая поверхностный сток, лесные насаждения очищают его от взвешенных частиц и растворимых биогенных элементов, гербицидов, пестицидов до допустимых санитарно-гигиенических норм, создают благоприятные микроклиматические условия для роста сель-

скохозяйственных культур. Под их защитой повышается эффективность минеральных и органических удобрений, увеличивается продуктивность сельскохозяйственных угодий.

3.3. Рост лесных насаждений

Южная часть Нечерноземной зоны имеет благоприятные условия для успешного роста многих древесных и кустарниковых пород, поэтому для создания в этом регионе эффективных защитных насаждений можно подбирать древесные породы с достаточно высокими мелиоративными свойствами, имеющими большое хозяйственное значение. В этой связи особый интерес представляют смешанные насаждения, особенно с участием лиственницы. Так, в насаждениях состава 6Лп 4Л и 6Д 4Л в возрасте 43 лет лиственница имеет запас стволовой древесины 230 и 203 куб. м/га при соответствующих средних диаметрах 24,0 и 22,3 см и средних высотах 20,0-22,3 м. Общие запасы древесины в этих насаждениях соответственно равны 333 и 312 куб. м/га, а с учетом вырубленной в порядке рубок ухода – 378 и 381 куб. м/га. Лиственничный древостой в смешанных насаждениях составляет 80-84 %. Даже в указанном возрасте 41,3-45,0 % деловой древесины представлено пиловочником, 18,8-19,2 % – строительными бревнами, 26,0-31,3 % рудстойка и жерди. Сортиментная структура несколько ухудшается в чистых лиственничных древостоях, но запасы стволовой древесины остаются высокими. Даже в условиях весьма сильноэродированных почв и возрасте 49 лет они достигают 326 куб. м/га. При рубках ухода здесь можно получить около 70 куб. м/га преимущественно деловой древесины.

Дуб на смытых почвах формирует малопродуктивные насаждения: в 50-летних посадках запас его древесины обычно не превышает 92-130 куб. м/га с выходом деловой древесины 27-38 %. В более благоприятных лесорастительных условиях рост его улучшается, в 56-летних насаждениях запас древесины достигает 250 куб. м/га, но выход деловой древесины редко превышает 50 %.

Хорошим ростом во всех условиях произрастания отличается береза повислая. В 50-летних узких одно-трехрядных лесных полосах запас древесины равен 350 куб. м/га, в массивных насаждениях на берегах гидрографической сети – 200-250 куб. м, но товарность их низкая: выход деловой древесины обычно составляет 14,6-39,3 %. На берегах гид-

рографической сети теневых экспозиций высокопроизводительные насаждения формируют ель и сосна веймутова: запас древесины в насаждениях из этих пород 48-летнего возраста 380-405 куб. м/га, из них до 86 % деловой древесины (преимущественно мелкой и средней). Однако ценность этих культур не ограничивается только накоплением больших запасов стволовой древесины. Достигнув III-IV классов возраста, они начинают давать обильное жизнеспособное естественное возобновление под пологом близко расположенных лиственных насаждений, по берегам и днищам оврагов. Например, под пологом 50-летнего березового насаждения, расположенного рядом с сосново-еловым такого же возраста, количество самосева ели и сосны веймутовой составляет 75 тыс. штук на га, под пологом 56-летнего насаждения из дуба на расстоянии 100-200 м от материнских насаждений сосны и ели – 7-15 тыс., по откосам оврагов на расстоянии 20-100 м – 3-27 тыс. шт. на га. Кроме ели и сосны веймутовой, в самозарастании оврагов участвует самосев березы, ивы, иногда сосны обыкновенной. Последняя сильно страдает от снеголома, а в первые годы поражается фузариумом. Искусственные насаждения из сосны отличаются хорошей производительностью (на среднесмытых почвах запас древесины в 45-летних посадках достигает 350 куб. м/га), но товарность их несколько ниже, чем еловых и лиственных: выход деловой древесины составляет 75-77 %. К тому же в чистых насаждениях на старопахотных присетевых землях сосна поражается корневой губкой.

Таким образом, насаждения на гидрографической сети и размытых присетевых землях не только имеют большое противозерозное значение, но и формируют большие запасы стволовой древесины. Еще до проведения лесовозобновительных рубок в таких насаждениях можно получить значительное количество деловой древесины и сократить потребности колхозов и совхозов в дорогостоящей привозной древесине. К тому же при правильном подборе пород они экологически устойчивы, способны давать жизнеспособное естественное возобновление.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Земли южной части Центрального района Нечерноземной зоны наиболее эродированные. В Брянской, Орловской, Калужской и Тульской областях около 2 млн. га пашни подвержено эрозии.

Установлено, что урожайность сельскохозяйственных культур на эродированной пашне на 10-80 % ниже, чем на несмытой. В связи с малым потенциальным плодородием нарушенных эрозией земель среднегодовой недобор зерна в Орловской области составляет 60-61 тыс. т.

Под влиянием эрозии возрастают потери гумуса в почве. В гумусе эродированных почв уменьшается содержание гуминовых кислот, наиболее ценных для структурообразования. Эродированные почвы плохо обрабатываются, мало содержат агрономических ценных агрегатов, склонны к заплыванию.

В результате роста оврагов сокращается площадь сельскохозяйственных угодий, затрудняется высокопроизводительное использование сельскохозяйственных машин и орудий, продуктами выноса заиливаются ценные пойменные луга, происходит интенсивное обмеление рек, озер, водохранилищ. Следовательно, предотвращение эрозии – не только гидрологическая, социально-экономическая, но и экологическая проблема.

2. В южной части Нечерноземной зоны без лесных насаждений с открытых полей в понижения сносится до 30 % снега. На участках с законченной системой лесных полос средние снеготпасы существенно не отличаются от подобных в лиственном лесу, где перенос снега отсутствует. Многолетние наблюдения показали, что в этом случае эффективна система из однорядных лесных полос, так называемых снегораспределительных и ветроломных. За 1980-1984 гг. в березовом лесу средние запасы снеговой воды составили 127 мм, а в системе однорядных лесных полос из дуба черешчатого (возраст более 50 лет) – 135 мм.

Одиночно расположенные лесные полосы меньше влияют на снегораспределение, чем система насаждений. Так, действие только прибалочных или водорегулирующих одиночных лесных полос на толщину снежного покрова прослеживается в зоне 5-7Н. Такая же зона влияния и массивных насаждений на берегах гидрографической сети,

внутри которых мощность снежного покрова определяется породным составом, возрастом и состоянием насаждений. За 1964-1982 гг. в посадках из березы IV-V классов возраста средние запасы снега составили 166, а в сосново-еловых – 147 мм.

3. Важнейшая задача противоэрозионной мелиорации – сокращение стока воды и накопление продуктивных запасов влаги в почве.

Успешная борьба с эрозией почв возможна только при наличии комплекса организационных, агрономических, лесомелиоративных, гидротехнических и лугомелиоративных мероприятий.

