

# ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ

НАУЧНОЙ ШКОЛЫ

А. С. КОЗМЕНКО - Г. П. СУРМАЧА

Том IV

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 четвертый**

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. 4. – Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2023. – 640 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 трудах четвертого тома просматривается преемственность ученых от поколения к поколению. В них изложены теоретические основы формирования стока талых вод, существенно уточняющие представления о физической природе гидрологических процессов, которые позволили по-новому трактовать условия просачивания талых вод в мерзлую почву, усовершенствовать существующие и разработать новые математические модели; представлена количественная связь стока с факторами, что позволило открыть закон лимитирующих факторов стока и разработать высокоточную методику его прогнозирования; предложена новая технология управления эрозионно-гидрологическим процессом; определены роль и место агролесомелиорации в почвозащитном земледелии.

Selected works of the School of Erosion Studies by A. S. Kozmenko – G. P. Surmach in four volumes. Vol. 4. – Volgograd: Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, 2023. – 640 p.

Selected works of the Kozmenko –Surmach scientific School of Erosion Studies, which is over 100 years old, are published in four volumes. The works of the fourth volume show the continuity of scientists from generation to generation. They set out the theoretical foundations of the meltwater runoff formation, significantly clarifying the understanding of the hydrological processes physical nature, which allowed a new interpretation of the conditions of meltwater seepage into frozen soil and improve existing as well as develop new mathematical models. A quantitative relationship of runoff with factors has been established, which made it possible to discover the law of limiting runoff factors and develop a high-precision methodology for forecasting it. A new technology for managing the erosion-hydrological process has been proposed. The role and place of agroforestry in soil protection agriculture have been determined.

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 смывости, 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. Гаршиным, 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. Гаршинова 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.

---

**А. Т. Барабанов**

**АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ  
В ПОЧВОЗАЩИТНОМ  
ЗЕМЛЕДЕЛИИ**

Волгоград\*1993

УДК 634.0.6:634.0.266

Барабанов А. Т. Агролесомелиорация в почвозащитном земледелии. – Волгоград, 1993. – 156 с.

Рассмотрены теоретические основы формирования стока талых вод, установлена количественная связь его с природными и антропогенными факторами. Изложена впервые разработанная концепция лимитирующих факторов стока и методика его прогнозирования, дана стокорегулирующая, противозэрозионная и агрономическая оценка эффективности отдельных противозэрозионных приемов и их сочетаний, определены роль и место агролесомелиорации в почвозащитном земледелии. На основе знания закономерностей взаимодействия природных и антропогенных факторов, а также влияния их на эрозионно-гидрологические процессы предложены пути управления ими, разработана система эффективных мер по защите почв от эрозии.

Barabanov A. T. Agroforestry in soil conservation agriculture. – Volgograd, 1993. – 156 p.

Is considered the theoretical background of thawing water flow, is determined the connection of its amount with natural and anthropogene factors. Is given new developed conception of flow limiting factors and methods of its forecasting, is given flow-regulating, erosion-preventive, and agricultural estimation of effectiveness of separate methods of erosion control and their combinations, is determined the role of agroforestry in soil conservative agriculture. Has been developed a system of effective methods of soil erosion control on the base of regularity of interaction of natural and anthropogene factors, and their influence on erosion-hydrological processes, are suggested methods of their control.



## ВВЕДЕНИЕ

Эрозия почв – серьезный тормоз в развитии сельского хозяйства, а в ряде случаев и экологическое бедствие. Американский ученый Л. Браун (1989) пишет, что "потеря верхнего слоя почвы – тихий кризис в отличие от землетрясений, извержений вулканов и других стихийных бедствий; эта катастрофа, причина которой лежит в деятельности человека, разворачивается постепенно". Он же отмечает, что "неспособность справиться с угрозой эрозии приведет не только к деградации земли, но и к деградации самой жизни". По его данным, наибольшие потери почвы в СНГ, США и Китае.

В СНГ, по данным ученых ВНИИЗиЗПЭ, каждый второй гектар пашни подвержен водной эрозии или может ей подвергнуться. В результате эрозии ежегодно смывается 1,5-1,6 млрд т почвы (Ю. И. Майоров, В. М. Солошенко, 1991). Общие потери питательных веществ составляют около 36 млн т стандартных туков. Если всю площадь смытой пашни перевести в условно несмытую, то потери пашни будут 15 млн га, а недобор сельскохозяйственной продукции в пересчете на кормовые единицы – примерно 20 млн т (Д. Е. Ванин, Ю. И. Майоров, В. М. Солошенко, 1987). По данным Г. П. Сурмача (1976), на слабосмытых почвах по сравнению с несмытыми урожай сельскохозяйственных культур снижается в среднем на 10-15 % (средний коэффициент для эродированного пояса 0,07), на среднесмытых – от 10 до 40 % (0,25), на сильносмытых – от 40 до 60 % (0,5) и на весьма сильносмытых от 60 до 80 % (0,7).

Борьба с эрозией почв является важной народнохозяйственной проблемой, решение которой зависит от научной обоснованности противоэрозионных мер. Разработанный на Новосильской ЗАГЛОС под руководством А. С. Козменко и развиваемый в дальнейшем учеными ВНИАЛМИ, ВНИИВиВ, ВНИИЗиЗПЭ, УкрНИИЗПЭ, УкрНИИЗ, НИИСХ ЦЧП и других институтов комплекс противоэрозионных мероприятий не получил достаточного научного обоснования. Он был основан на комплексном подходе к проблеме защиты почв от эрозии с охватом целых водосборов, знании о дифференциации природно-экологических условий на разных элементах склонов, сложившихся в

результате эрозии, и использовании высоких почвозащитных свойств растительности. Слабо был изучен характер формирования стока и процессов эрозии на сельскохозяйственной территории, не была выявлена количественная связь поверхностного стока талых вод с природными факторами, роль антропогенных факторов в его формировании, недостаточно была оценена стокорегулирующая и противоэрозионная роль отдельных элементов агролесомелиоративного противоэрозионного комплекса и почти не изучалась их роль во взаимодействии.

Без знания этих вопросов невозможно дальнейшее совершенствование агролесомелиоративного противоэрозионного комплекса, разработка новых противоэрозионных приемов и проектирование почвозащитных систем земледелия на расчетной основе с применением ЭВМ.

Необходимо определить роль и место противоэрозионной лесомелиорации в почвозащитной системе земледелия во взаимодействии с другими элементами (противоэрозионной организацией территории, севооборотами, обработкой почвы и др.) и выявить пути повышения ее эффективности. Для этого нужна объективная количественная оценка стокорегулирующей, противоэрозионной и агрономической эффективности каждого элемента почвозащитной системы земледелия в отдельности и роли лесомелиорации в этой системе, как наиболее мощного антропогенного фактора, воздействующего на природные факторы (снегозапасы, увлажнение и промерзание почвы и др.), а через них – на эрозионно-гидрологические процессы.

В настоящей работе рассмотрены теоретические основы формирования стока, установлена связь поверхностного стока с природными факторами при различном антропогенном воздействии, приведена методика его прогнозирования, дана стокорегулирующая, противоэрозионная и агрономическая оценка отдельных противоэрозионных приемов и их сочетаний во взаимодействии, определены роль и место агролесомелиорации в почвозащитном земледелии, предложена система эффективных мер по защите почв от эрозии.

Методологической основой исследований в противоэрозионной мелиорации является система методов, заимствованных из разных наук (агролесомелиорации, земледелия, почвоведения, гидрологии, физики, химии, математики, геологии, географии и др.), модифицированных в соответствии с поставленными целями и задачами и адаптированных к ним.

Применяемые нами методы исследований опубликованы в работах Г. П. Сурмача, А. Т. Барабанова, Е. А. Гаршинева, А. П. Кузнецово-

ва, В. И. Панова, 1975; Д. Е. Ванина, А. Г. Рожкова, А. В. Посохова, Г. П. Сурмача, А. Т. Барабанова и др., 1980; И. Г. Зыкова, Е. А. Гаршинева, Г. И. Васенкова, А. Т. Барабанова, 1986; А. Т. Барабанова, Е. А. Гаршинеёва, 1987.

При разработке методов исследований и анализа полученных материалов были использованы методики Б. А. Доспехова, 1985; С. М. Ермакова, А. А. Жилиявского, 1987; Г. Н. Зайцева, 1984; С. В. Мельникова, В. Р. Алешина, П. М. Рощина, 1972; Т. Литтла, Ф. Хиллза, 1981; Н. А. Плохинского, 1970; В. Н. Перегудова, 1978; М. М. Протодьяконова, Р. И. Тедера, 1970; Г. П. Сурмача, 1967.

Для гидрологического обоснования агролесомелиорации в почвозащитном земледелии необходимо изучение вопроса о влиянии ее на гидрологический режим территории и в первую очередь на поверхностный сток талых вод. Исследованию поверхностного стока на сельскохозяйственных угодьях в связи с влиянием природных и хозяйственных факторов стали уделять серьезное внимание только в 50-60-х годах XX в. В настоящее время применяют два основных метода: воднобалансовый, который включает метод стоковых площадок, и метод оценки стока по влажности почвогрунтов. Эти методы применяются как для характеристики поверхностного стока, так и для оценки стокорегулирующей роли отдельных противоэрозионных приемов, их сочетаний и целых комплексов.

Анализ литературных данных с целью оценки этих двух методов показал, что большинство исследователей считают возможным применение обоих методов как равнозначных, между тем результаты, получаемые этими методами, часто противоречивы и не сопоставимы, на что впервые обратил внимание Г. П. Сурмач (1968). Дальнейшие исследования подтвердили, что на основе определения влажности почвы нельзя дать оценку стокорегулирующей роли противоэрозионных приемов и тем более комплекса в целом. Для этой цели необходимо применять метод воднобалансовых (стоковых) площадок; термостатно-весовой метод должен играть вспомогательную роль для оценки общего увлажнения почв с целью прогноза стока, динамики запасов влаги за определенный период и др. Из этого мы исходили при проведении исследований и обобщении литературных данных.

Вопрос о методах эрозионно-гидрологических исследований имеет большое значение. В гидрологии (особенно в гидрологии рек) широко распространены статистические и генетические методы. Ста-

тистические методы сыграли большую роль, особенно при недостатке исходных материалов для теоретических исследований. Однако они имеют ряд существенных недостатков, главный из которых невозможность познания генезиса процесса, выявления причинно-следственных связей, а, следовательно, и невозможность регулирования, управления ими. Статистические методы позволяют вести приближенные гидрологические расчеты. С помощью этих методов в свое время удалось быстро удовлетворить запросы гидротехнического строительства. Однако они не могли удовлетворить потребности гидрологии, и для решения фундаментальных проблем требовалось развитие теоретических исследований.

В 30-е годы В. Г. Глушков выдвинул идею географо-гидрологического метода (М. И. Львович, 1963), базирующегося на генетической основе с учетом влияния всех факторов. Этот метод в дальнейшем получил широкое развитие и стал основным в гидрологии. Однако и статистические методы играют еще большую роль, особенно при изучении поверхностного стока с сельскохозяйственных угодий (сельскохозяйственная гидрология), оценке эффективности противоэрозионных приемов и др. В этой области гидрологии пока накоплено мало материала, поэтому регулирование стока и борьба с эрозией осуществляются либо без расчетов, либо на основе приближенных расчетов, что можно делать, применяя статистические методы. Генетический подход пока мало распространен.

В настоящее время все более широкое распространение получает системный подход, позволяющий выявлять связи природных и антропогенных факторов, влияние их на эрозионно-гидрологические процессы и разрабатывать математические модели.

В наших исследованиях и при анализе материалов мы использовали и статистический, и генетический подходы, а также элементы системного подхода. Статистические методы мы применяли для оценки поверхностного стока разной вероятности превышения с сельскохозяйственных угодий, выявления стокорегулирующей, противоэрозионной и агрономической эффективности различных приемов, элементов противоэрозионного комплекса и их сочетаний и др. Генетический и системный подходы использовали при изучении закономерности формирования стока и эрозии. Дело в том, что характер формирования стока, процессов смыва урожая сельскохозяйственных культур – главных показателей оценки антропогенного воздействия

на них – обусловлен многими природными факторами (снегозапасы, характер увлажнения и промерзания почвы, погодные условия и др.) и хозяйственной деятельностью людей, действующими в совокупности. Важно знать не только цену того или иного воздействия, а и как, через какие факторы и показатели оно происходит. Это позволяет научиться управлять процессами, разрабатывать новые приемы борьбы с эрозией почв.

В настоящей работе приведены и проанализированы многолетние литературные данные, результаты исследований автора за период с 1964 по 1990 гг. и материалы, полученные под руководством и по разработанным автором программам и методикам в разные периоды Ф. А. Абдульмановым, В. И. Антоновым, В. П. Борцом, И. И. Гункиным, Т. Г. Глыбиным, С. Г. Кириченко, Ю.Н. Коблевым, Л. Я Королёвой, М. М. Ломакиным, Н. Е. Петелько, А. И. Петелько, В. И. Победённым, Е. Я. Тубольцевым, В. М. Уваровым. Выражаю им большую благодарность.

Хочу выразить особую признательность своему учителю профессору Георгию Пантелеймоновичу Сурмачу, работы которого и многолетнее сотрудничество с которым оказали большое влияние на формирование моих взглядов, выбор направления и подготовку настоящей работы. Очень признателен Е. А. Гаршиневу, многолетнее общение и сотрудничество с которым было для меня весьма полезным. Благодарен также своим коллегам по совместной работе.



## **ГЛАВА 1**

### **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА ТАЛЫХ ВОД**

#### **1.1. Роль природных факторов в формировании стока**

Планирование мер борьбы с эрозией почв должно осуществляться на основе знания закономерностей формирования поверхностного стока. Известно, что важнейшими факторами, влияющими на формирование стока, как правило, комплексно, во взаимодействии, являются увлажнение почвы перед снеготаянием, величина запасов воды в снеге, глубина промерзания почвы, интенсивность и продолжительность снеготаяния. В литературе эти факторы в основном рассматриваются без учета совокупности их влияния (И. А. Кузник, 1962; Г. Ф. Басов и М. К. Грищенко, 1963; С. И. Небольсин и П. П. Надеев, 1937; И. П. Сухарев, 1966; М. И. Львович, 1963; М. И. Львович и А. М. Грин, 1963; А. И. Чеботарёв и С. И. Харченко, 1962 и др.). Причем взгляды разных исследователей в значительной степени отличаются и даже бывают противоположными. И. А. Кузник (1962) считает влияние снегозапасов на сток неоднозначным, так как, с одной стороны, оазисное снегозадержание может способствовать предотвращению стока, а с другой – при повсеместном проведении оно не отразится на коэффициенте стока. Г. Ф. Басов и М. Н. Грищенко (1963), исследуя этот вопрос в Воронежской обл., пришли к выводу, что с увеличением снегозапасов коэффициент стока увеличивается. С. И. Небольсин и П. П. Надеев (1937), проводя многолетние исследования в Московской обл., определили, что с увеличением снегозапасов коэффициент стока уменьшается.

И. П. Сухарев и Е. М. Сухарева (1957) считают, что в ЦЧО с увеличением снегозапасов уменьшается коэффициент, а в некоторых случаях и величина стока. Результаты этих исследований получены в условиях неравномерного распределения снежного покрова под влиянием лесных полос, где в примыкающих к ним зонах откладывались мощные снежные шлейфы. А. И. Чеботарёв и С. И. Харченко (1962) заключили, что снегозапасы прямо влияют на сток весеннего половодья. Г. П. Сурмач (1976) отмечает, что не всегда можно выделить в чистом виде влия-

ние снегозапасов на сток, иногда накладывается действие других факторов. Он приводит обобщенные им результаты исследований многих авторов на серых лесных и каштановых почвах, черноземах типичных, выщелоченных, обыкновенных и южных, которые указывают на то, что с увеличением запасов снеговой воды сток, как правило, возрастает, одновременно во многих случаях повышается и коэффициент стока. Им также на основании результатов исследований в районе Тимашево Самарской обл. установлена математическая связь стока  $У$  со снегозапасами  $X$ :  $У = 0,136x + 35,7$ . На основании анализа этих связей Г. П. Сурмач пришел к выводу, что при разнообразии гидрометеорологических условий и агротехники взаимосвязь между мощностью снежного покрова и стоком проявляется по-разному. Для черноземностепной и каштановой зон он выделил 5 групп сочетаний погодных условий и на основе их анализа разработал схему прогнозирования стока (Г. П. Сурмач, 1969) на качественном уровне (слабый, умеренный и т. д.). Е. В. Полуэктов (1954), проведя подобный анализ в условиях североприазовских черноземов Ростовской обл., объединил различные сочетания факторов в 4 группы и предложил метод прогноза стока с зяби и уплотненной пашни на качественном уровне. Обоим авторам удалось глубоко и всесторонне проанализировать связь стока талых вод с природными и антропогенными факторами, но прогноз стока не был формализован. Г. П. Сурмач (1989) писал: "... прогнозирование стока талых вод, основанное на учете степени увлажнения почвы и погодных условий осенне-зимнего периода (температура воздуха, осадки, наличие оттепелей), не имеет строгой расчетной основы, и поэтому точность этого способа невысока".

В формализованном виде метод прогноза стока рек за период половодья, который можно использовать с определенными допущениями для прогноза поверхностного стока, предложили Б. А. Аполлов, Г. Л. Калинин, В.Д. Комаров (1974) на основе анализа связи водопоглотительной способности почвы бассейна перед началом снеготаяния с природными факторами. В. В. Демидов (1983), Г. П. Сурмач, М. М. Ломакин, А. П. Шестакова (1989) выявили количественную связь коэффициента стока с природными факторами (увлажнение почвы, глубина промерзания, снегозапасы, среднесуточная температура воздуха, продолжительность снеготаяния) и представили ее в виде математических уравнений. Однако эти обобщения и анализ связи стока талых вод с природными факторами, а также методы его про-

гнозирования не дают возможности однозначно определить роль тех или иных факторов в формировании стока, дать точный его прогноз и выявить пути воздействия на них с целью регулирования эрозионно-гидрологических процессов.

### 1.1.1. Роль природных факторов в формировании стока на серых лесных почвах юга ЦРНЗ

За 26 лет наблюдений (1964, 1966-1990 гг.) на Новосильской ЗАГЛОС им. А.С. Козменко (Орловская обл.) мы осуществили корреляционный и регрессионный анализ связи слоя стока талых вод на зяби и уплотненной пашне (озимые и многолетние травы) с запасами воды в снеге и почве (в слое 0-50 см) перед снеготаянием, глубиной ее промерзания и продолжительностью снеготаяния. Для анализа использовались приведенные в табл. 1.1 материалы Е. А. Гаршинева (1964 и 1966); А. Т. Барабанова, М.М. Ломакина, Е. Я. Тубольцева (1967-1975); Н. Е. Петелько (1976-1979); В.П. Борца (1980); А. И. Петелько, В. П. Борца (1981-1984); А. Т. Барабанова, Ю. Н. Кobleва, А. И. Петелько, В. А. Ивановой (1985-1990).

Парный корреляционный анализ связи стока на зяби с каждым из перечисленных факторов показал, что связь слоя стока с продолжительностью снеготаяния очень слабая (коэффициент корреляции  $R = 0,22$ ), поэтому множественный регрессионный анализ с участием этого фактора мы не осуществляли. Слабое влияние продолжительности снеготаяния на сток объясняется тем, что период снеготаяния на Новосильской ЗАГЛОС большой (10-27 дней) и его минимальной продолжительности (10 дней) достаточно, чтобы верхний слой почвы (0-30 см) увлажнился до наименьшей и даже полной влагоемкости, т. е. в почву поглощалось максимально возможное количество воды, а остальная стекала. Таким образом, более мощное воздействие на формирование стока оказывали другие факторы. Рассмотрим их влияние.

Глубина промерзания почвы. С этим фактором связь поверхностного весеннего стока сложная. Если почва талая или глубина ее промерзания не превышает 50 см, то сток не формируется совсем или бывает незначительный независимо от уровня увлажнения почвы, снеготаяния и продолжительности снеготаяния. На Новосильской ЗАГЛОС им. А. С. Козменко отмечено 11 из 26 лет с

такими условиями промерзания почвы (1966, 1968, 1975, 1977, 1978, 1980, 1981-1983, 1985, 1989), что соответствует годам 40 %-ной вероятности превышения.

Таблица 1.1

**Показатели стока с зяби и факторов, обуславливающих его формирование, на серых лесных почвах юга ЦРНЗ**

Год	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, см	Продолжительность снеготаяния, сут.
		в почве (0-50 см)	в снеге		
1964	52	151	211	60	10
1966	1	157	108	0	18
1967	150	248	196	76	20
1968	0	123	150	29	11
1969	22	175	52	182	23
1970	82	183	191	137	23
1971	52	165	154	100	18
1972	22	166	60	160	-
1973	31	190	70	97	-
1974	50	193	64	124	3
1975	0	154	86	30	14
1976	0	123	113	130	-
1977	2	132	114	30	22
1978	0	201	177	45	-
1979	41	174	137	68	-
1980	0	153	158	30	13
1981	0	172	104	38	-
1982	0	184	101	50	-
1983	0	166	111	40	-
1984	3	129	51	120	-
1985	0	173	120	10	-
1986	32	175	80	110	11
1987	33	152	153	69	14
1988	21	137	118	60	10
1989	0	168	41	0	-
1990	21	190	44	68	5

Запасы воды в почве (в слое 0-50 см) в эти годы колебались от 123 до 201 мм, снегозапасы от 86 до 177 мм, а продолжительность снеготаяния от 10 до 18 дней, то есть при варьировании всех факторов

в широком диапазоне сток талых под не формируется или бывает очень слабый (2-3 мм). При глубине промерзания почвы свыше 50 см сток (формируется в зависимости от уровня увлажнения (льдистости) почвы и снегозапасов, что рассмотрено ниже.

**Влажность почвы.** При запасах воды в слое 0-50 см мерзлой почвы менее 123-129 мм (1968, 1976, 1984 гг.) стока не было или он составлял 3 мм независимо от снегозапасов и глубины промерзания почвы (свыше 50 см). Запасы воды в снеге изменялись от 51 до 113 мм, а глубина промерзания от 120 до 130 см. В 1968 г. при низком уровне увлажнения (123 мм) почва была талой и лишь местами промерзала до 20-30 см. В этом году минимальными были увлажнение почвы и глубина промерзания, поэтому при высоких снегозапасах (150 мм) сток не формировался.

В годы с глубиной промерзания почвы более 50 см (1964, 1967, 1969-1974, 1979, 1986-1988, 1990 гг.), что соответствует 60 %-ной вероятности превышения, и запасами воды в ней свыше 151 мм (70 %-ной вероятности превышения) при снегозапасах 44-211 мм (вероятность превышения 92-4 %) величина стока колебалась от 22 до 150 мм (вероятность превышения 70-3 %).

Множественный корреляционно-регрессионный анализ связи стока на зяби  $U_3$  с увлажнением почвы  $W_{\text{п}}$  и снегозапасами перед снеготаянием  $W_{\text{с}}$ , а также с глубиной ее промерзания  $H$  при этих условиях позволил получить следующее уравнение регрессии:

$$U_3 = -206 + 1,06W_{\text{п}} + 0,41W_{\text{с}} + 0,14H. \quad (1.1)$$

Коэффициенты регрессии показывают, что сток в основном зависит от увлажнения мерзлой почвы и снегозапасов перед снеготаянием. При глубине промерзания почвы более 50 см она практически не оказывает влияния на сток, т. е. дальнейшее увеличение глубины промерзания не приводит к увеличению стока. Поэтому, исключив этот фактор, мы провели регрессионный анализ с тремя переменными  $U_3 = f(W_{\text{п}}, W_{\text{с}})$  и получили следующее уравнение регрессии (рис. 1.1):

$$U_3 = -165 + 0,95W_{\text{п}} + 0,38W_{\text{с}}, (R = 0,97 \pm 0,001). \quad (1.2)$$

Анализ связи стока на уплотненной пашне с указанными природными факторами (табл. 1.2) показал, что при глубине промерзания почвы до 50 см сток обычно не формируется. Таких лет было 9 из 21 исследуемого года. Запасы воды в почве в эти годы колебались от 124 до 233 мм, (95-3 %-ная вероятность превышения), а снегозапасы от 101 до 194 мм (65-8 %-ная вероятность превышения).



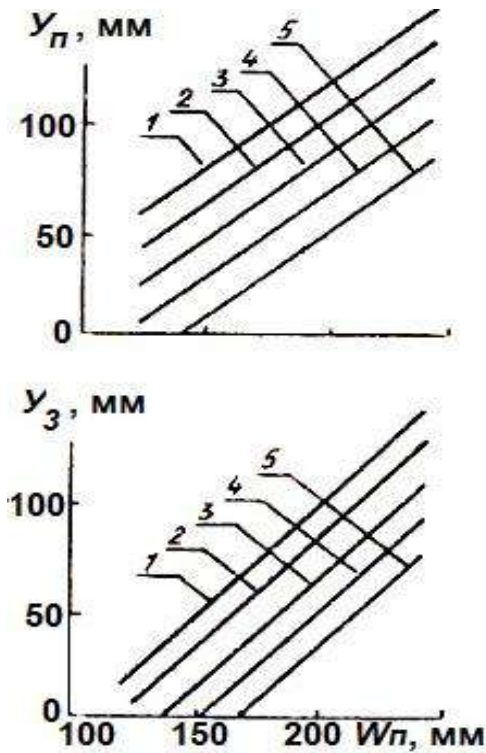


Рис. 1.1 Графики связи стока  $Y_n$  и  $Y_z$  с факторами  $W_n$  и  $W_c$  на серых лесных почвах ЦРНЗ при глубине промерзания свыше 50 см: 1 –  $W_c = 200$  мм, 2 –  $W_c = 160$  мм, 3 –  $W_c = 120$  мм, 4 –  $W_c = 80$  мм, 5 –  $W_c = 40$  мм

$$Y_n = -71 + 0,44W_n + 0,41W_c, (R = 0,86 \pm 0,001). \quad (1.4)$$

Расчет стока по уравнениям (1.2) и (1.4) дает довольно близкую сходимость с экспериментальными данными (табл. 1.3).

Таким образом, главными природными факторами, обуславливающими величину стока талых вод на юге Центрального района Нечерноземной зоны РФ, являются увлажнение почвы, снеготаяние и глубина промерзания почвы. Сток формируется при обязательном сочетании этих факторов. Талая и промерзшая до 50 см почва независимо от увлажнения обладает высокой впитывающей способностью, обеспечивающей поглощение всей снеговой воды. Замерзание почвы на глубину более 50 см обуславливает формирование стока, причем на его величину решающее влияние оказывает влажность почвы и запасы воды в снеге. Увеличение глубины промер-

В годы с глубиной промерзания почвы свыше 50 см (65-%-ная вероятность превышения) и запасами воды в ней (в слое 0-50 см) более 156 мм (60 %-ная вероятность превышения) величина стока колебалась от 10 до 96 мм (95-25 %-ная вероятность превышения).

Для установления структуры связей стока  $y_n$  с запасами воды в почве  $W_n$ , снеготаянием перед снеготаянием  $W_c$  и глубиной промерзания  $H$  был применен корреляционно-регрессионный анализ с четырьмя переменными. Получено уравнение регрессии:

$$Y_n = -71 + 0,44W_n + 0,41W_c + 0,0006H, (R = 0,86 \pm 0,01). \quad (1.3)$$

Значения коэффициентов регрессии и корреляции свидетельствуют о практически полном отсутствии связи стока с глубиной промерзания более 50 см. Главную роль в формировании стока играет увлажнение мерзлой почвы и запасы воды в снеге. В результате корреляционно-регрессионного анализа связи стока с этими факторами получено уравнение (см. рис. 1.1):

зания от 50 до 182 см практически не сказывается на величине стока. При слабом увлажнении почвы (запасы воды в слое 0-50 см меньше 129 мм) стока на зяби или не бывает или слой его составляет 2-3 мм. На уплотненной пашне сток может формироваться и при небольших влагозапасах в почве. Наибольшее значение из рассмотренных факторов имеет увлажнение мерзлой почвы.

Таблица 1.2

**Показатели стока с уплотненной пашни и факторов, обуславливающих его формирование, на серых лесных почвах юга ЦРНЗ**

Год	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, см	Продолжительность снеготаяния, сут.
		в почве (0-50 см)	в снеге		
1966	1	189	101	0-10	-
1967	55	156	127	80	20
1968	0	124	161	0-8	11
1969	46	173	77	165	23
1970	96	171	203	75	23
1971	42	Нет данных	74	100	-
1972	15	157	37	100	-
1973	38	168	63	100	-
1974	44	Нет данных	49	104	3
1975	0	Нет данных	Нет данных	30	14
1976	0	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
1977	0	172	174	45	22
1978	0	163	194	50	-
1979	64	167	132	80	-
1980	0	152	153	35	13
1981	0	233	122	0	-
1982	0	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
1983	0	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
1985	2	166	113	10	11
1986	25	180	77	110	-
1987	42	118	149	69	16
1988	29	161	132	60	5

**1.1.2. Роль природных факторов в формировании стока на серых лесных почвах и черноземах ЦЧО**

Для анализа связи стока талых вод с природными факторами на серых лесных почвах и черноземах ЦЧО (табл. 1.6) были использованы

Таблица 1.3

**Экспериментальные и рассчитанные по уравнениям регрессии величины стока с зяби и уплотненной пашни на юге ЦРНЗ, мм**

Год	Зябь				Уплотненная пашня			
	экспериментальные	расчетные	отклонения		экспериментальные	расчетные	отклонения	
			мм	%			мм	%
1964	52	57	+5	+11	-	-	-	-
1967	150	144	-6	-4	55	50	-5	-9
1969	22	20	-2	-8	46	37	-9	-20
1970	82	81	-1	-2	96	88	-8	-8
1971	52	49	-3	-6	-	-	-	-
1972	22	14	-8	-36	15	13	-2	-13
1973	31	41	+10	+32	38	29	-9	-24
1974	50	42	-8	-16	-	-	-	-
1979	41	51	+10	+24	64	57	-7	-11
1986	32	31	-1	-4	25	40	+15	+59
1987	33	37	+4	+11	42	42	0	0
1988	21	9	-12	-56	29	25	-4	-13
1990	21	31	+10	+49	-	-	-	-

материалы М. М. Ломакина, 1980; Н. Ф. Гончарова, 1983; В. А. Порядина, 1985; А. И. Крупчатникова, А. Т. Барабанова, В. С. Ананьева, Н. Г. Сапрыкина, Н. Г. Перелейводы, 1986 (табл. 1.4-1.5), а также "Материалы наблюдений научно-исследовательской гидрометеорологической обсерватории Каменная степь" (вып. 1-23 за 1951-1986 гг.).

Множественный корреляционно-регрессионный анализ показал, что связь стока с зяби и уплотненной пашни на черноземах и на серых лесных почвах с продолжительностью снеготаяния слабая (парные коэффициенты корреляции колеблются от -0,40 до 0,64). Причины этого были проанализированы выше.

С глубиной промерзания почвы связь стока сложная. Когда промерзание серой лесной почвы не наблюдается или оно небольшое, сток отсутствует. При глубине промерзания почвы до 35 см и небольших снегозапасах (48 мм) стока с зяби в 1975 г. не было, а при такой же глубине промерзания и снегозапасах 130 мм в 1977 г. величина его составила 25 мм. Связь стока с глубиной промерзания в диапазоне 47-156 см слабая (коэффициенты корреляции колебались от 0,22 до -

0,57), то есть связь даже была отрицательная, хотя, по существу, она должна быть только положительной.

Таким образом, более мощное воздействие на формирование стока  $U$  оказывали увлажнение почвы в слое 0-50 см  $W_{\Pi}$  и снеготаяния  $W_c$  перед снеготаянием. Поэтому мы провели корреляционно-регрессионный анализ связи стока с этими факторами и получили следующие уравнения связи (рис. 1.2, 1.3):

Таблица 1.4

**Показатели стока с зяби и уплотненной пашни и факторов, обуславливающих его формирование, на черноземах Курской обл.**

Год	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, см	Продолжительность снеготаяния, сут.
		в почве (0-50 см)	в снеге		
<i>Зябь, склон южной экспозиции</i>					
1981	22	184	104	47	5
1982	33	246	80	76	12
1983	19	169	87	53	3
1984	0	180	28	106	16
1985	15	158	113	127	11
<i>Склон северной экспозиции</i>					
1981	21	208	98	63	7
1982	20	186	75	78	4
1983	10	170	60	67	6
1984	2	172	57	119	18
1985	14	226	148	111	11
<i>Уплотненная пашня, склон южной экспозиции</i>					
1976 <sup>x)</sup>	3	106	128	92	3
1978	17	182	33	105	11
1979	58	212	75	81	14
1979 <sup>x)</sup>	73	187	140	86	10
1980	44	172	69	89	9
1981	55	188	87	62	8
<i>Склон северной экспозиции</i>					
1979	77	182	89	77	9
1980	70	192	89	79	5
1981	52	202	88	50	7
1982	39	194	93	52	12

<sup>x)</sup> Данные получены на серых лесных почвах.