Правильная организация территории предусматривает противоэрозионные мероприятия на землях всех категорий, независимо от их назначения и хозяйственного использования, и имеет свои особенности, связанные с защитой почв от эрозии, рациональной эксплуатацией угодий, повышением плодородия смытых земель. Подтверждены разработки А. С. Козменко по противоэрозионной организации территории применительно к рельефу степени смывости почв. На водосборной площади выделяются земли (фонды), характеризующиеся различной крутизной и эродированностью. Пологие склоны до 3-5° (смыв почвы отсутствует или протекает слабо) отводят под приводо-раздельный фонд и используют в полевом севообороте. Здесь формируется основная масса талых вод, и для предупреждения разрушения почвенного покрова нижележащих участков склоны делят с помощью лесных полос на более короткие гидрологические отрезки. Расстояние между водорегулирующими лесными полосами зависит от крутизны склона и варьирует от 100 до 500 м.

Земли присетевого фонда крутизной 5-10° занимают под почво-защитный севооборот с максимальным насыщением его многолетними травами или под культурные пастбища в сочетании с защитными лесными насаждениями.

Травы не только надежно защищают почву от смыва, но и обогащают ее органическим веществом, повышают противоэрозионную устойчивость. Поэтому даже при напуске концентрированных потоков воды с расходами до 9 л/ч не отмечено размыва залуженного берега гидрографической сети.

На непригодных для сельского хозяйства землях гидрографической сети создают лесные насаждения. Такое разделение территории используется при составлении проектов землеустройства.

Лесные полосы являются каркасом противоэрозионного комплекса и проектируются в увязке с рельефом, на конкретном водосбо-

ре. Стокообразующие поля размещают в верхних частях склонов. Мелиоративная система лесных полос в сочетании с агрофитомерами полностью задерживает сток на водосборе и обеспечивает повышение урожайности сельскохозяйственных культур.

Лесная полоса, размещенная по горизонтали, в комплексе с канавой и валом способна поглотить сток 20-процентной обеспеченности, поступающий с поля протяженностью 400 м.

Гидрологическая эффективность защитных полос повышается при уничтожении «напашей» вдоль верхних границ, устройстве распылителей стока, создании в нижнем междурядье прерывистых канав с валом по опушке. Водопоглощение в лесных насаждениях, усиленных валами с канавами, увеличивается в три-четыре раза и достигает 900-100 мм. При близком залегании известняков водопоглощение в канавах почти неограниченно и в многоводные годы превышает 5000 мм.

На величину водопоглощения влияют породный состав и конструкция лесных полос. В насаждениях, состоящих из сосны обыкновенной, сток воды формируется чаще и слой его больше, чем в посадках березы плакучей и тем более дуба черешчатого.

Полосы, включающие березу, тополь, лиственницу, имеют, как правило, продуваемую конструкцию. Из-за отсутствия подстилки (отпад выносятся преимущественно за пределы насаждения) и слабой мощности снежного покрова почва в таких полосах промерзает на значительную глубину и обладает слабой водопроницаемостью. Повышение водопоглощения в лесных насаждениях достигается созданием искусственной подстилки и устройством простейших гидротехнических сооружений. На серых лесных почвах подстилка из соломы в лесной полосе состава 5Б5Т способствовала сокращению стока воды до 27 мм, при этом коэффициент стока уменьшился с 0,27 до 0,04.

Большое противозерозионное значение имеют массивные насаждения по берегам гидрографической сети и на присетевых землях. Располагаясь в нижней части склона, они принимают сток, поступающий с приводораздельного фонда. Отмечено, что в дубовых, дубово-лиственничных и липово-лиственничных насаждениях сток воды отсутствует или очень мал даже в многоводные годы. В хвойном лесу до 30-летнего возраста, так же как в лесных полосах из сосны, водопоглощение меньше, чем в насаждениях из лиственных пород, но больше по сравнению с полем. С возрастом под пологом сосново-елового леса условия снеготаяния изменяются. Температура воздуха в течение су-

ток варьирует незначительно, очень низка турбулентность. В лиственном лесу эти показатели сильнее выражены, поэтому в хвойном насаждении снеготаяние более растянуто, а сток отсутствует.

Таким образом, на участках, где требуется продлить срок снеготаяния (инсолируемые берега и склоны) следует создавать защитные посадки из хвойных пород деревьев.

Для облесения сильноосмытых и размытых участков наилучшие древесные породы – береза повислая, лиственница сибирская, особенно в сочетании с липой, сосна обыкновенная и веймутова, ель обыкновенная и др.

Органический материал, используемый для заполнения канав, необходимо периодически добавлять, так как со временем теплоизоляционная способность его уменьшается и водопоглощение сокращается. Заполнение канав щебнем, шлаком увеличивает сток воды в два раза по сравнению с канавами в защитных лесных насаждениях без заполнителей (3). В канавах быстро появляется травянистая и древесно-кустарниковая растительность, и стенки сооружения фиксируются без минерального заполнителя.

Наличие земляного вала по нижней опушке лесной полосы позволяет накапливать в насаждении слой снега, предохраняющий почву от промерзания. При создании водорегулирующих лесных полос из березы, лиственницы и тополя без гидротехнических сооружений для накопления снега в насаждении следует вводить в ряды кустарник, не превышающий высоту 50-60 см.

Агролесомелиоративный комплекс существенно влияет на почвообразование. Под защитой лесных насаждений улучшились морфологические, агрохимические, водно-физические и другие свойства исходных смытых серых лесных почв.

Наибольшие изменения морфолого-генетических показателей почв отмечены в зоне 0,5-5Н. Действие лесных полос, усиленных водозадерживающими валами с канавами, прослеживается на расстоянии 1-3Н выше и ниже линейных рубежей. Вследствие кольматирующего действия защитных лесных полос ранее смытые почвы представлены полнопрофильными серыми лесными почвами.

Под пологом защитных лесных насаждений и на удалении до 7-10Н увеличивается порозность и возрастает скорость водопоглощения. Так, в хвойных посадках, созданных на присетевых землях в начале тридцатых годов, водопроницаемость почвы составила

20,3 мм/мин., а на полевых участках не превышала 1 мм/мин. На берегах гидрографической сети и присетевых землях фитомелиоративные мероприятия повышают.

Для сокращения стока талых вод с полевых участков необходимо повысить водопроницаемость почв созданием рыхлого сложения, улучшением водно-физических свойств и обогащением органическим веществом, а также задержать воду на поверхности с помощью искусственного микрорельефа и щелевания.