Таблица 1.5

**Показатели стока с зяби и факторов, обуславливающих его формирование, на серых лесных почвах Курской обл.**

Год	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, см	Продолжительность снеготаяния, сут.
		в почве (0-50 см)	в снеге		
1972	4	167	16	156	3
1973	22	231	44	95	5
1974	24	197	76	100	9
1975	0	220	48	35	15
1977	25	216	130	35	15
1978	81	221	100	100	16
1980	38	189	101	92	4

Таблица 1.6

**Показатели стока с зяби и уплотненной пашни и факторов, обуславливающих его формирование, на обыкновенных черноземах Воронежской обл.**

Год	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, см	Продолжительность снеготаяния, сут.
		в почве (0-50 см)	в снеге		
<i>Зябрь</i>					
1952	68	166	81	70	21
1953	58	195	109	60	15
1954	4	188	27	100	16
1956	6	111	130	60	16
1968	35	143	120	50	12
1969	9	188	26	100	17
1981	11	188	78	40	7
1982	2	213	34	42	3
1983	9	175	42	46	5
1984	9	218	41	50	12
1985	24	211	101	40	12
<i>Уплотненная пашня</i>					
1953	92	178	112	80	13
1954	3	101	18	50	16
1956	70	94	133	60	20
1959	46	148	56	55	17
1964	84	169	116	64	15
1965	30	168	36	64	11
1969	15	149	23	72	29
1980	44	181	64	70	7



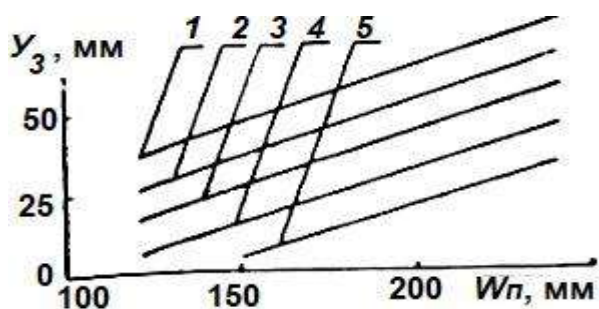


Рис. 1.2. График связи стока  $Y_3$  с факторами  $W_{п}$  и  $W_{с}$  на серых лесных почвах ЦЧО при глубине промерзания свыше 35 см:

1 –  $W_{с} = 200$  мм, 2 –  $W_{с} = 160$  мм, 3 –  $W_{с} = 120$  мм, 4 –  $W_{с} = 80$  мм, 5 –  $W_{с} = 40$  мм

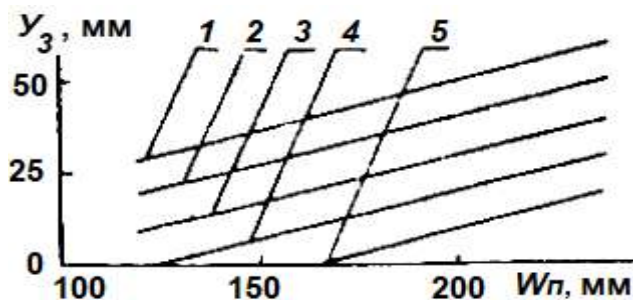
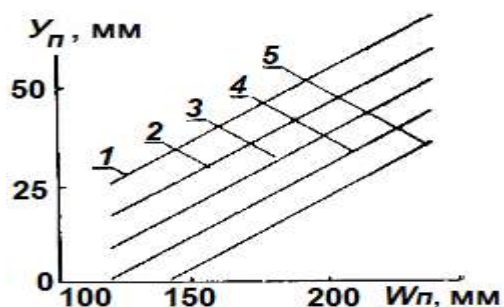


Рис. 1.3. Графики связи стока  $Y_{п}$  и  $Y_3$  с факторами  $W_{п}$  и  $W_{с}$  на типичном черноземе ЦЧО при глубине промерзания свыше 47 см: 1 –  $W_{с} = 200$  мм, 2 –  $W_{с} = 160$  мм, 3 –  $W_{с} = 120$  мм, 4 –  $W_{с} = 80$  мм, 5 –  $W_{с} = 40$  мм

на серой лесной почве

$$Y_3 = -57 + 0,34W_{п} + 0,26W_{с}, \quad (1.5)$$

(множественный коэффициент корреляции  $R = 0,61$ , ошибка  $m_R = \pm 0,26$ );

на типичном черноземе

$$Y_3 = -50 + 0,25W_{п} + 0,25W_{с}, \quad (R = 0,92, m_R = \pm 0,05); \quad (1.6)$$

$$Y_{п} = -116 + 0,71W_{п} + 0,41W_{с}, \quad (R = 0,74, m_R = \pm 0,08). \quad (1.7)$$

Расчет стока по уравнениям (1.5), (1.6) и (1.7) дает неплохую сходимость с экспериментальными данными (табл. 1.7). Большие расхождения в отдельных случаях, видимо, связаны с относительно малыми рядами наблюдения. Дальнейшие исследования могут позволить уточнить модель связи стока с природными факторами.

Итак, важнейшими природными факторами формирования поверхностного стока талых вод являются увлажнение почвы и снеготаяние перед снеготаянием.

На обыкновенных черноземах Воронежской обл. корреляционно-регрессионный анализ также показал слабую связь стока талых вод с продолжительностью снеготаяния ( $R = 0,21, m_R = \pm 0,22$ ) и глубиной промерзания почвы свыше 40 см ( $R = -0,01, m_R = \pm 0,005$ ). Если почва талая, то сток не формируется. Связь стока  $Y_3$  и  $Y_{п}$  с увлажнением

верхнего 50-сантиметрового слоя почвы  $W_n$  и снегозапасами перед снеготаянием  $W_c$  выражается следующими уравнениями (рис. 1.4):

$$Y_3 = -40 + 0,19W_n + 0,38W_c \quad (R = 0,54 \pm 0,21); \quad (1.8)$$

$$Y_n = -12 + 0,06W_n + 0,69W_c \quad (R = 0,91 \pm 0,06). \quad (1.9)$$

Таблица 1.7

**Экспериментальные и рассчитанные по уравнениям регрессии величины стока с зяби и уплотненной пашни на серых лесных почвах и типичных черноземах ЦЧО, мм**

Год	Зябь			Год	Уплотненная пашня				
	экспериментальные	расчетные	отклонения мм    %		экспериментальные	расчетные	отклонения мм    %		
<i>Серая лесная почва, склон южной экспозиции</i>									
1972	4	4	0    0	-	-	-	-	-	-
1973	22	34	12    54	-	-	-	-	-	-
1974	24	30	6    25	-	-	-	-	-	-
1977	25	36	11    44	-	-	-	-	-	-
1978	81	44	-37   -46	-	-	-	-	-	-
1980	38	34	-4    -10	-	-	-	-	-	-
<i>Типичный чернозем, склон южной экспозиции</i>									
1981	22	22	0    0	1976 <sup>х)</sup>	3	12	9	300	
1982	33	32	-1    -3	1978	17	27	10	58	
1983	19	14	-5    -26	1979	58	65	7	12	
1984	0	2	2    -	1979 <sup>х)</sup>	73	74	1	1	
1985	15	18	3    20	1980	44	34	-10	-22	
<i>Типичный чернозем, склон северной экспозиции</i>									
1981	21	26	5    19	1979	77	50	-27	-35	
1982	20	15	-5    -25	1980	70	57	-13	-18	
1983	10	8	-2    -20	1981	52	63	11	21	
1984	2	7	5    250	1982	39	60	21	54	

<sup>х)</sup> Данные получены на темно-серых лесных почвах.

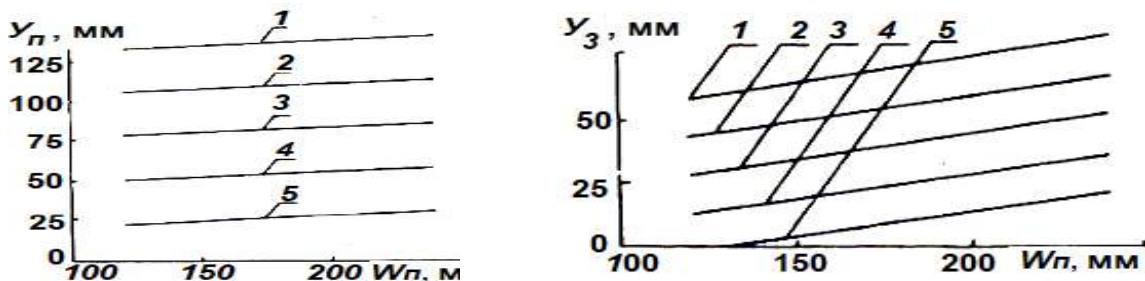


Рис. 1.4. Графики связи стока  $Y_n$  и  $Y_3$  с факторами  $W_n$  и  $W_c$  на обыкновенном черноземе ЦЧО при глубине промерзания свыше 40 см: 1 –  $W_c = 200$  мм, 2 –  $W_c = 160$  мм, 3 –  $W_c = 120$  мм, 4 –  $W_c = 80$  мм, 5 –  $W_c = 40$  мм

Расчет стока по уравнениям (1.8) и (1.9) дает неплохую сходимость с экспериментальными данными (табл. 1.8).

Таблица 1.8

**Экспериментальные и рассчитанные по уравнениям регрессии величины стока с зяби и уплотненной пашни на обыкновенных черноземах ЦЧО, мм**

Год	Зябь				Год	Уплотненная пашня			
	экспериментальные	расчетные	отклонения			экспериментальные	расчетные	отклонения	
			мм	%				мм	%
1952	68	22	-46	-68	1953	92	84,0	-8,0	-9,0
1953	58	39	-19	-32	1954	3	0,4	-2,6	-8,7
1954	4	6	2	50	1956	70	74,0	4,0	6,0
1956	6	30	24	400	1959	46	39,0	-7,0	-15,0
1968	35	33	-2	-6	1964	84	84,0	0	0
1969	9	6	-3	-33	1965	30	31,0	1,0	3,0
1981	11	25	14	127	1969	15	17,0	2,0	13,0
1982	2	14	12	600	1980	44	53,0	9,0	20,0
1983	9	9	0	0					
1984	9	17	8	89					
1985	24	38	14	58					

Большие расхождения по отдельным расчетным и экспериментальным величинам стока с зяби, видимо, связаны с некорректностью некоторых данных, приведенных в "Материалах наблюдений научно-исследовательской гидрометеорологической обсерватории Каменная степь". Получение дополнительных данных позволит уточнить уравнения.

**1.1.3. Роль природных факторов в формировании стока на обыкновенных черноземах, каштановых и светло-каштановых почвах Поволжья**

При анализе роли природных факторов в формировании стока талых вод в Поволжье использованы материалы исследований автора, И. И. Гункина, Ф. А. Абдульманова, В. И. Антонова, полученные под руководством автора, данные Г. С. Боброва, В. И. Панова, В. Е. Величкина, Е. И. Куницкого, В. П. Борца, Н. М. Пынзарю, полученные под руководством и с участием Г. П. Сурмача, а также данные В. В. Бондаренко.

Следует оговориться, что проведенный анализ менее точный, так как в этом регионе мы располагаем относительно малым рядом наблю-

дений, причем в большинстве случаев сток не формировался. Поэтому трудно назвать причину (низкое увлажнение и небольшая глубина промерзания почвы) отсутствия стока в данный конкретный год.

Показатели стока и обуславливающих его факторов на зяби и уплотненной пашне для обыкновенных черноземов Самарской обл. приведены в табл. 1.9. Анализ этих данных показывает, что на зяби зачастую стока нет или он незначительный. Это объясняется в основном увлажнением почвы перед снеготаянием и глубиной промерзания. При глубине промерзания почвы до 70 см и увлажнении от 96 до 147 мм сток не формируется независимо от количества снеготаяния. При глубине промерзания свыше 80 см сток зависит только от увлажнения почвы и снеготаяния.

Таблица 1.9

**Показатели стока с зяби и уплотненной пашни и факторов, обуславливающих его формирование, на обыкновенных черноземах Самарской обл.**

Год	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, см	Продолжительность снеготаяния, сут.
		в почве (0-50 см)	в снеге		
<i>Зябь</i>					
1960	0	177	57	Нет данных	23
1961	0	124	62	60	10
1962	0	147	30	70	5
1967	1	Нет данных	51	Нет данных	-
1968	22	111	70	150	-
1969	0	101	49	150	2
1970	8	120	73	150	-
1971	5	116	48	150	-
1972	0	96	124	150	-
1973	6	113	54	80	9
1974	12	Нет данных	77	Нет данных	12
1975	0	107	73	87	-
<i>Уплотненная пашня</i>					
1967	3	Нет данных	55	Нет данных	-
1968	38	211	62	150	-
1969	39	199	94	140	-
1969	6	95	74	150	2
1971	44	116	74	150	-
1973	55	170	112	80	9

Регрессионный анализ показал, что связь стока талых вод с увлажнением верхнего полуметрового слоя почвы и снегозапасами перед снеготаянием выражается уравнением:

$$Y_3 = -53 + 0,51W_{\text{п}} + 0,04W_{\text{с}}, (R = 0,48). \quad (1.10)$$

Данные по стоку и обуславливающим его факторам на уплотненной пашне имеются только в годы с глубиной промерзания свыше 80 см, тогда на сток оказывали влияние в основном увлажнение почвы перед снеготаянием и снегозапасы. В результате регрессионного анализа получено уравнение:

$$Y_{\text{п}} = -24 + 0,17W_{\text{п}} + 0,40W_{\text{с}}, (R = 0,92). \quad (1.11)$$

Расчет стока по уравнениям (1.10) и (1.11) дает относительно близкую сходимость с экспериментальными данными, особенно по зяби (табл. 1.10). На уплотненной пашне отмечается большое отклонение при малой величине стока.

Графически эти уравнения аппроксимируются прямыми, изображенными на рис. 1.5.

Таблица 1.10

**Экспериментальные и рассчитанные по уравнениям регрессии величины стока с зяби и уплотненной пашни на обыкновенных черноземах Самарской обл., мм**

Год	Зябрь				Год	Уплотненная пашня			
	экспериментальные	расчетные	отклонения			экспериментальные	расчетные	отклонения	
			мм	%				мм	%
1968	22	20	-2	-8	1968	38	37	-1	-3
1970	8	9	1	8	1968	39	48	9	22
1971	5	2	-3	-52	1969	6	22	-16	-266
1973	6	10	4	61	1971	44	26	-18	-41
					1973	55	50	-4	-9

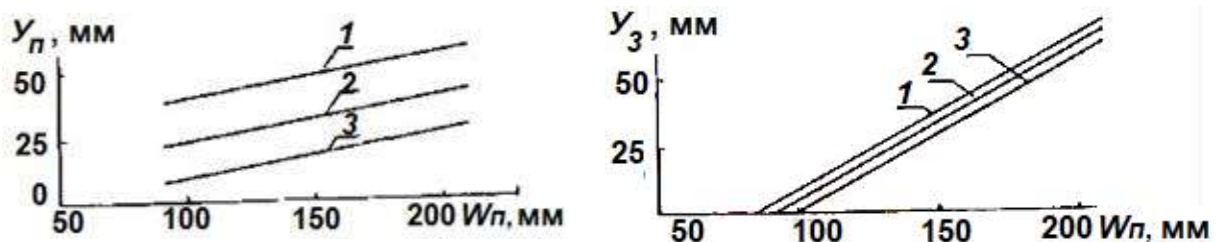


Рис. 1.5. Графики связи стока  $Y_{\text{п}}$  и  $Y_3$  с факторами  $W_{\text{п}}$  и  $W_{\text{с}}$  на обыкновенном черноземе Поволжья при глубине промерзания свыше 60 см: 1 –  $W_{\text{с}} = 120$  мм, 2 –  $W_{\text{с}} = 80$  мм, 3 –  $W_{\text{с}} = 40$  мм

Показатели стока и обуславливающих его факторов на зяби и уплотненной пашне для каштановых почв Волгоградской обл. приведены в табл. 1.11. На зяби в 1967 и 1968 гг. почва была сухая и талая, поэтому стока не было, в 1972 и 1973 гг. почва промерзла глубоко, но в связи с тем, что она была сухая, сток тоже не сформировался. И только в 1969 и 1971 гг. сформировался умеренный сток. Регрессионный анализ данных за годы с глубоким промерзанием почвы (83-150 см) позволил получить уравнение:

$$Y_3 = -41 + 0,44W_{\Pi} + 0,39W_c + 0,02H. \quad (1.12)$$

Таблица 1.11

**Показатели стока с зяби и уплотненной пашни и факторов, обуславливающих его формирование, на каштановых почвах Волгоградской обл.**

Год	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, см	Продолжительность снеготаяния, сут.
		в почве (0-50 см)	в снеге		
<i>Зябь</i>					
1967	0	61	108	0	-
1968	0	47	124	5	15
1969	17	74	52	150	-
1971	31	101	73	110	-
1971	30	100	53	110	-
1972	0	77	14	150	-
1973	0	50	44	83	-
1982	5	87	55	-	-
1983	15	83	40	-	-
1984	0	66	17	-	-
1985	20	71	66	-	-
1986	36		71	-	26
1987	0	70	141	33	15
1988	21	88	47	56	31
1989	4		47	65	12
1990	19	92	40	57	3
<i>Уплотненная пашня</i>					
1967	0	49	99	0	-
1968	0	46	111	5	-
1969	31	67	48	> 150	-
1971	45	128	61	83	-
1972	0	85	21	150	-

Парные коэффициенты корреляции  $R_{yW_{\Pi}}$ ,  $R_{yW_c}$  и  $R_{yH}$ , соответственно равны 0,87; 0,81 и  $-0,08$ ; множественные  $R_{yW_{\Pi}W_c}$  и  $R_{yW_{\Pi}W_cH}$  0,98, что свидетельствует об отсутствии связи стока с глубиной промерзания в диапазоне 83-150 см и высокой степени связи с увлажнением почвы и снегозапасами.

Проведя регрессионный анализ с двумя факторами, получили следующее уравнение (коэффициенты корреляции: парные 0,87 и 0,81; множественный 0,96):

$$Y_3 = -27 + 0,38W_{\Pi} + 0,29W_c. \quad (1.13)$$

На уплотненной пашне два года (1967, 1968) почва была талая и стока не было. Регрессионный анализ связи стока с природными факторами за годы с промерзанием почвы 83-150 см позволил получить следующее уравнение (коэффициенты корреляции: парные 0,57 и 0,55; множественный 0,92):

$$Y_{\Pi} = -4 + 0,19W_{\Pi} + 1,14W_c. \quad (1.14)$$

Коэффициент регрессии при показателе глубины промерзания равен нулю, т. е. связи совсем нет. Графически уравнения аппроксимируются прямыми (рис. 1.6).