Многолетними исследованиями установлено, что большое значение в задержании стока воды на полях принадлежит глубокой зяблевой обработке, проведенной поперек склона. Углубление вспашки на 1 см сокращает его на 0,4-4,8 мм. Оптимальная глубина вспашки – 27-30 см, дальнейшее ее увеличение снижает сток незначительно. Гидрологическая роль глубокой зяблевой обработки возрастает при внесении органических удобрений, действие которых проявляется свыше пяти лет. Обогащение смытых почвы органикой обеспечивало сокращение стока талых вод в средние по водности годы на 3,0-7,0 мм, при стоке на контрольных участках 21-22 мм.

Окультуривание смытых почв (углубление пахотного горизонта и внесение органических удобрений в дозах 50-100 т/га) способствовало увеличению запасов гумуса до 1 %, резко снижало сток талых вод и смыв, улучшало водно-физические свойства почвы и повышало урожайность зерновых культур.

Наиболее эффективно действие органических удобрений на фоне защитных лесных насаждений. В зоне влияния лесной полосы урожайность ячменя на второй год после внесения навоза была на 10 ц/га, или на 36 % больше, чем на незащищенных участках. Наибольшая прибавка урожая зерновых культур получена при ежегодном применении полного минерального удобрения на фоне органического. На заправленном органикой поле при $N_{60}P_{40}K_{30}$ урожайность зерновых на четвертый год последствия вдвое больше, чем при ежегодном применении только минеральных удобрений.

Положительные результаты по улучшению водопроницаемости и повышению противозерозионной устойчивости почвы получены при использовании люпина алкалоидного в качестве сидерального удобрения. Под сеянными многолетними травами отмечено увеличение содержания гумуса за последние 10 лет на 32-43 т/га, под естествен-

ным лугом запасы гумуса возросли на 25-33 т/га, под пологом лесной полосы из березы – на 46 т/га.

Изучение специальных приемов водозадержания – лункования, прерывистого бороздования и гребнистой вспашки – показало, что искусственный микрорельеф на зяби сокращает сток воды незначительно, а в отдельные годы некоторые приемы способствуют его увеличению. Создание микрорельефа связано с уплотнением почвы гусеницами тракторов, колесами навесных и прицепных машин и орудий, с сокращением мощности рыхлого слоя, что снижает впитывающую способность почвы. Поэтому в период зимних оттепелей на зяби после лункования часто образуется лед, и площадь активного впитывания талой воды резко уменьшается. Во время паводка переполнение емкостей водой вызывает прорыв валиков и возникает «лавиный эффект», при котором смыв почвы возрастает по сравнению с обычной зябью. Двадцатишестилетними наблюдениями установлено, что среднемноголетний сток на зяби составляет 34 мм при коэффициенте стока 0,32, иногда он может достигать 146 мм (1967 г.). На уплотненной пашне (на посевах озимых, многолетних трав) эти показатели равны соответственно 42 мм и 0,39 мм. Максимальный сток отмечен в 1967 г. – 133 мм. За последние двадцать шесть лет чрезмерный сток на зяби наблюдался в 1967 г., очень сильный – четыре года (1959, 1960, 1970, 1971), сильный – три года (1963, 1964, 1965), умеренный – пять лет (1969, 1973, 1974, 1979, 1980), очень слабый и слабый – девять лет (1961, 1962, 1966, 1968, 1972, 1977, 1982, 1983, 1984) и отсутствовал – четыре года (1975, 1976, 1978, 1981). Сток 10-процентной обеспеченности на зяби и уплотненной пашне составил 80-90 мм.

Заслуживает внимания мульчирование зяби соломой. Внесение ее в количестве 10-12 т/га уменьшало сток воды на 5-13 мм, при этом смыва почвы не было.

Изучение обработки почвы плоскорезом-глубокорыхлителем КПП-250 показало, что, несмотря на некоторое увеличение стока воды, остатки стерни на поверхности поля предохраняют почву от смыва. Высокая противоэрозионная эффективность этой обработки позволяет рекомендовать ее как основную подготовку почвы на сильносмытых землях (1).

Таким образом, наиболее эффективные агрономические приемы – глубокая пахота и окультуривание эродированных земель. Но при их применении можно ожидать сокращения стока воды только до 30 %. Поэтому для достижения максимального эффекта в защите почв от

эрозии необходимо использовать другие элементы противоэрозионного комплекса, в первую очередь лесные насаждения. Системы защитных лесных насаждений оптимизируют структуру аграрных ландшафтов, повышают их «экологическую емкость», являются естественными экологическими нишами для энтомофагов, зверей и птиц.

Примером высокой эффективности комплекса противоэрозионных мероприятий служит опытное хозяйство станции. Здесь более 5 тыс. га земли, в том числе около 3 тыс. га пашни, 676 га находится под лесами на гидрографической сети и лесными мелиоративными насаждениями. В хозяйстве осуществлено противоэрозионное землеустройство, создана система защитных лесных насаждений, частично обвалованы водорегулирующие лесные полосы, построены водозадерживающие валы и канавы протяженностью 7 км, распылители стока. В сельскохозяйственный оборот возвращены размытые «бросовые» земли. На берегах гидрографической сети и присетевых землях проведено поверхностное и коренное улучшение естественных кормовых угодий, созданы культурные пастбища для крупного рогатого скота. Урожайность трав на мелиоративных участках достигает 300-400 ц/га зеленой массы. Более чем десятилетняя производственная проверка культурных пастбищ показала, что продуктивность улучшенных кормовых угодий под защитой лесных насаждений возрастает в четыре – восемь раз, кроме того, предотвращаются эрозионные процессы.

Так, в первые годы деятельности станции урожайность зерновых не превышала 2-2,5 ц/га, за четыре года одиннадцатой пятилетки средний урожай составил 21,1 ц/га. Имея значительно худшие земли (смытых земель около 60%, средний балл бонитета 80), в опытном хозяйстве собирают урожаи более высокие, чем в соседнем колхозе «Ленинский путь» с наличием смытых земель не более 20 %.

Под защитой лесных насаждений в опытном хозяйстве получают дополнительно сельскохозяйственной продукции на 70-120 тыс. руб. Ежегодно в результате рубок ухода хозяйство заготавливает до 200 куб. м древесины, в том числе до 75 % деловой.

Таким образом, противоэрозионный комплекс оказывает мелиоративное воздействие на территорию, значительно сокращает сток воды, смыв и размыв почвы, изменяет гидрологический режим почвогрунтов, улучшает плодородие в разной степени смытых почв, позволяет внести в активный сельскохозяйственный оборот сильноэродированные земли и повысить продуктивность сельскохозяйственных угодий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барабанов А. Т. Агролесомелиорация в почвозащитном земледелии. – Волгоград, 1993. – 156 с.
2. Басов Г. Ф., Грищенко М. Н. Гидрологическая роль лесных полос. – М.: Гослесбумиздат, 1963. – 201 с.
3. Борец В. П. Противоэрозионный комплекс Нечерноземья // Вестн. с.-х. науки. – 1986. – С. 32-38.
4. Борец В. П., Зыков И. Г., Коблев Ю. Н., Новиков Н. Е. и др. Методические рекомендации по защите почв от водной эрозии и рациональному использованию эродированных земель в Центральном районе Нечерноземной зоны РСФСР. – Волгоград, 1981. – 49 с.
5. Борец В. П., Петелько Н. Е. Морфологическая и агрохимическая характеристика почвенного покрова на водосборе реки Алешин // Фитомелиорация Нечерноземья. – Волгоград, 1996. – С. 142-149.
6. Борец В. П. Влияние минеральных удобрений на урожай ячменя, ливневый сток и смыв светло-каштановой почвы // Бюлл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1970. – Вып. 8(60). – С. 29-31.
7. Борец В. П. Гидрологическая и противоэрозионная эффективность различных способов обработки светло-каштановой почвы на склонах приволжской возвышенности // Бюлл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1978. – Вып. 2(27). – С. 32-35.
8. Володин Н. А. Земля моя – боль моя. – Орел. Тургеневский Бережок, 1996. – 654 с.
9. Гаршинев Е. А., Сурмач Г. П. Повышение эффективности водорегулирующей роли лесонасаждений на серых лесных почвах // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1971. – № 7.
10. Гаршинев Е. А. Изучение водорегулирующей роли противоэрозионных насаждений на серых лесных почвах Центральной лесостепи: Автореферат дисс. к. с.-х. н. – Воронеж, 1975. – 20 с.
11. Гаршинев Е. А., Панов В. И., Котов А. В. Гидрологическая и противоэрозионная роль лесных насаждений // Научн. тр. ВАСХНИЛ. – М., 1975. – С. 220-299.
12. Гаршинев Е. А. Противоэрозионная лесомелиорация и эволюция эрозионно-гидрологического процесса: Автореф. дис. д. с.-х. н. – Волгоград, 1995. – 47 с.
13. Гаршинев Е. А., Пружин М. К. и др. А. С. 88766 СССР «Оценки эффективности противоэрозионных и стокорегулирующих приемов на

склонах» / Заявл. 16.04.79 / Опубл. 07.12.81. Бюлл. № 45 // Открытия, Изобретения. 1989. 45. С. 3-4.

14. Гаршинев Е. А., Барабанов А. Т. и др. А. С. 1449905 СССР «Способ оценки смыва почвы на склонах» / Опубл. 07.01.89. Бюлл. № 1 // Открытия. Изобретения. 1989. 1. С. 191.

15. Гаршинев Е. А., Барабанов А. Т., Зыков И. Г., Борец В. П. и др. Методика полевого моделирования эрозии, расчета смыва и расстояний между полосами. – М., 1991. – 41 с.

16. Гаршинев Е. А., Новиков Н. Е., Борец В. П. Экспериментальная оценка стокорегулирующей роли лесных насаждений в урочище Колодезном // Фитомелиорация Нечерноземья. – Волгоград, 1996. – С. 28-46.

17. Гаршинев Е. А. Изучение водопроницаемости серых лесных почв полевых и лесных угодий при искусственном дождевании // Бюлл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1970. – Вып. 8(60). – С. 44-46.

18. Зыков И. Г., Зайченко К. И. Почвенно-эрозионная карта землепользования Новосильской ЗАГЛОС им. А. С. Козменко // Фитомелиорация Нечерноземья. – Волгоград, 1996. – С. 15-27.

19. Инструктивные указания по проектированию и выращиванию защитных лесных насаждений на землях сельскохозяйственных предприятий РСФСР. – М.: Россельхозиздат, 1979.

20. Козменко А. С. Борьба с эрозией почв. – М.: Сельхозгиз, 1954.

21. Козменко А. С. Эрозия почв и борьба с ней. – В кн.: Агролесомелиорация. – М.: Сельхозиздат, 1948.

22. Лидов В. П. и др. Исследование микроформ размыва количественными методами. – В. сб.: Сельскохозяйственная эрозия и борьба с ней. – М.: АН СССР, 1956.

23. Лепилин Г. Н., Борец В. П. Улучшение кормовых угодий и охрана склоновых земель // Бюлл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1982. – Вып. 1(37). – С. 46-50.

24. Лысов А. В. Сток и эрозия на волжских склонах Приволжской возвышенности и воздействие на них комплекса противоэрозионных мероприятий: Автореф. дис. к. с.-х. н. – Саратов, 1968. – 18 с.

25. Львович М. И. Водный баланс СССР и его преобразование. – М.: Наука, 1969. – 338 с.

26. Львович М. И. Человек и воды. – М.: Географгиз, 1963. – 568 с.

27. Методические рекомендации по составлению проектов внутрихозяйственного землеустройства с комплексом противоэрозионных мероприятий на расчетной основе // ВНИИЗиЗПЭ. – М., 1987.

28. Михайлова Н. Ф., Здоровцов И. П. Изучение системы естественных водотоков // Научн.-техн. бюл. ВНИЗиЗПЭ. – Курск, 1986. – Вып. 3(50) – 86. – С. 44-48.

29. Молчанов А. А. Гидрологическая роль леса. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 485 с.

30. Новиков Н. Е. Защитные лесные насаждения Новосильской ЗАГЛОС // Фитомелиорация Нечерноземья. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1996. – С. 7-14.

31. Новиков Н. Е., Павловский Е. С., Борец В. П. Защитные насаждения Новосильской ЗАГЛОС. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1995. – 107 с.

32. Орлов П. А. Растительный мир. – В сб.: Природа Орловской области. – Орел, 1961.

33. Петелько А. И. Влияние защитных лесных насаждений на микроклимат и показатели фотосинтетической активной радиации (ФАР) // Фитомелиорация Нечерноземья. – Волгоград, 1996. – С. 117-126.

34. Разработка систем защитных лесных насаждений в противоэрозионных комплексах (методические рекомендации). – Волгоград, 1978.

35. Рахманов В. В. Гидроклиматическая роль лесов. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 240 с.

36. Рекомендации по лесной мелиорации при контурной организации территории в районах активного проявления водной эрозии // ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1989.

37. Рутковский В. И. Влияние лесов на накопление и таяние снега // Снег и талые воды, их изучение и использование. – М., 1956.

38. Созыкин Н. Ф. Основные результаты лесогидрологических исследований Истринского опорного пункта ВНИИЛМ // Материалы совещ. по вопросам эксп. изуч. стока и водного баланса речных водосборов (4-7 августа 1964 г.). – Валдай, 1965.

39. Справочник по землеустройству. – М.: Московский рабочий, 1976.

40. Степанов А. М. Полезащитней лесоразведение в Нечерноземной зоне России // Фитомелиорация Нечерноземья. – Волгоград, 1996. – С. 72-74.

41. Субботин А. И. Сток талых и дождевых вод. – М., 1966. – 376 с.

42. Сурмач Г. П. Водорегулирующая и противоэрозионная роль насаждений. – М.: Лесн. пром-сть, 1971.