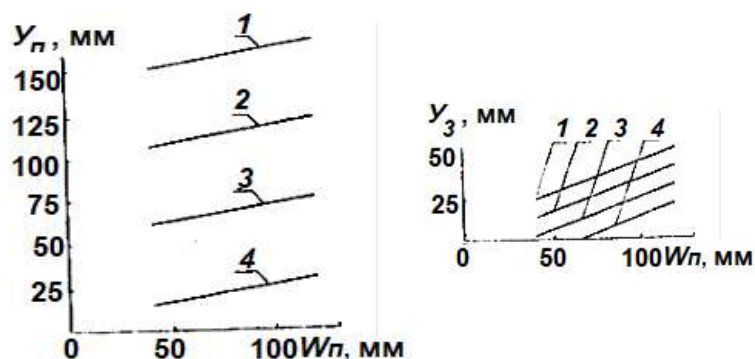


Рис. 1.6. Графики связи стока  $Y_{\Pi}$  и  $Y_3$  с факторами  $W_{\Pi}$  и  $W_c$  на каштановых почвах Поволжья при глубине промерзания свыше 56 см: 1 –  $W_c = 130$  мм, 2 –  $W_c = 90$  мм, 3 –  $W_c = 50$  мм, 4 –  $W_c = 10$  мм

Расчет стока по уравнениям (1.13) и (1.14) отличается высокой точностью (табл. 1.12).

Показатели стока и обуславливающих его факторов на зяби и уплотненной пашне для светло-каштановых почв Волгоградской обл. приведены в табл. 1.13.

Из 21-летних данных на светло-каштановых почвах Волгоградской обл. 4 года (1966, 1967, 1973 и 1974) почва была талая и стока на зяби не было независимо от ее увлажнения и снегозапасов. В годы с глубиной промерзания почвы 52-189 см связь стока с увлажнением и снегозапасами выражается уравнением (коэффициенты корреляции:

парные 0,51 и 0,42, множественный 0,63):

$$Y_3 = -9 + 0,10W_{II} + 0,09W_c. \quad (1.15)$$

Коэффициент корреляции стока с глубиной промерзания – 0,35. На уплотненной пашне два года (1967 и 1973) почва была талая и стока не было. Анализ данных за остальные годы с глубиной промерзания 100-160 см показал, что связь стока на уплотненной пашне с запасами воды в почве и снеге выражается уравнением (коэффициенты корреляции: парные 0,60 и 0,74, множественный 0,84):

$$Y_{II} = -21,9 + 0,26W_{II} + 0,22W_c. \quad (1.16)$$

Таблица 1.12

**Экспериментальные и рассчитанные по уравнения регрессии величины стока с зяби и уплотненной пашни на каштановых почвах Волгоградской обл., мм**

Год	Зябь				Год	Уплотненная пашня			
	экспериментальные	расчетные	отклонения			экспериментальные	расчетные	отклонения	
			мм	%				мм	%
1969	17	17	0	0	1969	31	37	6	19
1971	31	31	0	0	1971	45	40	-5	-12
1971	30	27	-3	-10	1971	-	-	-	-
1972	0	1	1	-	1972	0	3	3	-
1973	0	1	1	-	1973	-	-	-	-
1983	15	17	2	11	1983	-	-	-	-
1985	20	19	-1	-3	1985	-	-	-	-
1988	21	20	-1	-2	1988	31	36	5	16
1990	19	20	1	13	1990	31	22	-9	-27

Коэффициент корреляции стока с глубиной промерзания почвы – 0,55.

Графически уравнения аппроксимируются прямыми (рис. 1.7). Расчет стока по уравнениям (1.15) и (1.16) дает довольно близкую сходимость с экспериментальными данными (табл. 1.14).

Несмотря из то, что данных о продолжительности снеготаяния в Поволжье у нас недостаточно, анализ этих материалов, а также по другим зонам выявил отсутствие связи величины стока с продолжительностью снеготаяния.

Таким образом, в Поволжье важнейшими факторами формирования стока являются снеготаяния, увлажнение и глубина промерзания почвы перед снеготаянием.



Таблица 1.13

**Показатели стока с зяби и уплотненной пашни и факторов, обуславливающих его формирование, на светло-каштановых почвах Волгоградской обл.**

Год	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, см	Продолжительность снеготаяния, сут.
		в почве (0-50 см)	в снеге		
<i>Зябрь</i>					
1964	1	52	32	70	-
1965	4	46	31	52	-
1966	0	57	7	0	-
1967	0	119	155	0	-
1968	16	122	60	100	-
1969	0	99	15	189	-
1969	0	81	7	189	-
1971	0	71	76	100	-
1972	0	94	28	160	-
1973	0	66	45	0	-
1974	0	70	48	0	-
1981	0	-	0	20	-
1982	0	90	17	0	-
1983	0	87	0	30	-
1984	0	64	0	40	-
1985	0	205	39	20	-
1986	7	223	31	30	15
1987	0	73	99	10	20
1988	5	115	44	40	30
1989	3	213	25	40	5
1990	0	64	31	35	8
<i>Уплотненная пашня</i>					
1967	0	98	189	0-15	20
1968	24	110	148	100	-
1968	35	124	151	100	-
1969	3	72	19	150	-
1971	33	120	85	115	-
1972	0	83	23	160	-
1973	0	74	90	0	-
1985	0	-	39	-	-
1986	7	-	32	30	15
1987	0	87	96	20	20
1988	21	116	27	40	30
1989	24	188	62	40	5
1990	5	104	47	10	8

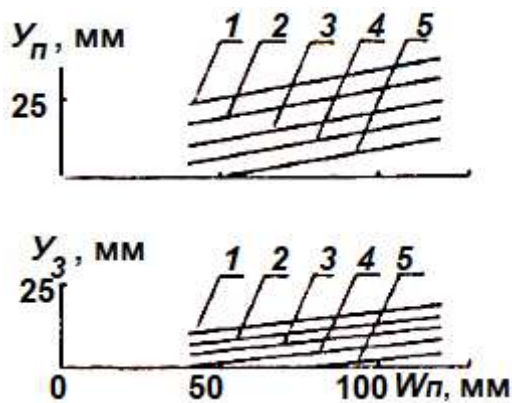


Рис. 1.7. График связи стока  $U_{п}$  и  $U_{з}$  с факторами  $W_{п}$  и  $W_{с}$  на светло-каштановых почвах Поволжья при глубине промерзания свыше 30 см: 1 –  $W_{с} = 170$  мм, 2 –  $W_{с} = 130$  мм, 3 –  $W_{с} = 90$  мм, 4 –  $W_{с} = 50$  мм, 5 –  $W_{с} = 10$  мм

Таблица 1.14

**Экспериментальные и рассчитанные по уравнениям регрессии величины стока с зяби и уплотненной пашни на светло-каштановых почвах Волгоградской обл., мм**

Год	Зябрь				Год	Уплотненная пашня			
	экспериментальные	расчетные	отклонения			экспериментальные	расчетные	отклонения	
			мм	%				мм	%
1964	1	0	-1	-	1968	24	30	6	23
1965	4	-1	-5	126	1968	35	32	-3	-7
1968	16	10	-6	-40	1969	3	3	0	-
1969	0	3	3	-	1971	33	31	-2	-5
1971	0	6	6	-	1972	0	5	5	-
1972	0	4	4	-	1988	21	11	-10	-45
					1989	24	29	5	21
					1990	5	13	8	153

Обобщая изложенное, следует отметить, что литературные данные не позволяют однозначно определить роль тех или иных факторов в формировании стока, дать количественный прогноз и выявить пути воздействия на них с целью регулирования эрозионно-гидрологических процессов. Проведенный нами анализ дал возможность из всего многообразия факторов (у отдельных авторов при разработке моделей учитываются десятки и даже сотни факторов, Ю. Б. Виноградов, 1988) выявить главные (запасы воды в снеге, увлажнение и глубина промерзания почвы) и разработать концепцию лимитирующих факторов (см. разд. 1.1.4). Сток формируется при обязательном сочетании их, однако при некотором уровне (ниже лимитирующего) увлажнения и глубины промерзания почвы (каждого фактора в отдельности) сток не формируется независимо от уровня других факторов.

Таблица 1.15

Уравнения связи слоя стока талых вод на зяби  $U_3$  и уплотненной пашне  $U_n$  с запасами воды  $W_n$  в слое почвы 0-50 см и снегозапасами  $W_c$  перед снеготаянием, мм

Почва	Уравнения связи стока с природными факторами		Множественные коэффициенты корреляции		Ошибки уравнений, мм	
	зябрь	уплотненная пашня	зябрь	уплотненная пашня	зябрь	уплотненная пашня
<i>Орловская обл.</i>						
Серая лесная	$U_3 = -165 + 0,95W_n + 0,38W_c$	$U_n = -71 + 0,44W_n + 0,41W_c$	0,97	0,86	8,2	14,0
<i>Курская обл.</i>						
Серая лесная	$U_3 = -57 + 0,34W_n + 0,26W_c$	нет данных	0,61	-	26,8	-
Типичный чернозем	$U_3 = -50 + 0,25W_n + 0,25W_c$	$U_n = -116 + 0,71W_n + 0,41W_c$	0,92	0,74	4,5	16,0
<i>Воронежская обл.</i>						
Обыкновенный чернозем	$U_3 = -40 + 0,19W_n + 0,38W_c$	$U_n = -12 + 0,06W_n + 0,69W_c$	0,54	0,91	21,5	6,8
<i>Самарская обл.</i>						
Обыкновенный чернозем	$U_3 = -53 + 0,51W_n + 0,04W_c$	$U_n = -24 + 0,17W_n + 0,40W_c$	0,48	0,92	8,4	7,0
<i>Волгоградская обл.</i>						
Каштановая	$U_3 = -27 + 0,38W_n + 0,29W_c$	$U_n = -4 + 0,19W_n + 1,14W_c$	0,96	0,92	7,1	9,2
Светло-каштановая	$U_3 = -9 + 0,1W_n + 0,09W_c$	$U_n = -12 + 0,17W_n + 0,16W_c$	0,64	0,84	5,6	8,7

При увлажнении почвы и глубине ее промерзания выше лимитирующего уровня связь стока талых вод с природными и антропогенными факторами сложная. В обобщенном виде по зонам уравнения этой связи приведены в табл. 1.15. В зональном плане она проявляется по-разному. Хотя и нет четкой закономерности, тем не менее следует отметить, что на юге ЦРНЗ и севере ЦЧО наиболее мощным фактором формирования стока как на зяби, так и на уплотненной пашне является увлажнение почвы; на юге ЦЧО на зяби и уплотненной пашне на величину стока сильнее влияют снегозапасы; в Поволжье на зяби наиболее мощным фактором является увлажнение почвы, а на уплотненной пашне – снегозапасы. На светло-каштановых почвах эта закономерность нарушается (проявляется примерно одинаковое влияние), что, возможно, связано с недостаточным количеством годоопытов и большой пестротой здесь литологического состава почвогрунта.

#### 1.1.4. Концепция лимитирующих факторов и прогноз стока талых вод

На основе обобщения и анализа многолетних (10-35 лет) собственных и литературных данных, характеризующих связь стока талых вод с зяби и уплотненной пашни с природными факторами на юге ЦРНЗ, в ЦЧО и Поволжье, нами разработана и апробирована концепция лимитирующих факторов эрозионно-гидрологического процесса. Суть концепции в том, что при некотором (лимитирующем) значении одного из факторов сток не формируется независимо от уровня других. Определены максимальные значения факторов, при которых сток не формируется. Например, на юге ЦРНЗ, в ЦЧО и Поволжье, если почва талая или промерзла до глубины не более 30-50 см, сток не формируется независимо от уровня увлажнения почвы и количества снегозапасов. Увеличение глубины промерзания почвы выше лимитирующего уровня практически не влияет на величину стока, т. е. при любой глубине промерзания выше лимитирующей сток формируется одинаковый. Решающее влияние на него в этом случае оказывают увлажнение почвы и запасы воды в снеге.

При увлажнении верхнего (0-50 см) слоя почвы до уровня менее 120-130 мм на юге ЦРНЗ и 70-95 мм в Нижнем Поволжье сток также не формируется независимо от глубины промерзания почвы и количества воды в снеге, т. е. лимитирующим фактором является увлажнение почвы.

Почва как саморегулирующаяся система способна поглотить и удержать определенное количество воды (максимум в мерзлом состоянии может достигать величины полной влагоемкости верхнего слоя). Дефицит влаги (разница между полной влагоемкостью и фактически-ми влагозапасами) обуславливает величину водопоглощения. Слой стока  $U$  зависит от дефицита влаги в почве  $\Delta W$  и снегозапасов перед снеготаянием  $W_c$ :

$$U = W_c - \Delta W \text{ или } U = W_c - (W_{пв} - W_{ф}), \quad (1.17)$$

где  $W_{пв}$  – полная влагоемкость верхнего слоя почвы, мм;  $W_{ф}$  – фактические запасы воды в верхнем слое почвы, мм.

Описанные закономерности связи стока талых вод с природными факторами характерны для пашни. Для естественных кормовых угодий на гидрографической сети они изучены недостаточно. Однако можно принять, что условия формирования стока на них примерно такие же, как на уплотненной пашне.

Для условий, когда уровни природных факторов выше лимитирующих, можно рассчитывать (прогнозировать) величину стока талых вод с сельскохозяйственной территории, используя выявленные нами закономерности и связи (см. табл. 1.15). Сначала рассчитывается величина стока для каждого агрофона  $y_i$  по уравнениям, приведенным в табл. 1.15, а затем – для сельскохозяйственной территории как средневзвешенная, пропорционально площади  $S_i$ , занимаемой этими агрофонами. Для расчета стока с сельскохозяйственной территории, на которой применяется почвозащитная система земледелия, можно использовать уравнение:

$$y = \left( \frac{\sum_1^n y_i \cdot S_i}{\sum_1^n S_i} \right) - U_{эл} - U_{за} - U_{эг}, \quad (1.18)$$

где  $U_{эл}$ ,  $U_{за}$ ,  $U_{эг}$  – стокорегулирующий эффект от применения лесомелиоративных, агротехнических и гидротехнических приемов, мм.

Расчет стока по этому уравнению можно осуществлять на юге Центрального района Нечерноземной зоны при глубине промерзания почвы свыше 50 см и запасах воды в ней (для слоя 0-50 см) более 123 мм, в ЦЧО эти параметры должны быть соответственно выше 35 см и 150 мм. Для Поволжья их предстоит уточнить. Ориентировочно можно считать, что глубина промерзания должна быть выше 30-40 см, а запасы вода в слое почвы 0-50 см более 70-100 мм. При меньших параметрах этих показателей сток обычно не формируется.

## **1.2. Влияние антропогенных факторов на закономерности формирования стока талых вод**

Наиболее мощное воздействие на естественные ландшафты оказала земледельческая деятельность человека. В доземледельческий период (300-500 лет назад) эрозионно-гидрологический режим территории сильно отличался от современного. Лесом было занято 10-20 % площади в степи и 30-60 % в лесостепи. На поверхности почвы был степной войлок из травянистой растительности и лесная подстилка. Сама почва обладала водопрочной структурой и высокой водопоглощающей способностью. На целине и в лесу поверхностный сток отсутствовал или был незначительный. Эрозии почв практически не было.

Хозяйственная деятельность человека, и особенно земледельческая (распашка земель, выпас скота и др.), привела к разрушению дернины, уменьшению водопроницаемости почв и ее противоэрозионной устойчивости. В результате значительно возрос сток, что вызвало современную (антропогенную) эрозию. Масштабы ее достигли опасных размеров. Казалось бы, чтобы бороться с эрозией, достаточно вернуться или приблизиться к доземледельческим условиям и проблема будет решена. Но в условиях хозяйственной деятельности людей это невозможно. Поэтому необходимо знать закономерности формирования поверхностного стока в условиях антропогенного воздействия и на этой основе разрабатывать противоэрозионные приемы.

### **1.2.1. Характеристика среднего и разной вероятности превышения весеннего стока на зяби и уплотненной пашне**

При построении комплекса противоэрозионных мероприятий на расчетной основе применяются различные модели определения смыва почвы (Г. И. Швобс, 1974; Ц. Е. Мирцхулава, 1978; Г. П. Сурмач, 1978; В. Д. Иванов, 1984; Е. А. Гаршинев, 1990), составной частью которых являются величины стока разной вероятности превышения. Они используются также при расчете водопоглощения в лесных полосах, при проектировании гидротехнических противоэрозионных сооружений и при других расчетах.

Вероятностная оценка речного стока в гидрологии применяется давно и успешно. В противоэрозионной мелиорации из-за отсутствия рядов длительных наблюдений за поверхностным стоком методы рас-

чета стока разной вероятности превышения не находили применения. Одним из первых их применил Г. П. Сурмач (1976). Он обобщил большой материал по стоку талых вод с зяби и уплотненной пашни в зональном плане. Однако тогда ряды наблюдений за поверхностным стоком были короткие (9-21 год), поэтому на основе статистического анализа не было возможности рассчитывать теоретические кривые вероятности превышения. По мере накопления материалов обобщение их и оценку стока разной вероятности превышения продолжали Г. П. Сурмач, Е. А. Гаршинева, А. Т. Барабанов (1979); В. М. Шадрин (1983); В. П. Герасименко (1985) в ЦЧО и ЦРНЗ; А. В. Лысов, П. И. Проездов (1983) в Саратовской обл.; И. Г. Зыков, Ю. В. Бондаренко, Б. А. Калужский (1984), А. Т. Барабанов (1985) в Волгоградской обл.; В. И. Панов (1978) в Самарской обл.; Е. В. Полуэктов (1984) в Ростовской обл. и др.

Кривые обеспеченности, как правило, строились по эмпирическим точкам, что затрудняло их экстраполяцию. Сейчас имеются длительные ряды наблюдений за поверхностным стоком (30 и более лет), которые позволяют осуществлять статистическую обработку полученных данных и строить теоретические кривые вероятности превышения стока.