43. Сурмач Г. П., Гаршинев Е. А., Барабанов А. Т. и др. Изучение водопоглощающего и противоэрозионного влияния защитных лесонасаждений в комплексе с другими мероприятиями (методические рекомендации. – М.: ВАСХНИЛ, 1975. – 96 с.

44. Сурмач Г. П. Методика изучения водорегулирующей и противоэрозионной эффективности лесных полос и агротехнических приемов. – Волгоград, 1967.

45. Сурмач Г. П. и др. Работы Новосильской ЗАГЛОС им. А. С. Козменко по противоэрозионной мелиорации. – В сб. работ Ново-

сильской зональной агролесомелиоративной опытной станции. – Орел, 1972. – Вып. 2.

46. Сурмач Г. П. Водорегулирующая и противоэрозионная роль насаждений. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 109 с.

47. Сухарев И. П. Гидрологическая и противоэрозионная роль лесных полос. – Воронеж. 1966. – 120 с.

48. Тубольцев Е. Я. Гидрологическая и почвозащитная роль севооборота в системе лесных насаждений «Фитомелиорация Нечерноземья». – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1996. – С. 87-97.

49. Федоров С. Ф. Исследования элементов водного баланса в лесной зоне европейской территории СССР. – Л., 1977. – 264 с.

50. Харитонов Г. А. Агролесомелиорация Среднерусской возвышенности. – Воронеж, 1958.

51. Харитонов Г. А. Водорегулирующая и противоэрозионная роль леса в условиях лесостепи. – М.: Гослесбумиздат, 1963. – 255 с.

52. Цветков М. А. Изменение лесистости Европейской России с конца XVII столетия по 1914 год. – М.: АН СССР, 1957.

УДК 634.0.116:001.891.573

А. Н. Салугин, Е. А. Гаршинев
АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ЭВОЛЮЦИИ ФОРМЫ СКЛОНА В РЕЗУЛЬТАТЕ
ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНОГО ПРОЦЕССА

Статья в сб. науч. тр. «Методы исследования водной эрозии в противоэрозионной лесомелирации». – Волгоград, 1989. – Вып. I(96). – С. 145-158.

Качественная логико-графическая схема пространственно-временной эволюции форм склона в ходе эрозионно-аккумулятивного процесса (рис. 1), построенная с учетом работ [1-5], вскрывает ее наиболее существенные черты. Исходная почти горизонтальная между водоразделом 0 и тальвегом 0' поверхность 0-0' при размыве приобретает вид прямоугольного уступа из-за образования обрыва примерно по оси тальвега (0-0', 0-1-1'), который скачкообразно превращается в осыпной склон (2-2',...4-4'), отступающий параллельно самому себе при подмыве и делювиальном сносе, а затем – в вогнутый за счет аккумуляции пролювиально-делювиальных наносов у его подножия (5-10). Надбровочный склон вследствие смыва становится выпуклым, и, таким образом, эволюция поверхности склонов представляется в виде гомологического ряда выпукло-вогнутых профилей с постепенным уменьшением доли выпуклой денудационной части и формированием на заключительном этапе вогнутой аккумулятивной поверхности ($t-t'$) – пенепедиплена [5]. Установлено, что вся совокупность отметок H поверхностей склона этого ряда с высокой степенью точности (обычно несколько процентов) описывается единым уравнением – логистической функцией [5]:

$$H = \frac{H_{max} - H_{min}}{1 + \exp(-a + bL)} + H_{min}, \quad (1)$$

где H_{max} и H_{min} – соответственно максимальная и минимальная отметки, м; L – горизонтальное проложение (проекция) поверхности склона, м; a и b – безразмерные параметры.

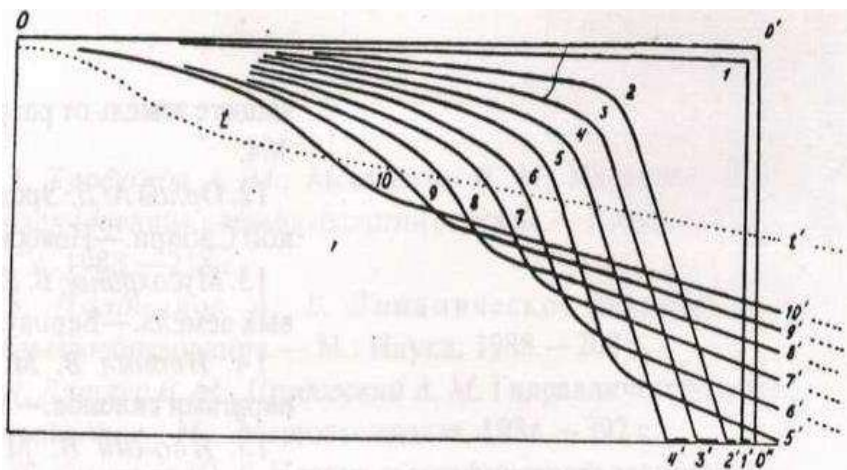


Рис. 1. Пространственно-временная схема эволюции форм склона в ходе эрозионно-аккумулятивного процесса

Рассмотрение приведенной схемы эволюции форм склона побудило авторов к математическому описанию явления массопереноса методами математической физики.

В последние годы предприняты значительные усилия [6-11] по адаптации методов математической физики для решения задач массопереноса в геоморфологии склонов. Эрозия-аккумуляция может быть также описана с позиций методов математической физики с привлечением численных приемов решения дифференциальных уравнений.

Рассмотрим поверхностные явления, происходящие на плоском склоне (плоская задача).

Пусть имеется некоторый склон в виде функции профиля $Z(x)$, вдоль которого происходит перенос почвы ламинарным (без завихрений) потоком воды. Профиль $Z(x)$ будет со временем изменяться, эволюционировать. Необходимо получить такое решение, которое давало бы адекватную картину изменения профиля во времени. При составлении модели мы старались как можно полнее учесть физические явления, сопутствующие эрозии и аккумуляции.

В современной литературе существует двойкий подход к моделированию склоновых процессов: с помощью диффузионного уравнения [7] и динамическое моделирование [10]. Поскольку динамические модели рассматривают локальные явления (в точке склона) и не позволяют получить эволюционирующее решение, на первом этапе нами осуществлялось моделирование с помощью уравнения диффузии. Это было оправдано двумя обстоятельствами. Во-первых, несмотря на некоторую «скрытость» физических параметров склонов и внешних условий, уравнение диффузии позволяет получить важные результаты о коэффициенте денудации (подвижности верхнего слоя почвы), который необходим

для дальнейшего моделирования эрозионно-аккумулятивных процессов в локальных объемах с привлечением динамических дифференциальных уравнений. Во-вторых, диффузионная модель позволяет выявить эволюцию склона, т. е. сделать прогноз о будущей «судьбе» профиля, что существенно в прикладном плане.

Взаимодействие в склоновых системах, подверженных эрозии, моделируется так называемыми балансовыми диффузионными уравнениями Каллинга [11] и Девдариани [12]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} &= 0, \\ q &= f\left(x, z, t, -\frac{\partial z}{\partial x}\right), \end{aligned} \quad (2)$$

где z – высота профиля, q – расход материала, $\frac{\partial z}{\partial x}$ – уклон.

Если предположить, что расход материала пропорционален уклону

$$q = -k(x, z, t) \frac{\partial z}{\partial x}, \quad (3)$$

приходим к уравнению диффузии

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k(x, z, t) \frac{\partial z}{\partial x} \right) \quad (4)$$

Коэффициент пропорциональности $k(x, z, t)$ несет в себе информацию о механизме взаимодействия потока с поверхностью склона. Если этот механизм определен, то решение уравнения диффузии является чисто технической задачей и проблема может считаться разрешимой. Кроме этого, решение диффузионного уравнения сильно зависит от граничных и начальных условий, которые также выбираются из физических соображений. Таким образом, успех математического моделирования с помощью уравнения диффузии определяется тем, насколько адекватны начальные, граничные условия и насколько корректна интерпретация коэффициента диффузии k . В том случае, когда коэффициент диффузии является постоянным, уравнение (4) преобразуется

$$\frac{\partial z}{\partial t} = k \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \quad (5)$$

и его решение может быть легко получено в аналитическом виде:

$$z(x, t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\varphi(\xi)}{\sqrt{t}} e^{-\frac{(x-\xi)^2}{4t}} d\xi, \quad (6)$$

где $\varphi(\xi) = z(x, 0)$ – форма склона в начальный момент времени. Если в качестве исходного профиля взять функцию

$$\varphi(x) = \begin{cases} 1 & x < 0 \\ 0 & x \geq 0. \end{cases}$$

то получим решение

$$z(x, t) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{kt}}} e^{-\xi^2} d\xi \quad (7)$$

На рис. 2 представлена качественная картина эволюции склона для этого случая.

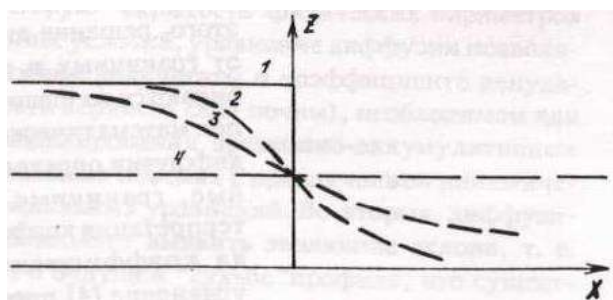


Рис. 2. Эволюция склона при $k = \text{const}$: 1, 2, 3, 4 – последовательные положения профиля при изменении продолжительности эволюции t от 0(1) до ∞ (4)

С течением времени прямоугольный склон деформируется и становится логистоподобным. Склон до последнего остается выпукло-вогнутым, и точка перегиба профиля в этой модели не изменяет своего положения в пространстве.

Наиболее интересными, на наш взгляд, представляются случаи, когда в уравнение (4) вводится зависящий от x коэффициент k . Если, например, предположить, что расходы воды при выпадении на склон осадков линейно возрастают книзу, то смыв будет также возрастать по этому закону. При этом твердый расход пропорционален жидкому [2]:

$$\begin{cases} \frac{\partial z}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_0 x \frac{\partial z}{\partial x} \right) = 0, \\ z(x, 0) = \varphi(x). \end{cases} \quad (8)$$

где μ_0 – коэффициент пропорциональности. Решение находим методом разделения переменных [7]. Опуская промежуточные выкладки, имеем:

$$z(x, t) = \int_0^\infty d\lambda \lambda e^{-\frac{\lambda^2 \mu_0 t}{4}} J_0 \left(\lambda x^{\frac{1}{2}} \right) \int_0^\infty d\tau \tau \varphi(\tau) J_0(\tau \lambda)$$

где J_0 – функция Бесселя; λ, τ – переменные интегрирования;

$$\varphi(x) = \begin{cases} 1 & 0 < x < a_0 \\ 0 & x \geq a_0 \end{cases}.$$

Исследование асимптотик ($t \rightarrow \infty$) дает более наглядное представление об эволюционном процессе (рис. 3):

$$\left\{ 1z(x, t) \simeq \frac{a_0}{\mu_0 t} - \frac{x}{\mu t} \right\}, \quad (8a)$$

где μ – константа.

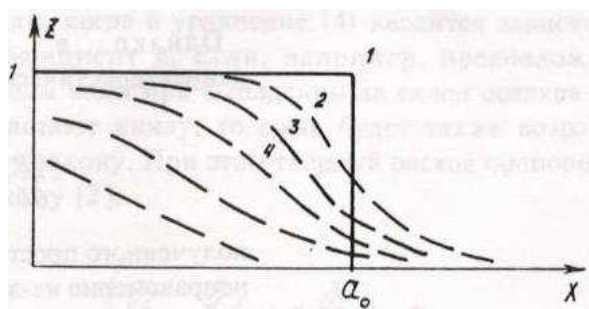


Рис. 3. Эволюция склона при $K \sim \mu_0 x$

В отличие от случая, когда $k = \text{const}$, здесь налицо смещение точки перегиба в начале эволюции логистообразного профиля, который впоследствии становится «выположенным» (8а).

Аппроксимация коэффициента диффузии более сложными функциями значительно затрудняет аналитическое решение. В случае экспоненциальной зависимости k от x ($k = \exp(-\gamma_0 x)$) получены более сложные аналитические выражения для эволюционирующего профиля. Однако качественная картина при этом изменяется незначительно. При большой продолжительности эволюции получается отступающий логистообразный склон.

Проведенный разбор аналитических решений моделей приводит к выводу о том, что склоновая система чувствительна к изменению коэффициента диффузии на протяжении всего профиля. Для параллельного отступления склона коэффициент k должен обязательно нарастать при спуске. Вопрос о том, как он изменяется при этом, остается открытым. Авторы работы [14] утверждают, например, что для описания изменения твердого расхода можно использовать соотношение:

$$q = ax^m \left(\frac{-\partial z}{\partial x} \right)^n. \quad (9)$$

Однако в работе [7] указывается, что «характеристическое решение» уравнения

$$\frac{-\partial z}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ax^m \left(\frac{-\partial z}{\partial x} \right)^n \right],$$

полученного простой подстановкой q в уравнение баланса, неправомерно из-за нелинейной связи расхода с уклоном.

Таким образом, несмотря на качественное соответствие результатов моделирования реальным наблюдениям склонообразования, данный подход совершенно не опирается на физические процессы, обуславливающие эволюцию.