Автором при участии Е. А. Гаршинева были обобщены литературные данные по поверхностному стоку с зяби и уплотненной пашни в лесостепи Западной Сибири, на юге ЦРНЗ, в ЦЧО, Поволжье и на Северном Кавказе и построены теоретические кривые обеспеченности. При этом использовали обобщения Г. П. Сурмача (1976), А. В. Лысова и П. Н. Проездова (1983), И. Г. Зыкова, Ю. В. Бондаренко, В. А. Калужского (1984), Е. В. Полуэктова (1981, 1984), а также отдельные работы Н. М. Пынзарю (1980), В. И. Панова (1978), В. И. Антонова (1984), В. П. Борца и Н. С. Попова (1978), Ю. В. Бондаренко и И. Г. Зыкова (1978), В. П. Борца (1978), Ю. В. Бондаренко (1982), В. М. Ивонина (1983), А. М. Грина (1965), А. Д. Орлова (1981), В. К. Подгорного, А. Г. Рожкова, Я. К. Зарудного, Л. Г. Бутенко (1978), М. М. Ломакина (1988, 1989), В. Н. Дьякова (1978), И. В. Медведева (1980), А. И. Трегубова, И. И. Кончакова (1977), В. Н. Каулина (1965), А. И. Шабаева (1974, 1975), А. И. Крупчатникова, С. С. Мащенко, В. С. Ананьева (1989) и др. К ним были добавлены материалы исследований в опытной сети ВНИАЛМИ, полученные автором и под его руководством В. М. Уваровым, С. Г. Кириченко, В. И. Победённым в Западно-Сибирском филиале ВНИАЛМИ; М. М. Ломакиным,

Е. Я. Тубольцевым, А. И. Петелько, Н. Е. Петелько, Ю. Н. Коблевым, В. А. Ивановой на Новосильской ЗАГЛОС; И. И. Гункиным, Ф. А. Абдульмановым на Поволжской АГЛОС; В. И. Антоновым на Камышинском опорном пункте. В результате ряды наблюдений (в т. ч. и прежних обобщений автора) удлинены на 10-20 лет. Эти данные позволяют более точно подойти к оценке поверхностного стока талых вод и роли хозяйственной деятельности в его формировании. Материалы этих обобщений приведены в табл. 1.16.

Таблица 1.16

**Осредненные показатели снегозапасов и поверхностного стока талых вод на зяби и уплотненной пашне**

Год	Зябь			Уплотненная пашня (многолетние травы, озимые и др.)		
	запас снеговой воды, мм	сток, мм	коэффициент стока	запас снеговой воды, мм	сток, мм	коэффициент стока
1	2	3	4	5	6	7
<i>Западная Сибирь, лесостепь, оподзоленный чернозем</i>						
1970	48	21	0,44	-	-	-
1972	94	64	0,67	-	-	-
1973	128	99	0,78	116	148	0,90
1974	138	96	0,70	166	128	0,77
1975	102	56	0,54	103	64	0,62
1976	102	11	0,10	140	116	0,83
1977	151	107	0,71	209	191	0,91
1978	81	37	0,45	168	122	0,73
1979	105	61	0,58	261	228	0,87
1980	86	43	0,50	65	50	0,77
1981	-	-	-	203	190	0,93
1983	54	14	0,26	-	-	-
1984	116	28	0,24	-	-	-
1985	43	17	0,40	-	-	-
1986	220	162	0,74	-	-	-
1987	134	28	0,21	151	37	0,25
1988	95	20	0,21	97	23	0,24
1989	91	4	0,05	79	4	0,05
1990	101	19	0,19	-	-	-
Средн.	105	48	0,29	151	108	0,71



Продолжение табл. 1.16

1	2	3	4	5	6	7
<i>Юг ЦРНЗ, Орловская обл., серые лесные почвы</i>						
1959	146	108	0,74	135	106	0,78
1960	136	81	0,60	150	117	0,78
1961	32	7	0,22	22	12	0,54
1962	22	13	0,59	23	21	0,91
1963	116	61	0,53	115	71	0,62
1964	121	58	0,48	113	91	0,80
1965	70	51	0,73	60	46	0,77
1966	77	4	0,05	105	3	0,03
1967	186	146	0,78	186	186	1,00
1968	169	0	0	145	26	0,18
1969	66	24	0,36	80	51	0,64
1970	192	83	0,43	221	94	0,42
1971	129	79	0,61	81	39	0,48
1972	56	15	0,27	56	15	0,27
1973	62	29	0,47	53	31	0,59
1974	50	29	0,58	49	44	0,89
1975	86	0	0	89	0	0
1976	137	0	0	160	3	0,02
1977	138	12	0,09	149	20	0,13
1978	91	0	0	177	20	0,11
1979	128	37	0,29	135	45	0,33
1980	135	29	0,21	153	42	0,27
1981	162	0	0	132	15	0,11
1982	100	2	0,02	100	5	0,05
1983	97	2	0,02	91	27	0,29
1984	41	12	0,29	67	18	0,27
1985	128	0	0	119	2	0,02
1986	77	33	0,43	175	36	0,48
1987	149	27	0,18	160	40	0,25
1988	118	21	0,18	123	42	0,34
1989	55	0	0	52	0	0
1990	44	23	0,51	49	25	0,51
Средние	104	31	0,30	109	40	0,36
<i>ЦЧО, Курская обл., темно-серые лесные почвы</i>						
1961	42	18	0,43	-	(31)	-
1962	43	3	0,07	-	(37)	-

Продолжение табл. 1.16

1	2	3	4	5	6	7
1963	70	54	0,77	-	(104)	-
1964	113	82	0,73	-	(114)	-
1965	63	11	0,18	-	(41)	-
1966	126	38	0,30	-	(58)	-
1967	108	46	0,43	-	(90)	-
1968	-	0	0	-	(26)	-
1969	36	18	0,50	-	(51)	-
1970	185	135	0,73	-	(180)	-
1971	36	28	0,78	-	(46)	-
1972	16	4	0,25	27	12	0,44
1973	44	22	0,50	50	42	0,84
1974	76	24	0,32	73	23	0,31
1975	48	0	0	93	27	0,29
1976	128	3	0,02	146	42	0,29
1977	132	25	0,19	157	65	0,41
1978	100	81	0,81	186	108	0,58
1979	80	63	0,19	154	108	0,70
1980	80	52	0,65	119	92	0,77
1981	134	25	0,19	128	84	0,66
1982	112	54	0,48	129	50	0,39
Средние	84	36	0,43	115	63	0,55
<i>ЦЧО, Курская обл., выщелоченный чернозем</i>						
1959	46	28	0,61	60	49	0,82
1960	116	58	0,50	154	140	0,91
1961	15	0	0	8	6	0,79
1962	36	18	0,50	45	14	0,31
1963	117	27	0,23	140	104	0,74
1964	151	11	0,07	166	118	0,71
1965	97	27	0,28	94	62	0,66
1966	111	1	0,01	137	42	0,31
1967	140	61	0,44	170	117	0,69
1968	185	0	0	189	95	0,50
1969	72	26	0,36	79	48	0,61
1970	187	98	0,52	222	207	0,93
1971	40	26	0,65	40	26	0,65
1972	12	0	0	16	3	0,18
1973	22	10	0,48	25	13	0,52

Продолжение табл. 1.16

1	2	3	4	5	6	7
1974	58	15	0,26	17	9	0,53
1975	43	0	0	70	7	0,10
1976	185	0	0	120	12	0,10
1977	158	3	0,02	78	40	0,51
1978	94	15	0,16	106	54	0,51
1979	124	74	0,60	-	115	-
1980	110	58	0,53	101	70	0,69
1981	134	25	0,19	136	104	0,76
1982	112	54	0,48	129	54	0,42
1983	87	19	0,22	105	23	0,22
1984	26	1	0,04	47	8	0,16
1985	114	10	0,09	108	25	0,23
1986	72	21	0,29	54	29	0,54
1987	116	23	0,20	122	37	0,30
1988	104	65	0,62	100	67	0,67
Средние	96	25	0,26	99	63	0,64
<i>ЦЧО, Воронежская обл., обыкновенный чернозем</i>						
1948	71	22	0,31	-	-	-
1949	85	2	0,02	88	38	0,29
1950	57	2	0,04	53	9	0,17
1951	62	3	0,05	109	31	0,28
1952	103	48	0,47	104	76	0,73
1953	106	68	0,64	108	92	0,85
1954	21	1	0,05	47	13	0,28
1955	162	73	0,45	162	109	0,67
1956	74	4	0,05	154	100	0,65
1957	119	97	0,82	119	97	0,82
1958	90	6	0,07	106	74	0,70
1959	43	1	0,02	111	54	0,49
1960	16	5	0,31	60	29	0,48
1961	(63)	0	0	63	40	0,64
1962	48	2	0,04	74	25	0,34
1963	137	60	0,44	120	101	0,84
1964	134	1	0,01	151	85	0,56
1965	57	6	0,11	39	14	0,36
1966	67	0	0	-	51	-
1967	147	0	0	-	21	-

Продолжение табл. 1.16

1	2	3	4	5	6	7
1968	32	13	0,41	133	84	0,63
1969	0	0	0	89	36	0,40
1970	43	3	0,08	-	(95)	-
1971	26	14	0,53	34	19	0,56
1972	46	0	0	-	(0)	-
1973	26	0	0	-	(10)	-
1974	45	24	0,53	-	-	-
1975	58	0	0	-	(7)	-
1976	-	0	-	-	(10)	-
1977	-	2	-	-	(41)	-
1978	-	-	-	-	(40)	-
1979	-	-	-	-	37	-
1980	-	-	-	-	117	-
1981	-	-	-	-	11	-
Средние	77	15	0,19	96	49	0,51
<i>Поволжье, Самарская обл., обыкновенный чернозем</i>						
1952	120	2	0,02	110	5	0,05
1953	94	35	0,36	113	66	0,58
1954	118	5	0,04	128	70	0,55
1955	99	10	0,10	93	80	0,86
1956	218	0	0	233	42	0,18
1957	163	60	0,37	179	155	0,87
1958	121	2	0,02	112	35	0,31
1959	65	0	0	278	32	0,12
1960	78	0	0	-	(53)	-
1961	68	0	0	-	(27)	-
1962	51	0	0	-	(11)	-
1963	104	0	0	138	12	0,09
1964	170	34	0,20	140	58	0,41
1965	93	2	0,02	135	49	0,36
1966	136	27	0,20	188	50	0,27
1967	51	0	0	110	18	0,16
1968	109	24	0,22	189	81	0,43
1969	58	0	0	74	6	0,08
1970	98	16	0,16	117	86	0,74
1971	45	5	0,11	74	44	0,60
1972	123	1	0,01	98	26	0,27

Продолжение табл. 1.16

1	2	3	4	5	6	7
1973	52	8	0,15	111	54	0,49
1974	106	12	0,11	103	65	0,63
1975	66	0	0	81	37	0,46
1976	-	0	0	-	(5)	-
1977	70	1	0,01	139	43	0,31
1978	114	11	0,10	145	30	0,21
1979	199	32	0,16	164	127	0,77
1980	165	17	0,10	142	56	0,39
1981	154	9	0,06	123	50	0,41
1982	57	3	0,05	87	65	0,78
1983	110	8	0,07	103	55	0,53
1984	114	0	0	97	26	0,27
Средние	106	10	0,09	131	49	0,37
<i>Поволжье, Саратовская обл., южные черноземы, темно-каштановые почвы</i>						
1951	61	5	0,08	95	76	0,80
1952	98	4	0,04	69	18	0,26
1953	82	5	0,06	120	118	0,98
1954	62	0	0	71	20	0,28
1955	77	31	0,54	101	76	0,75
1956	145	3	0,02	91	62	0,68
1957	-	(45)	-	-	(115)	-
1958	-	(5)	-	-	(31)	-
1959	-	(0)	-	-	(26)	-
1960	-	(2)	-	-	(50)	-
1961	-	(1)	-	-	(25)	-
1962	-	(2)	-	-	(15)	-
1963	100	2	0,02	105	63	0,60
1964	93	0	0	62	5	0,08
1965	67	36	0,54	70	30	0,43
1966	142	0	0	100	2	0,02
1967	87	0	0	137	26	0,19
1968	134	22	0,16	138	33	0,24
1969	31	10	0,32	33	15	0,45
1970	80	39	0,49	138	69	0,50
1971	-	(4)	-	56	23	0,41
1972	21	0	0	-	0	0
1973	57	0	0	84	16	0,19

1	2	3	4	5	6	7
1974	63	0	0	71	24	0,34
1975	24	0	0	21	0	0
1976	192	0	0	150	48	0,32
1977	96	0	0	105	101	0,96
1978	100	0	0	100	18	0,18
1979	137	0	0	137	11	0,08
1980	83	20	0,24	90	35	0,39
1981	65	0	0	65	63	0,97
Средние	87	8	0,09	92	39	0,42
<i>Поволжье, Волгоградская обл., каштановые почвы</i>						
1946	-	7	-	60	32	0,53
1947	77	2	0,03	79	38	0,48
1948	50	13	0,26	62	38	0,61
1949	31	0	0	57	5	0,07
1950	-	0	0	-	(14)	-
1951	-	3	-	-	(30)	-
1952	-	0	0	-	(20)	-
1953	-	(0)	(0)	-	(20)	-
1954	-	(0)	(0)	-	(14)	-
1955	-	(5)	-	-	(30)	-
1956	-	(12)	-	-	(30)	-
1957	-	(27)	-	-	(75)	-
1958	-	(7)	-	-	(28)	-
1959	-	(0)	(0)	-	(20)	-
1960	90	4	0,04	80	47	0,59
1961	46	2	0,04	50	23	0,46
1962	37	4	0,11	47	19	0,40
1963	85	4	0,05	107	88	0,82
1964	61	1	0,02	71	12	0,17
1965	-	(10)	-	-	(30)	-
1966	-	(0)	-	-	(9)	-
1967	108	0	0	99	0	0
1968	122	0	0	109	1	0,01
1969	52	17	0,33	50	30	0,60
1970	115	21	0,18	108	70	0,65
1971	52	30	0,58	62	45	0,73
1972	14	0	0	21	0	0

Продолжение табл. 1.16

1	2	3	4	5	6	7
1973	-	(0)	(0)	-	(0)	(0)
1974	47	4	0,09	67	2	0,03
1975	92	1	0,01	92	2	0,02
1976	-	(0)	(0)	-	(50)	-
1977	51	1	0,02	-	-	-
1978	49	5	0,10	-	-	-
1979	106	11	0,10	-	-	-
1980	64	2	0,03	-	-	-
1981	23	6	0,26	-	-	-
1982	49	3	0,06	47	8	0,17
1983	52	29	0,56	54	45	0,82
1984	18	0	0	28	2	0,11
1985	(65)	0	0	65	19	0,29
1986	54	38	0,71	71	45	0,63
1987	159	0	0	152	17	0,11
1988	47	21	0,45	81	32	0,40
1989	87	4	0,09	49	12	0,24
1990	40	19	0,48	40	33	0,83
Средние	61	7	0,11	67	26	0,38
<i>Поволжье, Волгоградская обл., светло-каштановые почвы</i>						
1950	35	0	0	45	12	0,27
1951	31	22	0,70	-	-	-
1952	101	4	0,04	-	-	-
1953	28	0	0	-	-	-
1954	55	0	0	-	-	-
1955	22	0	0	-	-	-
1956	55	26	0,47	-	-	-
1957	26	4	0,15	-	-	-
1958	47	8	0,16	40	25	0,63
1959	93	0	0	92	51	0,55
1960	16	0	0	16	10	0,62
1961	21	0	0	18	13	0,73
1962	74	1	0,02	77	34	0,44
1963	92	36	0,39	137	76	0,55
1964	61	2	0,03	74	27	0,36
1965	31	4	0,14	41	25	0,61
1966	15	0	0	15	7	0,47

Продолжение табл. 1.16

1	2	3	4	5	6	7
1967	143	0	0	189	0	0
1968	44	16	0,36	150	30	0,20
1969	11	0	0	17	3	0,18
1970	129	7	0,05	136	36	0,26
1971	75	1	0,01	85	33	0,39
1972	22	0	0	23	0	0
1973	89	0	0	96	2	0,02
1974	41	0	0	49	5	0,10
1975	20	1	0,05	27	7	0,26
1976	26	0	0	36	7	0,19
1977	54	5	0,09	124	43	0,35
1978	17	13	0,76	73	35	0,48
1979	147	45	0,31	164	58	0,35
1980	41	0	0	63	10	0,16
1981	0	0	0	0	0	0
1982	17	0	0	-	-	-
1983	0	0	0	0	0	0
1984	0	0	0	0	0	0
1985	39	0	0	-	-	-
1986	30	6	0,20	32	7	0,22
1987	99	0	0	98	0	0
1988	44	5	0,11	27	21	0,84
1989	25	3	0,12	45	39	0,87
1990	38	0	0	47	5	0,11
Средние	48	5	0,10	64	20	0,31
<i>Северный Кавказ, Ростовская обл., североприазовский чернозем</i>						
1963	29	8	0,27	38	13	0,34
1964	49	20	0,41	44	25	0,57
1965	53	13	0,25	63	31	0,49
1966	-	0	0	-	0	0
1967	-	0	0	-	0	0
1968	55	43	0,81	61	43	0,70
1969	-	0	0	-	0	0
1970	77	48	0,62	80	48	0,60
1971	14	1	0,07	16	11	0,69
1972	-	0	0	-	0	0



1	2	3	4	5	6	7
1973	17	0	0	23	2	0,09
1974	16	0	0	20	0	0
1975	26	0	0	30	4	0,13
1976	30	16	0,53	33	22	0,67
1977	53	26	0,49	55	44	0,80
1978	45	5	0,11	46	14	0,30
1979	11	0	0	23	16	0,70
1980	116	20	0,17	111	52	0,44
1981	32	0	0	32	11	0,34
1982	42	0	0	52	12	0,23
1983	12	0	0	15	4	0,26
1984	9	0	0	12	0	0
1985	153	80	0,52	177	140	0,79
1986	24	8	0,36	29	26	0,88
1987	320	0	0	299	68	0,23
1988	56	0	0	69	33	0,48
1989	24	0	0	27	0	0
1990	20	0	0	21	5	0,23
Средние	53	10	0,19	57	22	0,39

*Примечание. 1) По Северному Кавказу, кроме литературных обобщений Е. В. Полуэктова, нами были использованы его же неопубликованные материалы, любезно предоставленные им. 2) В скобках указаны восстановленные, ориентировочные данные, полученные путем установления корреляционных связей.*

На основе этих данных построены теоретические кривые обеспеченности стока (рис. 1.8 и 1.9) и вычислены показатели стока разной вероятности превышения (табл. 1.17).