Массоперенос, сопровождающий эрозионно-аккумулятивные процессы, является сложным явлением [9]. Имеющиеся экспериментальные данные позволяют предположить, что в каждой точке профиля мутность пропорциональна кубу скорости потока V^3 . Причем про-

цесс эрозии начинается при некоторой критической скорости потока $V_{кр}$. Отсюда следует, что для моделирования эрозии необходимо знать, как изменяется скорость потока при движении по склону по направлению к тальвегу. Исходя из этих предпосылок, получаем основное уравнение для формирования модели. Концентрация наносов (мутность) как функция скорости потока выражается соотношением

$$\rho = \alpha \left(\frac{V - V_{кр}}{V_{кр}} \right)^3, \quad (10)$$

где α – коэффициент пропорциональности, обеспечивающий соответствующую размерность.

Толщина водного потока аппроксимируется степенной функцией длины склона ($h \sim x^m$), а скорость склонового потока

$$V = \sqrt{gh \left(\frac{-\partial z}{\partial x} \right)}, \quad (11)$$

где g – ускорение свободного падения.

Расход вещества за счет смыва связан с изменением высоты склона. На каждом участке длиной Δx за 1с уносится $\Delta z \cdot \Delta x$ массы, где Δz – изменение высоты склона на концах отрезка Δx . Отсюда

$$\Delta z \cdot \Delta x = \rho(x_0 + \Delta x) - \rho(x_0) = \Delta Q.$$

где $\rho(x_0)$ – мутность в точке x_0 , $\rho(x_0 + \Delta x)$ – мутность в точке, отстоящей от x_0 на расстоянии Δx .

Балансовое уравнение для смыва можно записать в виде

$$\Delta Q = v \left(\frac{\partial \rho}{\partial x} \right)_{x=x_0} \cdot \Delta t,$$

где v – скорость потока, ΔQ – смыв за время Δt с участка Δx , $\left(\frac{\partial \rho}{\partial x} \right)_{x=x_0}$

– градиент мутности.

Переходя к пределу, получим уравнение баланса

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \gamma \frac{\partial Q}{\partial x}$$

или

$$\frac{\partial z}{\partial t} = C \sqrt{x^m \left(\frac{-\partial z}{\partial x} \right)} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial x}, \quad (12)$$

где C – константа размерности.

Мутность, как отмечалось выше, пропорциональна V^3 . Следовательно,

$$\rho = \alpha V^3 \sim \alpha g^{\frac{3}{2}} h^{\frac{3}{2}} \left(-\frac{\partial z}{\partial x} \right)^{\frac{3}{2}} \cong \alpha g^{\frac{3}{2}} x^{\frac{3m}{2}} \left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)^{\frac{3}{2}},$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} = C \sqrt{x^m \left(\frac{-\partial z}{\partial x}\right)} \cdot \left[x^{\frac{3m}{2}} \cdot \left(\frac{-\partial z}{\partial x}\right)^{\frac{3}{2}} \right] = C \sqrt{x^m \left(\frac{-\partial z}{\partial x}\right)} \cdot \left[\frac{3}{2} m \cdot x^{\frac{3}{2}m-1} \cdot \left(\frac{-\partial z}{\partial x}\right)^{\frac{3}{2}} + x^{\frac{3}{2}m} \cdot \frac{3}{2} \left(\frac{-\partial z}{\partial x}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}\right) \right]. \quad (13)$$

Полученное уравнение решалось численным методом. Расчеты производились на ЭВМ ЕС-1022 и ДВК-3М.¹ Для решения уравнения (13) использовалась явная схема на двумерной сетке. Устойчивость при вычислении скорости потока в узлах сетки обеспечивалась путем сглаженной центрально-разностной аппроксимации производной по x , а сама производная вычислялась слева.

В качестве начального условия использовалась форма склона, близкая к профилю 2-2' (см. рис. 1).

Граничные условия задачи варьировались различным образом, в основном с фиксированными, неподвижными точками слева и справа сетки, соответствующими неподвижной вершине холма и полному выносу вымываемого грунта через границу области счета.

На рис. 4 представлены результаты численного решения уравнения (13) с закрепленной верхней и свободной нижней границами. Из рис. 4 явствует, что уравнение (13) дает эволюционирующее во времени решение. Слабо наклонное плато постепенно размывается и принимает форму логистоподобной кривой. Обращает на себя внимание, что логистический характер профиля сохраняется вплоть до 5600 лет эволюции (средняя скорость выноса 1 м в 100 лет).

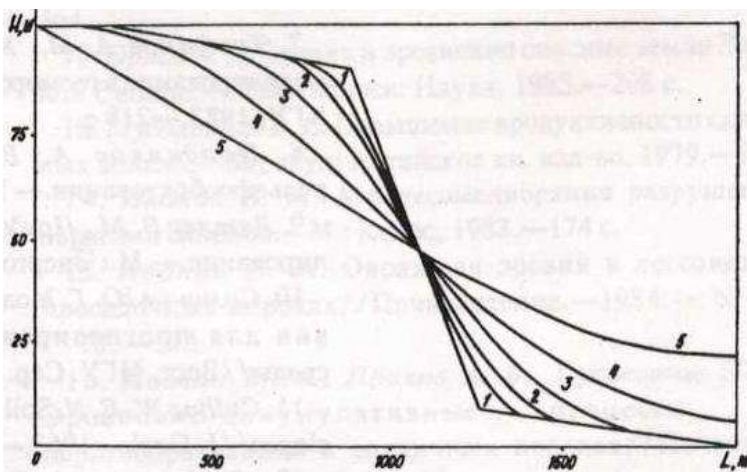


Рис. 4. Эволюция склона при численном решении уравнения (13).

Параметр $m = 1/2$. Цифрами обозначено: 1 – начальный профиль, 2, 3, 4, 5 – решения для 240, 600, 4800, 5600 лет эволюции

¹Авторы выражают признательность сотрудникам Волгоградского университета А. И. Иванову и О. В. Балагуре за проведение численных расчетов на ЭВМ и обсуждение результатов.

Сравнение численных кривых с функцией (1), судя по величинам относительных ошибок и ошибки уравнения регрессии m_{HL} , обнаруживает удовлетворительное их согласие (таблица). Точность приближения можно еще повысить, разбив кривые на отрезки до и после перегиба и найдя для них соответствующие параметры. Аппроксимация формы склона логистической функцией имеет важное прикладное значение, поскольку позволяет, во-первых, существенно упростить расчеты, а во-вторых, применять логистическую функцию в качестве опорного выражения для расчета эрозии и аккумуляции при фиксированных значениях времени от момента начала эволюции склонов.

Таблица

Результаты расчета отметок поверхности H склона по уравнению (13) и их аппроксимации выражением (1) логистической функции

$$(\varepsilon = \frac{H(1)-H(13)}{H(13)} \cdot 100\%)$$

L, м	Номер профиля на рис. 4								
	2			3			4		
	H(13), м	H(1), м	ε	H(13), м	H(1), м	ε	H(13), м	H(1), м	ε
0	100,0	100,6	0,6	100,0	100,5	0,50	100,0	101,90	+2,0
200	99,5	99,8	0,3	99,5	99,7	0,20	99,5	98,40	-1,1
400	97,5	97,7	0,2	97,5	97,5	0,04	93,0	92,40	-0,6
600	95,0	92,1	-3,1	92,5	91,8	-0,80	83,0	82,90	-0,2
800	87,5	79,0	-9,7	79,0	79,1	+0,10	69,0	69,30	+0,4
1000	62,0	56,1	-9,6	58,0	57,4	-1,10	54,0	53,00	-1,9
1200	28,0	30,5	+9,0	31,0	32,9	-16,00	39,0	37,10	-5,4
1400	11,0	13,2	+20	18,0	15,5	-15,00	26,0	24,20	-8,0
1600	4,5	5,0	+11,0	7,0	6,8	-3,80	16,0	15,30	-5,6
1800	1,5	1,8	+20,0	3,0	3,2	8,50	9,0	9,80	+13,0
2000	0,5	0,6	+26,0	1,5	1,8	59,00	6,5	6,70	+5,0
H_{max}		101,0			101,0			106,00	
H_{min}		0			1,0			3,00	
a		5,51			5,34			3,18	
b		$5,29 \cdot 10^{-3}$			$5,08 \cdot 10^{-3}$	i		$3,24 \cdot 10^{-3}$	
m_{HL}		3,6			1,3			0,87	

Примечание. Величины $H(1)$ и $H(13)$ при расчетах ε принимались относительными, т. е. в виде $(H - H_{min}) / (H_{max} - H_{min})$.

Выполненное исследование следует рассматривать лишь как начальный этап работы. В дальнейшем, по мере уточнения представлений о физической природе процесса смыва-аккумуляции, будет возможно, на наш взгляд, с помощью численного метода получать все более адекватные результаты для практического применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Девис В.М. Пенеплен // Геоморфологические очерки / Пер. с англ. – М.: Изд-во ИЛ, 1962. – С. 77-99.
2. Пенк В. Морфологический анализ. – М.: Географгиз, 1961. – 359 с.
3. Кинг Л. Морфология Земли / Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1967. – 559 с.
4. Сурмач Г.П. Рельефообразование и эрозионные процессы в четвертичном периоде // Почвоведение. – 1987. – № 6. – С. 67-78.
5. Гаршинев Е.А. Применение логистической функции как универсальной зависимости для описания продольного профиля склонов разной формы // Противозерозионный комплекс Нечерноземья. – Волгоград, 1987. – Вып. 3(52). – С. 51-54.
6. Линслей Р.К., Колер М.А., Паулос Д.Л.Х. Прикладная гидрология. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 760 с.
7. Трофимов А.М., Московкин В.М. Математическое моделирование в геоморфологии склонов. – Казань: Изд-во КГУ, 1983. – 218 с.
8. Поздняков А.В. Динамическое равновесие в рельефообразовании. – М.: Наука, 1988. – 208 с.
9. Лятхер В.М., Прудовский А.М. Гидравлическое моделирование. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 392 с.
10. Симонов Ю.Г. Модели географического взаимодействия для прогнозирования эволюции окружающей среды // Вест. МГУ. Сер. Географич. – 1976.
11. Culling W.E.N. Soil creep and the development of hillside slopes // J. Geol. – 1963. – Vol. 71, N 2.
12. Девдариани А.С. Математический анализ в геоморфологии. – М.: Наука, 1967. – 156 с.
13. Годунов С.К. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1971.
14. Carson M.A, Kirkby M.J. Hillslope form and process // Cambridge University Press, 1972.

СОДЕРЖАНИЕ ТОМА

Барабанов А. Т. Предисловие.....	5
Гаршинев Е. А. Эрозионно-гидрологический процесс и лесомелиорация. Теория и модели.....	7
Гаршинев Е. А. Эрозионно-гидрологический процесс и лесомелиорация. Экспериментальная оценка, расчет, проектирование.....	218
Борец В. П. Фитомелиорация склоновых земель.....	484
Салугин А. С., Гаршинев Е. А. Анализ вариантов математической модели эволюции формы склона в результате эрозионно-аккумулятивного процесса.....	638

ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ
НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ЭРОЗИОВЕДЕНИЯ
А. С. КОЗМЕНКО – Г. П. СУРМАЧА
в четырех томах

Том третий

*Составитель и ответственный редактор А. Т. Барабанов
Компьютерная верстка В. Г. Гирявенко
Ответственный за выпуск В. Г. Гирявенко*

Подписано в печать 12.12.2023.

Формат 60×84 1/16.

Объем 41,1 уч.-изд. л. Заказ 4.

Тираж 500 (первый завод 50).

400062, Волгоград, Университетский проспект, 97.
Копировально-множительный сектор ФНЦ агроэкологии РАН



**ГАРШИНЕВ
ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ**

Родился в 1939 г. в п. Зимовники Ростовской обл., в 1961 г. окончил НИМИ по специальности инженер лесного хозяйства, в 1967 г. - аспирантуру ВНИАЛМИ, в 1995 г. стал доктором с.-х. наук, в 2001 г. лауреатом премии Правительства РФ в области науки и техники. Им уточнены условия формирования древнего эрозионно-аккумулятивного рельефа; разработана логико-графическая схема эволюции склонов в ходе эрозионно-гидрологического процесса (ЭГП). Он разработал теорию образования размыва, проходящего последовательно стадии от обрывистых откосов к осыпным склонам делювиального смыва и аккумуляции; впервые показал, что форма склонов является адекватным выражением эрозионно-аккумулятивного процесса (ЭАП) и предложил ее описывать посредством логистического уравнения; создал математические модели ЭАП и оригинальную систему автоматизированного проектирования противоэрозионных мероприятий. Им выдвинута и обоснована концепция «ледяного экрана» и сплошной менисковой пленки, играющих важную роль в ЭГП.



**БОРЕЦ
ВАЛЕНТИН ПАВЛОВИЧ**

Родился в 1937 г. в с. Подгорное Краснодарского края, в 1962 г. окончил Волгоградский СХИ по специальности ученый агроном, в 1971 г. - аспирантуру ВНИАЛМИ по специальности агролесомелиорация и защитное лесоразведение, в 1973 г. защитил кандидатскую диссертацию. Его научная работа осуществлялась по нескольким направлениям: разработка технологических основ формирования оптимальных агролесомелиоративных комплексов в целях управления эрозионно-гидрологическими процессами (ЭГП); оценка эффективности агротехнических противоэрозионных приемов; испытание новых методов исследования ЭГП; анализ многолетних рядов наблюдений за стоком талых вод; разработка приемов коренной мелиорации размытых земель; комплексная оценка систем почвозащитных мероприятий на больших и малых водосборах с разной противоэрозионной нагрузкой. Им установлена высокая стокорегулирующая и почвозащитная роль кулис из высокостебельных растений в сочетании со щелеванием, разработано оригинальное орудие для щелевания посевов озимых и многолетних трав.