Анализ этих данных показал, что средние величины стока с уплотненной пашни при движении от серых лесных почв (юг ЦРНЗ) к североприазовским черноземам снижаются с 67 до 22 мм. На зяби темпы снижения значительно ниже. В пределах ЦЧО сток снижается с 36 до 15 мм, а в Поволжье (от Самары к Волгограду) и в Ростовской обл. величины стока почти одинаковые (5-10 мм).

Таблица 1.17

Показатели среднего  $Q_{cp}$  и разной вероятности превышения стока талых вод с уплотненной пашни (I) и зяби (II), мм

Область (край), почва	Агрофон	Вероятность превышения																			$Q_{cp}$
		0,01	0,1	1	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	99	99,9	$C_v$	$C_s$		
Алтайский, оподзоленный чернозем	I	420	355	285	230	205	170	145	125	110	90	70	45	15	0	0	0	0,7	0,1	108	
	II	310	250	180	130	110	80	65	50	40	30	20	13	3	0	0	0	0,9	1,1	49	
Орловская, серая лесная	I	350	265	180	120	95	70	50	40	30	20	15	5	1	0	0	0	1,0	1,7	40(67)	
	II	280	215	150	100	80	60	40	30	25	15	10	1	0	0	0	0	1,2	1,4	31(44)	
Курская, темно-серая лесная	I	350	275	200	150	120	95	80	65	55	45	35	25	15	8	0	0	0,7	1,2	63	
	II	250	195	140	100	80	60	50	40	30	20	15	10	0	0	0	0	0,9	1,2	36	
Курская, выщелоченный чернозем	I	350	285	215	160	135	105	85	70	60	45	30	20	2	0	0	0	0,8	0,8	63	
	II	220	165	110	75	60	40	30	25	20	15	10	5	0	0	0	0	1,0	1,8	25	
Воронежская, обыкновенный чернозем	I	290	230	160	115	95	75	60	50	40	35	30	20	15	10	5	4	0,7	1,5	49	
	II	175	135	95	65	50	35	25	15	10	5	0	0	0	0	0	0	1,7	1,1	15	
Самарская, обыкновенный чернозем	I	260	205	150	110	95	75	60	50	45	35	30	20	15	10	2	0	0,7	1,2	49	
	II	120	90	60	40	30	20	15	10	5	3	1	0	0	0	0	0	1,4	1,8	10	
Саратовская, южный чернозем, темно-каштановая	I	225	180	140	100	85	65	50	45	35	30	20	10	2	0	0	0	0,8	0,9	39	
	II	105	80	50	35	25	15	10	7	4	1	0	0	0	0	0	0	1,7	1,7	8	
Волгоградская, каштановая	I	150	120	90	65	55	40	35	30	20	15	8	2	0	0	0	0	0,8	1,0	26	
	II	80	60	40	30	20	15	10	7	4	1	0	0	0	0	0	0	1,4	1,6	7	
Волгоградская, светло каштановая	I	135	110	80	60	45	35	30	20	15	10	7	3	0	0	0	0	1,0	0,9	20	
	II	75	60	40	25	20	10	8	5	3	1	0	0	0	0	0	0	2,0	1,5	5	
Ростовская, североприволжский чернозем	I	-	210	135	80	60	40	30	20	10	7	4	1	0	0	0	0	1,3	2,4	22	
	II	-	125	80	50	35	20	15	8	4	1	0	0	0	0	0	0	1,8	2,2	10	

Примечание. В скобках указаны показатели стока без учета последних очень маловодных лет, за которые по другим пунктам исследований нет пока данных в литературе;  $C_v$  – коэффициент вариации,  $C_s$  – коэффициент асимметрии.

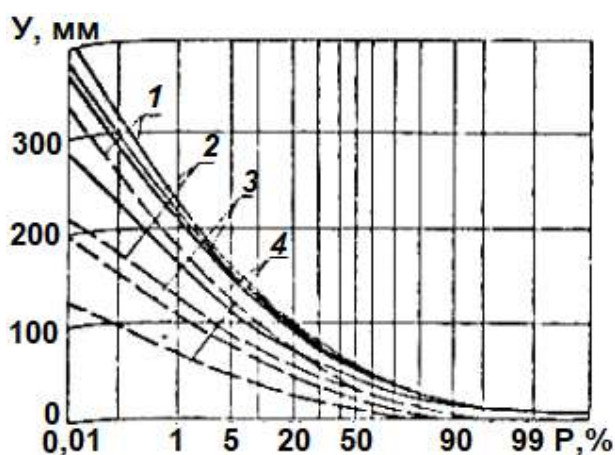


Рис. 1.8. Кривые вероятности превышения  $P$ , %, слоя поверхностного стока талых вод  $U$ , мм, с зяби (штриховые линии) и уплотненной пашни (сплошные линии) на юге ЦРНЗ и в ЦЧО (1 – Орловская обл., серая лесная почва; 2 – Курская обл., серая лесная почва; 3 – Курская обл., выщелоченный чернозем; 4 – Воронежская обл., обыкновенный чернозем)

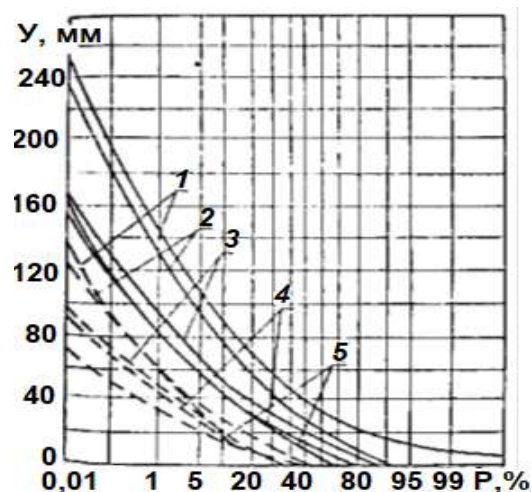


Рис. 1.9. Кривые вероятности превышения  $P$ , %, слоя поверхностного стока талых вод  $U$ , мм, с зяби (штриховые линии) и уплотненной пашни (сплошные линии) в Поволжье и на Северном Кавказе (1 – Самарская обл., обыкновенный чернозем; 2 – Саратовская обл., южный чернозем; 3 – Волгоградская обл., каштановая почва; 4 – светлокаштановая почва; 5 – Ростовская обл., североприазовский чернозем)

### 1.2.2. Карты весеннего поверхностного стока

При планировании мер по регулированию поверхностного стока и проектировании системы противоэрозионных мероприятий на расчетной основе необходима количественная оценка слоя стока в любой точке территории страны.

В связи с тем, что в стране пунктов наблюдений за стоком талых вод на различных видах пашни (зять, озимые, многолетние травы, стерня и др.) с относительно длинными рядами (20-30 лет) мало, то наиболее удобной и доступной формой изложения их для проектных организаций являются карты среднего стока и модульные коэффициенты для расчета стока разной вероятности превышения.

Для этих целей до сих пор часто используются карты речного стока или поверхностного с водосборов балок без дифференциации

по видам пашни (Д. Л. Соколовский, Н. Н. Дрейер, 1969; И. П. Сухарев, 1976; Инструкция ... ГГИ). Впервые карты среднего стока талых вод с зяби и уплотненной пашни были составлены И. Л. Коронкевичем и Е. П. Чернышевым (1976) на основе выявленной связи поверхностного стока с речным. Используя связь поверхностного стока с речным, В. П. Герасименко, В. И. Шадрин, В. С. Буруменский (1985) составили такую карту для ЦЧО.

Сурмач Г. П. (1976, 1983, 1985) на основе обобщения экспериментальных данных Новосильской ЗАГЛОС им. А. С. Козменко, ИГ АН СССР, ВНИИЗиЗПЭ, Курской ЗОМС и НИИСХ ЦЧП, полученных на стоковых площадках до 1965-1970 гг. и с участием автора включительно до 1975 г., построил карту среднего весеннего стока с зяби в ЦЧО, а затем и для лесостепных и степных районов европейской части РФ. Особенностью этих карт является допущение Г. П. Сурмача, что "рельеф и почвенный покров практически одинаковые (чернозем слабовыщелоченный, типичный, обыкновенный) и весенний сток изменяется с севера на юг и юго-восток лишь под влиянием климатических условий; на каштановых почвах в сходных условиях формируется такой же сток". При этом изолинии среднего весеннего стока проходят по карте параллельно (1985).

Мы с Е. А. Гаршиным построили карты среднего весеннего стока с зяби и уплотненной пашни для лесостепных и степных районов европейской части РФ, Украины, Беларуси (рис. 1.10 и 1.11) по фактическим данным (см. табл. 1.16), полученным на стоковых площадках в девяти пунктах: серые лесные почвы Орловской обл. (1959-1990 гг.), темно-серые лесные почвы и выщелоченные черноземы Курской обл. (1961-1985 гг.), обыкновенные черноземы Воронежской обл. (1952-1984 гг.), южные черноземы и темно-каштановые почвы Саратовской обл. (1951-1981 гг.), каштановые (1946-1990 гг.) и светло-каштановые (1949-1990 гг.) почвы Волгоградской обл., североприазовские черноземы Ростовской обл. (1949-1982 гг.). Кроме того, использовались материалы по Чувашии и Татарстану, Московской, Кировской, Ульяновской, Тамбовской, Черниговской, Днепропетровской, Нижегородской, Новгородской и Гомельской обл. (Ф. Х. Шакиров, В. П. Кирисов, Н. И. Сулима, К. А. Хасанов, М. М. Замалиев, 1975; А. Кормщикова, З. Горелов, В. Ильин, 1974; Г. А. Черенев, 1972; А. С. Фатьянов, В. Д. Рожков, 1975; В. М. Романов, А. В. Османов, 1976; М. Г. Мамедов, 1971; Ф. В. Крюковский, 1967; В. И. Корзун, 1968; Д. У. Джабраилов, 1969; В. А. Беляев,

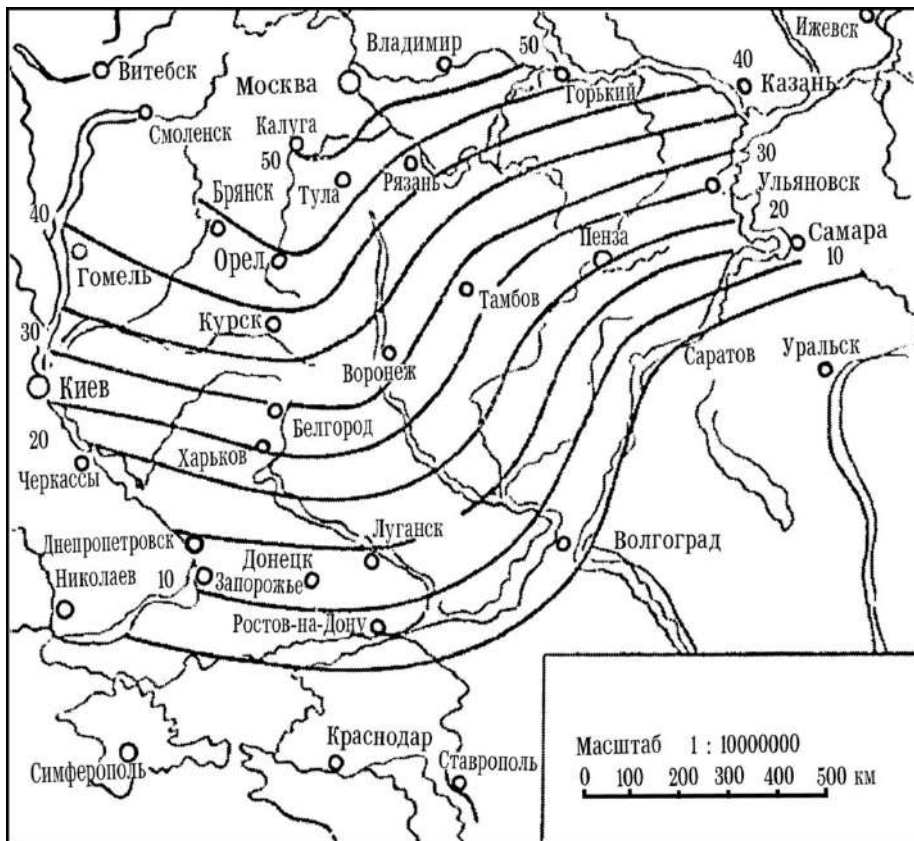


Рис. 1.10.  
Карта изолиний  
среднего по-  
верхностного  
стока талых вод  
на зяби

Рис. 1.11.  
Карта изолиний  
среднего поверх-  
ностного стока  
талых вод на  
уплотненной  
пашне (озимые,  
многолетние тра-  
вы и др.)

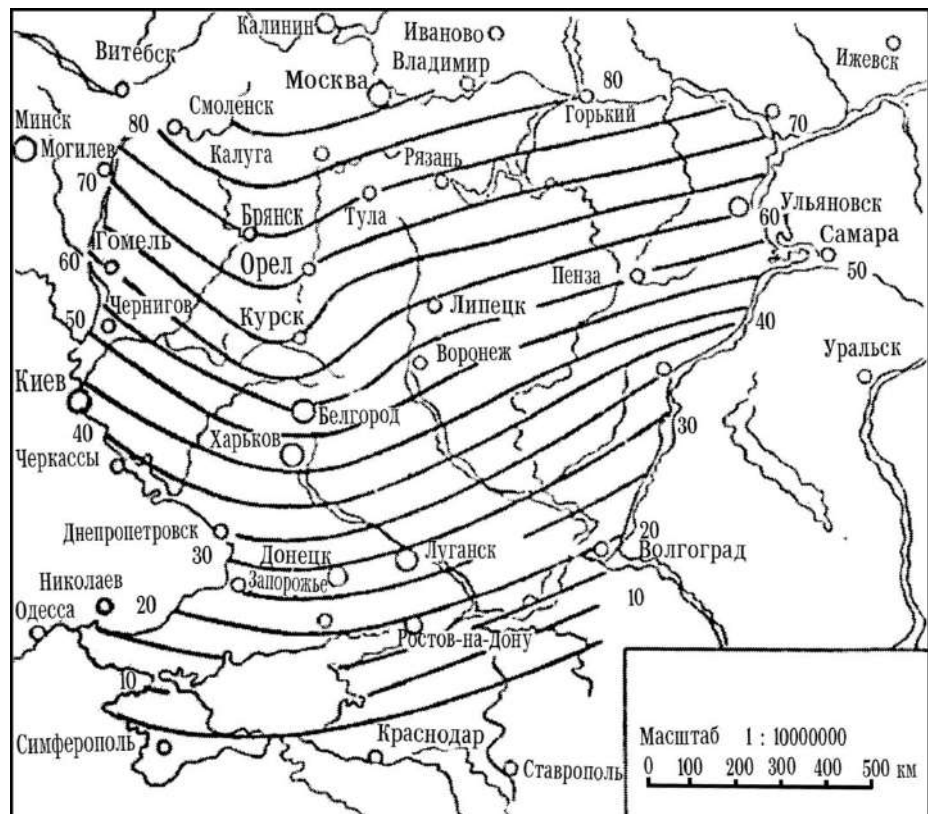


Таблица 1.18  
**Модульные коэффициенты перехода от среднего стока к стоку разной вероятности превышения**

Почва	Агрофон	Вероятность превышения стока, %																
		0,01	0,1	1	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	99	99,9	
Оподоленный чернозем Западной Сибири	I	3,77	3,20	2,54	2,06	1,97	1,49	1,27	1,14	0,96	0,83	0,66	0,48	0,26	0,09	0	0	
	II	6,66	5,42	3,96	2,81	2,29	1,77	1,35	1,04	0,83	0,62	0,42	0,16	0	0	0	0	
Дерново-подзолистая, серая лесная	I	5,22	3,95	2,69	1,79	1,42	1,04	0,75	0,60	0,45	0,30	0,22	0,07	0,01	0	0	0	
	II	6,36	4,89	3,41	2,27	1,82	1,36	0,91	0,68	0,57	0,34	0,23	0,02	0	0	0	0	
Темно-серая лесная	I	5,55	4,36	3,17	2,38	1,90	1,51	1,27	1,03	0,87	0,71	0,55	0,40	0,24	0,13	0	0	
	II	6,94	5,42	3,89	2,78	2,22	1,67	1,39	1,11	0,83	0,55	0,42	0,28	0	0	0	0	
Выщелоченный чернозем	I	5,55	4,52	3,41	2,54	2,14	1,67	1,35	1,11	0,95	0,71	0,48	0,32	0,03	0	0	0	
	II	8,80	6,60	4,40	3,00	2,40	1,60	1,20	1,00	0,80	0,60	0,40	0,20	0	0	0	0	
Обыкновенный чернозем ЦЧО	I	5,92	4,69	3,26	2,35	1,94	1,53	1,22	1,02	0,82	0,71	0,61	0,41	0,31	0,20	0,10	0,08	
	II	11,7	9,00	6,33	4,33	3,33	2,33	1,67	1,07	0,67	0,33	0	0	0	0	0	0	
Обыкновенный чернозем Поволжья	I	5,31	4,18	3,06	2,24	1,94	1,53	1,22	1,02	0,92	0,71	0,61	0,41	0,31	0,20	0,04	0	
	II	12,0	9,00	6,00	4,00	3,00	2,00	1,50	1,00	0,50	0,30	0,10	0	0	0	0	0	
Южный чернозем, темно-каштановая	I	5,77	4,61	3,59	2,56	2,18	1,67	1,28	1,15	0,90	0,80	0,51	0,26	0,05	0	0	0	
	II	13,1	10,0	6,25	4,37	3,12	1,87	1,25	0,87	0,50	0,12	0	0	0	0	0	0	
Каштановая	I	5,77	4,61	3,46	2,50	2,11	1,54	1,35	1,15	0,77	0,77	0,58	0,31	0,08	0	0	0	
	II	11,4	8,57	5,71	4,28	2,86	2,14	1,42	1,00	0,57	0,14	0	0	0	0	0	0	
Светло-каштановая	I	6,55	5,50	4,00	3,00	2,25	1,75	1,50	1,00	0,75	0,50	0,35	0,15	0	0	0	0	
	II	15,0	12,0	8,00	5,00	4,00	2,00	1,60	1,00	0,60	0,20	0	0	0	0	0	0	
Североприазовский чернозем	I	7,94	6,18	4,41	2,94	2,35	1,76	1,47	1,18	0,88	0,59	0,35	0	0	0	0	0	
	II	11,1	8,33	5,55	3,89	2,78	2,22	1,67	1,11	0,67	0,33	0,11	0	0	0	0	0	

Примечание. I – уплотненная пашня, II – зябрь.



И. П. Макаров, 1973; А. И. Гончар, 1956; Ф. Д. Добрынин, К. И. Карпович, А. М. Прокофьев, П. Т. Петров, 1975; И. А. Пабат, 1983; И. А. Пабат, Н. Ф. Бенедичук, В. М. Круть, 1976).

Короткий ряд наблюдений за стоком с уплотненной пашни (11 лет) на темно-серых лесных почвах Курской обл. удлинен с помощью регрессионного уравнения связи стока с уплотненной пашни  $U_{\text{п}}$  и зяби  $U_{\text{з}}$ :

$$U_{\text{п}} = 26 + 1,4 U_{\text{з}}, (R = 0,83 \pm 0,19).$$

Проведенный анализ данных по стоку (разд. 1.2.1) показал, что средние величины его при движении от серых лесных почв до североприазовских черноземов снижаются. На уплотненной пашне темпы снижения примерно одинаковые, на зяби в пределах ЦЧО они несколько выше, чем в Поволжье и на Северном Кавказе. Это отразилось и на характере изолиний среднего стока (см. рис. 1.10 и 1.11). На карте среднего стока с уплотненной пашни они проходят более равномерно, почти параллельно друг другу с небольшим изгибом примерно по линии Брянск – Курск – Донецк. Изолинии стока с зяби имеют большой изгиб, сближаясь по линии Москва – Самара.

Карты среднего весеннего стока отражают фактическую картину изменения его в связи с природными и хозяйственными факторами в лесостепных районах европейской территории РФ, Украины и Беларуси.

По модульным коэффициентам (табл. 1.18) можно рассчитывать показатели стока различной вероятности превышения и использовать их при проектировании системы мероприятий по регулированию стока талых вод и борьбе с эрозией почв. Например, в Белгородской обл. средняя величина стока с зяби на выщелоченном черноземе, согласно карте (см. рис. 1.10), составляет 30 мм. Чтобы рассчитать величину стока 10 %-ной вероятности превышения, нужно 30 мм умножить на модульный коэффициент 2,4 (см. табл. 1.18), т. е. величина стока 10 %-ной вероятности превышения равна 72 мм.

Таким образом, используя разработанные нами карты поверхностного стока с зяби и уплотненной пашни, можно получить для любой точки европейской части РФ, Украины и Беларуси средний сток и разной вероятности превышения и использовать эти величины при расчетах расстояний между лесополосами и другими линейными рубежами.

## **ГЛАВА 2**

### **РОЛЬ И МЕСТО АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ В ПОЧВОЗАЩИТНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ**

#### **2.1. Общая характеристика противоэрозионных приёмов**

Эрозия почв – сложный процесс, который протекает в результате взаимодействия природных и антропогенных факторов. Поэтому меры борьбы с ней должны быть комплексными. Впервые идея комплексного воздействия на природные факторы в основном с целью борьбы с засухой была выдвинута в 1894 г. В. В. Докучаевым (1954). Для борьбы с водной эрозией почв А. С. Козменко (1937) в 20-х годах предложил идею комплексного подхода с охватом целых водосборов. На Новосильской опытно-овражной станции (ныне зональная агролесомелиоративная опытная станция) был разработан и осуществлен противоэрозионный комплекс, включающий организационно-хозяйственные, лесомелиоративные, агротехнические, лугомелиоративные и гидротехнические мероприятия. Он первый предложил для борьбы с оврагами систему мер не только на самих оврагах, но и главным образом на всем водосборе.

В последующем этот комплекс совершенствовался С. С. Соболевым, С. И. Сильвестровым, Г. П. Сурмачем, Г. И. Швобсом, И. П. Здоровцовым, Е. А. Гаршиневым, И. Г. Зыковым, А. Г. Тарарико, А. И. Шабаетовым и другими исследователями. Нами совместно с Г. П. Сурмачем разработана классификация элементов противоэрозионного комплекса и отдельных приёмов, а потом усовершенствована в соответствии с последними достижениями в противоэрозионной мелиорации (табл. 2.1). Используя разные сочетания этих приёмов, можно проектировать комплекс.

Лесомелиоративным мероприятиям в почвозащитной системе земледелия отводится особая роль, и оценить её можно только во взаимосвязи с другими элементами.



Таблица 2.1

Основные мероприятия и приемы, входящие в состав противозерозных комплексов

Противозерозная организация территории	Лесомелиоративные	Агротехнические	Лугомелиоративные	Гидротехнические
Выделение земель с разными почвенно-экологическими условиями и способами хозяйственного использования	Лесополосы (полевые защитные, стокорегулирующие, прибалочные)	Вспашка поперек склона или по контуру	Коренное и поверхностное улучшение естественных кормовых угодий	Сложные (бетонные и др.) водосборные сооружения
Размещение полей севооборотов (полевого и почвозащитного) в зависимости от почвенно-экологических условий, крутизны склона, требовательности сельхозкультур к условиям произрастания и их почвозащитных свойств	Лесные насаждения в гидрографической сети, вокруг прудов и водоемов и др.	Безотвальная и плоскорезная обработка на разную глубину	Коренная мелиорация размытых земель и гидрографического фонда	Земляные водоотводящие и водозадерживающие валы
Организация рабочих участков на полях		Вспашка поперек склона с почвоуглублением		Валы-плотины
Размещение лесных полос, гидротехнических сооружений и других линейных рубежей поперек склона или по контуру		Прерывистое бороздование, рыхление междурядий и окучивание пропашных культур		Канавы с валами самостоятельно или в сочетании с лесными полосами
Крупнополосное размещение сельхозхозяйственных культур в системе контурных стокорегулирующих лесных полос		Применение удобрений		Распылители стока, водоотводящие борозды
				Напашные валы с широким основанием на пашне
				Валы-террасы на пашне
				Донные запруды
				Пруды

Все противоэрозионные мероприятия можно разделить на три основные группы. В первую группу входят приемы, рассредоточенно по территории влияющие на водопоглощение и сток. К ним относятся преимущественно агротехнические приемы: приемы поверхностного водозадержания (вспашка поперек склона или по контуру, искусственный микрорельеф, щелевание и др.), безотвальные и мульчирующие обработки, снегозадержание и регулирование снеготаяния, полосные посевы, приемы повышения водопроницаемости почвы (глубокое рыхление, окультуривание, оструктуривание) и др. Во вторую группу входят приемы "сосредоточенного", локального, действия – линейные рубежи: водоотводящие и водозадерживающие валы, каналы с валами, вала-террасы и др. В третью группу входят приемы, обладающие свойствами как локального действия (задержание и регулирование стока на рубежах), так и пространственного влияния (задержание воды в поле на месте выпадения осадков). Это лесомелиоративные приемы. Они могут сочетаться с приемами второй группы. Есть ряд промежуточных приемов (щелевание, кулисные и полосные посевы и т. д.), сочетающих в себе качества первой и второй групп. Нами они отнесены к первой группе.

Рассмотрим роль и место этих приемов в почвозащитной системе земледелия.

## **2.2. Противоэрозионная организация территории, размещение сельскохозяйственных культур и почвозащитных севооборотов**

### **2.2.1. Противоэрозионная организация территории**

Противоэрозионная организация территории предусматривает выделение севооборотных массивов с учетом крутизны склона, эродированности почв, интенсивности современных процессов эрозии, выбор и разработку схем севооборотов, определение размеров полей и размещение их на территории, правильное размещение лесных полос и других линейных рубежей, выбор приемов и технологий обработки почвы, выбор и определение места гидротехнических сооружений и способов улучшения суходольных лугов. При планировании комплекса противоэрозионных мероприятий исходят из того, что в ходе процессов рельефообразования, а также под воздействием природных и антропогенных факторов на склоне сложились разные поч-

венно-экологические условия. В присетевой части возникла полоса средне- и сильноосмытых почв, характеризующихся пониженным содержанием гумуса, ухудшенными водно-физическими и химическими свойствами и сильной податливостью эрозии. Процессы смыва (иногда и размыва) протекают как за счет собственного стока, так и за счет подтока вышележащей территории, поэтому противоэрозионные мероприятия должны быть направлены на защиту почв от смыва, восстановление и повышение плодородия.

В приводораздельной части склонов почвы несмытые и слабоосмытые. Процессы эрозии протекают слабо, интенсивность смыва часто не превышает скорость естественного почвообразовательного процесса. Однако эта территория является ареной формирования стока, который, поступая на присетевые участки склонов и в гидрографическую сеть, приводит к смыву почвы и размыву почвогрунтов, а также к выносу биогенных веществ в водные источники. Здесь противоэрозионные мероприятия должны быть направлены на задержание воды на месте или безопасный сброс в зависимости от зоны.

В гидрографической сети протекают в основном процессы размыва и смыва, распространены сильно- и весьма сильноосмытые почвы, но имеются несмытые, слабо- и среднесмытые, а также намытые почвы. Мероприятия на этих угодьях должны быть направлены на предохранение их от размыва и смыва.

Учитывая эти положения, А. С. Козменко (1949, 1954) разработал классификацию склоновых земель, по которой на территории от водораздела до дна гидрографической сети выделяются 3 земельных фонда: приводораздельный – это ровные участки и пологие склоны, имеющие крутизну до 3°; присетевой – земли крутизной свыше 3° и примыкающие к гидрографической сети; гидрографический – берега, круто-склоны и днища лощин, суходолов (балок) и речных долин.

Эта классификация в последующем совершенствовалась и уточнялась (Г. П. Сурмач, 1973; И. П. Здоровцов, А. Е. Шевцов, В. И. Ковбаса, 1976; А. Г. Тарарико, А. В. Кончаков и др., 1987, и др.). Исходя из вышесказанного, они рекомендуют земли на склонах крутизной меньше 2-4° (разные исследователи применяют различные критерии) использовать интенсивно в зернопропашных или зернопаропропашных севооборотах с максимальным насыщением пропашными культурами. Земли на склонах круче 2-4°, где наиболее интенсивно протекают эрозионные процессы, рекомендуют отводить под почвозащит-

ные севообороты с максимальным насыщением малотребовательными к условиям произрастания и обладающими высокой почвозащитной способностью многолетними травами.

Эти рекомендации в основном базируются на знании почвенно-гидрологических условий на склонах, биологических особенностей сельскохозяйственных культур и их почвозащитной роли.

### 2.2.2. Оценка роли размещения сельскохозяйственных культур и почвозащитных севооборотов

Экспериментальная оценка роли размещения сельскохозяйственных культур на склонах и почвозащитных севооборотов проводилась недостаточно и без учета связи их с полевыми севооборотами (П. С. Трегубов, И. Д. Брауде, В. В. Жилко, 1980; А. Н. Каштанов, В. Е. Мусохранов, 1980; Е. В. Грызлов, 1975; П. С. Трегубов, Н. В. Зверхановский, 1981; М. Н. Заславский, 1966, 1979; А. Г. Тарарико, 1983; А. И. Шабаев, 1982; М. М. Головкин, Г. И. Толстых, 1980 и др.). Опыты закладывались на склонах часто с ярусным размещением делянок – полей почвозащитного севооборота – без учета закономерностей формирования стока и процессов эрозии на сопряженных полях полевого и почвозащитного севооборотов, т. е. в опыте весь склон занимался полями почвозащитного севооборота. При этом различия севооборотов оценивались чаще всего по выходу сельскохозяйственной продукции с гектара севооборотной площади, по изменению влажности почвы и реже по смыву почвы.

Начиная с 1967 г. нами совместно с М. М. Ломакиным (1969-1971) и Е. Я. Тубольцевым (1972-1974), а также под нашим руководством и по разработанной нами методике (Г. П. Сурмач, А. Т. Барабанов и др., 1975; А. Т. Барабанов, Е. А. Гаршинев, 1987) с Ю. Н. Коблевым, А. И. Петелько, В. И. Антоновым, С. Г. Кириченко проводились исследования гидрологической, противозерозионной и агрономической эффективности размещения полевых и почвозащитных севооборотов в сочетании со стокорегулирующими лесополосами на их границе. Опыты закладывались на склонах разной экспозиции с полным охватом приводораздельных и присетевых земель.

В табл. 2.2 приведены результаты изучения стока талых вод и смыва почвы на сопряженных полях полевого (в верхней и средней частях склона) и почвозащитного (в нижней части) севооборотов с

разным агрофоном на Новосильской зональной агролесомелиоративной опытной станции им. А. С. Козменко.

Таблица 2.2

**Сток и смыв почвы на сопряженных полях полевого (П) и почвозащитного (ПЗ) севооборотов с разным агрофоном на Новосильской ЗАГЛОС им. А. С. Козменко**

Год	Поля севооборота	Зябрь		Многолетние травы		Озимые	
		сток, мм	смыв, м <sup>3</sup> /га	сток, мм	смыв, м <sup>3</sup> /га	сток, мм	смыв, м <sup>3</sup> /га
1967	П	150	11,3	-	-	204	5,4
	ПЗ	153	10,2	176	0	-	-
1968	П	0	0	-	-	19	0
	ПЗ	0	0	54	0	Не опр.	0
1969	П	13	3,9	-	-	45	1,9
	ПЗ	-	-	67	0	39	0,5
1970	П	81	3,2	-	-	101	2,5
	ПЗ	-	-	100	0	-	-
1971	П	79	11,7	94	0	Не опр.	4,0
	ПЗ	88	21,1	98	0(3,5)	Не опр.	21,9
1972	П	Опр.	0,1	17	0	-	-
	ПЗ	2	4,2	12	0	Не опр.	4,4
1973	П	Не опр.	10,5	36	0	26	3,4
	ПЗ	Не опр.	14,3	51	0,8	25	3,2
1974	П	28	2,4	Не опр.	0	6	1,1
	ПЗ	24	3,1	11	0	-	-
1975	П	0	0	0	0	0	0
	ПЗ	0	0	0	0	0	0

*Примечание. В скобках намыв почвы.*

Исследования проводились в полях семипольного почвозащитного и сопряженного с ним полевого севооборотов. Смыв почвы определяли по методу замера водоройн, сток – на стоковых площадках. Чередование культур в почвозащитном севообороте было следующее: 1 – яровые + многолетние травы; 2-5 – многолетние травы; 6 – озимые; 7 – яровые. Поля севооборота расположены на склонах юго-восточной и северо-западной экспозиций крутизной от 3 до 8-10° с серыми лесными средне- и тяжелосуглинистыми почвами. Нижняя граница полей почвозащитного севооборота примыкала к лесонасаждениям на бере-

гах суходола, верхняя – проходила вдоль стокорегулирующих лесополос, отделяющих присетевой фонд от приводораздельного, выше расположены поля полевого севооборота (крутизна склона 1-3°). Высота насаждений от 2,5 до 18 м. Размер полей 15-25 га. Площадь под почвозащитным севооборотом 128,2 га.

Исследования показали, что величина смыва колебалась в зависимости от гидрологических условий, агрофонов и т. д. В 1967 г. сток был большой, а смыв на зяби был почти одинаковый в полевом и в почвозащитном севооборотах (11,3 и 10,2 м<sup>3</sup>/га). Из-за наличия лесной полосы на границе севооборотов подтока с полевого на почвозащитный севооборот не было и смыв в последнем происходил только за счет стока, формировавшегося на нем. На озимых смыв в полевом севообороте был в 2 раза меньше, а на многолетних травах его совсем не было. В 1968 г. из-за отсутствия стока на зяби смыва совсем не было, а на озимых и многолетних травах, несмотря на формирование умеренного и среднего стока, смыва тоже не было. В 1969 г. из-за незначительных снегозапасов сток и смыв на зяби и озимых были небольшие, а на многолетних травах смыва совсем не было при стоке 67 мм. В 1970 г. при больших величинах стока смыв на зяби и озимых был незначительный, а на многолетних травах его не было. В 1971 г. в почвозащитном севообороте наблюдался максимальный смыв на зяби и озимых (21,1-21,9 м<sup>3</sup>/га) вследствие поступления стока с вышерасположенного поля полевого севооборота, занятого озимыми. На многолетних травах смыв отсутствовал, а местами происходил кольматаж мелкозема до 3,5 м<sup>3</sup>/га. Весной 1972 г. наблюдался слабый сток, в полевом севообороте смыва почвы не было, а в почвозащитном на зяби и озимых он был примерно одинаковый (4,2 и 4,4 м<sup>3</sup>/га). На многолетних травах смыв отсутствовал. В 1973 г. сформировался в основном умеренный сток. Значительный смыв почвы (14,3 м<sup>3</sup>/га) был вызван поступлением в поле почвозащитного севооборота воды из снежных шлейфов лесонасаждений на оттаявшую сверху зябь, а также стока с вышерасположенного поля полевого севооборота. На многолетних травах смыв практически отсутствовал даже при подтоке воды сверху.

В 1974 г. снеготаяние шло очень интенсивно, основная масса воды сошла по ледяной корке и мерзлой почве, поэтому наблюдалось небольшое проявление эрозии. В 1975 г. стока и смыва не было.

Урожай сельскохозяйственных культур в полях почвозащитного севооборота колебался по годам в широких пределах. Сена многолет-

них трав в 1967 г. получено 18,5-55,0 ц/га, в 1968 г. 24,0-39,0, в 1969 г. 14,5-35,6 ц/га, в 1970 г. 23,5 ц/га, в 1971 г. 14,3-16,8, в 1972 г. 6,8-14,3, в 1973 г. 19,4-59,4, в 1974 г. 42,6-62,0 ц/га. Урожай озимых культур в 1969 г. был 18,9 ц/га, в 1970 г. 32, в 1971 г. 12-18, в 1974 г. 17 ц/га. Урожай ячменя в 1971 г. составлял 32 ц/га, в 1972 г. 20, в 1973 г. 16, в 1974 г. 19-39, в 1975 г. 8-35 ц/га. Эти данные свидетельствуют о том, что на сильноосмытых присетевых землях можно получать высокий урожай сельскохозяйственных культур, а возможности повышения плодородия эродированных почв еще не исчерпаны.

Таким образом, в почвозащитном севообороте многолетние травы надежно защищают почву от эрозии. На зяби, а в ряде случаев и на озимых смыв почвы был значительным. При наличии стокорегулирующей лесополосы на границе полей полевого и почвозащитного севооборотов талая вода с вышележащего поля не поступала на нижележащее и смыв в почвозащитном севообороте не увеличивался по сравнению с полевым. При отсутствии лесополосы смыв обычно (такова закономерность) вниз по склону увеличивается. После распашки многолетних трав, если нет подтока, смыв бывает незначительный или совсем не проявляется.

Начиная с 1985 г. роль почвозащитных севооборотов нами изучается во взаимодействии с другими факторами: стокорегулирующими лесными полосами в сочетании с простейшими гидротехническими сооружениями и обработкой почвы. Эти материалы будут рассмотрены в главе 3 при оценке сочетания элементов и полного агролесомелиоративного противозерозионного комплекса. Здесь же отметим, что в результате наших исследований в Волгоградском ОПХ ВНИАЛМИ, а также под нашим руководством на Камышинском агролесомелиоративном опорном пункте (В. И. Антонов), на Новосильской ЗАГЛОС им. А. С. Козменко (Ю. Н. Коблев, А. И. Петелько, В. А. Иванова), в Западно-Сибирском филиале ВНИАЛМИ (В. М. Уваров, С. Г. Кириченко) получены материалы, свидетельствующие о высокой почвозащитной и агрономической эффективности почвозащитных севооборотов. Это позволяет их рекомендовать для практического применения.

Одним из способов использования смытых присетевых земель может быть отвод их под постоянное залужение (Т. Г. Глыбин). По предложению Т. Г. Глыбина на Новосильской ЗАГЛОС им. А.С. Козменко поля почвозащитного севооборота засеяли многолетними травами, а зерновые культуры переместили в полевой севооборот. При

этом площади под зерновыми культурами не сократились, так как в полевых севооборотах 25-30 % занимают кормовые культуры, в том числе 8-16 % многолетние травы. Примерно такую же площадь занимают поля почвозащитных севооборотов на присетевых землях. Такое соотношение и позволило переместить многолетние травы на присетевой фонд, а лучшие земли приводораздельных полей освободить под пропашные, зерновые и технические культуры.

По данным Т. Г. Глыбина (1979), на долголетних пастбищах площадью 278 га, созданных на присетевых землях и берегах балок, урожай зеленой массы многолетних трав в среднем за 7 лет (1971-1977 гг.) составил 260 ц/га, или 65 ц/га кормовых единиц. В благоприятные годы он достигал 80 ц/га кормовых единиц, что в 1,7-2,6 раза больше, чем урожай зерна. Следует отметить, что себестоимость трав в несколько раз ниже себестоимости зерновых, из чего становится очевидным путь более рационального использования смытых земель.

Организация кормопроизводства с использованием балочной сети и прилегающих к ней средне- и сильносмытых земель позволяет прекратить процессы эрозии и обеспечить животноводство дешевым и высококачественным кормом.

Таким образом, анализ литературных данных и результатов наших исследований по оценке роли способов размещения сельскохозяйственных культур и севооборотов на склонах позволяет сделать вывод о высокой противоэрозионной и агрономической эффективности размещения почвозащитных севооборотов с максимальным насыщением многолетними травами на крутых присетевых склонах и полевых – с пропашными, зерновыми культурами и черными парами на пологих приводораздельных склонах. Однако такое размещение полевых и почвозащитных севооборотов наряду с очевидными достоинствами (высокий почвозащитный и агрономический эффект) имеет и недостатки. В районах, где в структуре посевных площадей много пропашных культур и черных паров, обычно для их размещения не хватает земель с крутизной склона меньше 3°. Кроме того, размещение многолетних трав в почвозащитных севооборотах только в нижней части склона не позволяет использовать их почвоулучшающие свойства (структурообразование, накопление органического вещества и др.) на землях приводораздельной части склона (крутизной меньше 3°), где интенсивно изымаются питательные вещества и ухудшается структура почвы.



### **2.3. Агротехнические противоэрозионные мероприятия**

Арсенал агротехнических противоэрозионных приемов, влияющих на водопоглощение и сток рассредоточенно по всей территории, очень большой. По характеру воздействия и назначению их можно разделить на четыре основные группы. В первую входят приемы, направленные на радикальное улучшение водно-физических свойств почв и в первую очередь на повышение водопроницаемости: углубление пахотного слоя (глубокая вспашка и безотвальное рыхление), окультуривание, искусственное оструктурирование почвы, щелевание, кротование и др. Ко второй группе относятся приемы, направленные на поверхностное водозадержание: поперечная и контурная вспашка зяби, создание искусственного микрорельефа (лункование, прерывистое бороздование, обвалование, микролиманы и др.). В третью входят приемы, обеспечивающие высокую противоэрозионную устойчивость почвы: поверхностные обработки, плоскорезная обработка, мульчирование поверхности почвы и др. В четвертую можно отнести приемы, направленные на регулирование снегоотложения и снеготаяния: снегозадержание (снегопахом, кулисами, лесополосами и др.), полосное зачернение, уплотнение, распашка снега с целью регулирования снеготаяния.

Для проектирования комплекса противоэрозионных мероприятий, особенно на расчетной основе, важно знать количественное выражение влияния каждого из них. Вопросам оценки стокорегулирующей и противоэрозионной роли агротехнических приемов посвящено очень много работ, однако до сих пор нет однозначного ответа. В работах многих исследователей (С. С. Соболев, 1960; А. С. Скородумов, 1970; Е. В. Грызлов, 1975; Н. К. Шикла, И. Д. Брауде, 1964; Д. У. Джабраилов, 1969; М. И. Комаров, 1975; Ф. Т. Моргун, Н. К. Шикла, А. Г. Тарарико, 1988 и др.) им придается очень большое значение как наиболее эффективным и не требующим больших дополнительных затрат. А. С. Козменко, Я. В. Корнев и др., 1937; М. Л. Львович, 1963; Г. П. Сурмач, 1965, 1976; Е. П. Чернышев, 1968; А. Т. Барабанов, 1966, 1968; В. П. Борец, 1973; Ф. Д. Добрынин и др., 1975; Ф. А. Абдульманов, А. Т. Барабанов, 1976; А. И. Крупчатников, 1974; Л. Н. Гавриленко и В. Г. Гусаров, 1977, и др. указывали на недостаточную эффективность агротехнических противоэрозионных приемов. Г. П. Сурмач (1976) впервые сделал обобщение небольшого тогда и разрозненного материала за период с 1947 по 1970 гг. по эффек-

тивности глубокой вспашки и окультуривания почв, плоскорезной обработки, поперечной зяблевой вспашки, гребнистой вспашки, микролиманов, прерывистого бороздования, лункования зяби. На основании этого материала он пришел к выводу о небольшой стокорегулирующей роли (сокращение стока на 5-12 мм) этих приемов. Однако из-за разрозненности и противоречивости материалов (исследования по 3-5 лет в разные годы и в различных зонах) нормативную базу стокорегулирующего и противоэрозионного эффекта агротехнических приемов установить тогда не удалось.

К настоящему времени проведено большое количество исследований по этому вопросу. И хотя они также разрознены и противоречивы, можно дать количественную оценку многим из них. Во многих материалах, доказывающих высокую увлажнительную, противоэрозионную и агрономическую эффективность агротехнических приемов, приводятся данные, свидетельствующие, например, что микрорельеф на зяби позволяет уменьшить слой поверхностного стока талых вод на 20-40 мм и более, а смыв почвы – от нескольких до десятков м<sup>3</sup>/га, существенно повысить влажность почвы и урожайность сельскохозяйственных культур. Подавляющее большинство этих материалов получено без непосредственного изучения поверхностного стока, а с использованием термостатно-весового метода определения влажности почвы и учета смыва почвы по водородиам. Эти данные в большинстве случаев и служат основанием для рекомендаций по внедрению микрорельефа в производство. Между тем в литературе имеются сведения о низкой или даже отрицательной роли микрорельефа на зяби (например, в работах Г. П. Сурмача и А. Т. Барабанова за 1963-1974 гг.; Е. П. Чернышева и др. за 1969-1972 гг.; Л. Н. Гавриленко и В. Г. Гусарова за 1968-1972 гг.; Ф. Д. Добрынина и др. за 1969-1974 гг.; Ф. А. Абдульманова и др. за 1970-1974 гг.; Т. В. Демьяновой за 1973-1979 гг.; С. С. Тлеуова за 1982-1985 гг. и др.). Характерно, что такие результаты получены с применением методов прямого учета стока и смыва почвы на стоковых площадках.

Такие различия в оценке стокорегулирующей эффективности рассматриваемых приемов объясняются отчасти недостаточной репрезентативностью термостатно-весового метода при принятой в практике повторности определения влажности почвы (обычно 3-5-кратной). В силу этого очень трудно (практически невозможно) оценить стокорегулирующую роль приемов, применяя традиционный

термостатно-весовой метод. Именно этим в первую очередь объясняется тот факт, что исследователи, применяющие одновременно оба метода оценки увлажнительного эффекта (метод стоковых площадок и термостатно-весовой), получают обычно несогласующиеся между собой результаты. Так, например, сокращение слоя стока, обусловленное применением микрорельефа, часто не сопровождается увеличением влажности почвы, как следовало бы ожидать, и наоборот (например, в работах И. А. Скачкова и П. С. Трегубова, 1958; Г. П. Сурмача, А. Т. Барабанова, Е. А. Гаршинева, М. М. Ломакина, 1976, и др.). Поэтому мы при оценке как стокорегулирующей, так и увлажнительной эффективности противоэрозионных агротехнических мероприятий использовали метод стоковых площадок и в обобщение включали материалы, полученные этим методом.

Ниже дается оценка стокорегулирующей, противоэрозионной и агрономической роли агротехнических приемов на основе обобщения литературных данных, результатов наших исследований, а также материалов, полученных под руководством автора за период с 1963 по 1990 гг.

Глубокая зяблевая обработка. Стокорегулирующая эффективность зяблевой обработки по сравнению с уплотненной пашней рассмотрена выше (разд. 1.2.1). Многие исследователи, изучая сток талых вод с зяби, не уделяли внимания глубине вспашки, в то время как многочисленные опыты показали высокую эффективность применения глубокой (на 27-30-35 см) зяби. Вопрос о глубине вспашки разрабатывался главным образом для ровных элементов рельефа. На склонах влияние глубокой зяблевой обработки на сток и эрозию начали изучать в 50<sup>х</sup> годах. Эффективность глубокой зяблевой вспашки исследовали в НИИСХ ЦЧП им. В. В. Докучаева Д. П. Бурнацкий и В. В. Яровенко (1961), П. С. Трегубов (1961), М. А. Шевченко (1962). По данным этого института, в среднем за 1955-1960 гг. вспашка зяби на глубину 20-22 см с почвоуглублением до 37 см способствовала сокращению стока с 97 до 23 мм, а безотвальное рыхление на глубину 35-40 см – до 36 мм. Это очень большое сокращение; возможно, могли повлиять какие-либо другие факторы, не учтенные исследователями. Исследования, проведенные на североприазовских черноземах Ростовской обл. (Грызлов, 1975), показали, что увеличение глубины вспашки зяби до 28-30 см способствовала снижению стока в 1963 г. на 5 мм, а в 1964 г. – на 7 мм. Е. В. Полуэктов (1984), анализируя литературные данные и результаты собственных исследований, пришел

к выводу, что агротехническим приемам, которые применяются для подъема зяби на склонах, принадлежит скромная роль в задержании стока талых вод. Г. П. Сурмач (1965), обобщив и проанализировав свои материалы и ряда авторов, пришел к выводу, что "углубление пахоты на 1 см способствует сокращению стока от 1,5 до 4,5 мм, это означает, что если углубить пахоту на 8 см, то будет достигнуто сокращение стока на 12-34 см". Это также большая величина сокращения. Последующие исследования и обобщения это подтвердили. Большое значение углублению вспашки придавали М. И. Львович (1963), В. Н. Каулин (1965), М. Н. Заславский (1966) и многие другие.

В 1962-1966 гг. на светло-каштановых почвах Волгоградской обл. проводились исследования (Г. П. Сурмач 1962-1963, А. Т. Барabanов 1964-1966 гг.) влияния глубокой зяблевой вспашки на сток талых вод и смыв почвы, (табл. 2.3). Три года гидрометеорологические условия были благоприятными для впитывания талой воды в почву, поэтому сток на зяби формировался небольшой или его совсем не было. Только один год был многоводным. Глубокая вспашка зяби способствовала снижению стока в маловодные годы на 3-5 мм, а в многоводный на 12 мм. Средняя величина снижения стока составила 5 мм. Смыв почвы снизился с 1,4 до 0,5 м<sup>3</sup>/га.

Таблица 2.3

**Влияние глубины зяблевой пахоты на сток и смыв  
светло-каштановой почвы (г. Волгоград, 1962-1966 гг.)**

Год	Агрофон (глубина вспашки, см)	Запас снеговой воды, мм	Количество воды, просочившейся в почву, мм	Сток, мм	Коэф. стока	Смыв почвы, м <sup>3</sup> /га
1962	20-22	74	71	3	0,04	-
	27-30	70	70	0	0	-
1963	20-22	83	34	49	0,59	-
	27-30	79	42	37	0,47	-
1964	20-22	57	51	6	0,10	2,8
	27-30	47	46	1	0,02	1,0
1966	20-22	15	15	0	0	0
	27-30	15	15	0	0	0
Сред- ние	20-22	57	43	14	0,25	1,4
	27-30	53	44	9	0,17	0,5

В табл. 2.4 приведены результаты исследований влияния глубины вспашки зяби на сток и смыв обыкновенных черноземов Самар-

ской обл. В. И. Панова (1966-1967 гг.), полученные под руководством Г. П. Сурмача, И. И. Гункина (1968-1971 гг.), и Ф. А. Абдульманова (1972-1974 гг.), полученные под руководством автора.

Таблица 2.4

**Влияние глубины зяблевой пахоты на сток и смыв обыкновенных черноземов в 1966-1974 гг. (Самарская обл.)**

Год	Агрофон (глубина вспашки, см)	Запасы снеговой воды, мм	Количество воды, просочившейся в почву, мм	Сток, мм	Коэффициент стока	Смыв почвы, м <sup>3</sup> /га
1966	20-22	140	98	42	0,30	-
	28-30	132	120	12	0,09	-
1967	20-22	51	50	1	0,02	0
	28-30	51	51	0	0	0
1968	20-22	77	47	30	0,38	2,5
	28-30	70	48	22	0,31	1,6
1969	20-22	63	63	0	0	0
	28-30	58	58	0	0	0
1970	20-22	91	75	16	0,18	-
	28-30	82	72	10	0,12	-
1971	20-22	48	43	5	0,10	0
	28-30	42	39	3	0,07	0,8
1972	20-22	124	122	2	0,01	0,01
	28-30	124	124	0	0	0
1973	20-22	63	51	12	0,20	0
	28-30	62	60	2	0,03	0
1974	20-22	81	68	13	0,16	6,0
	28-30	97	85	12	0,12	3,5
Сред- ние	20-22	82	69	13	0,16	1,2
	28-30	80	73	7	0,09	0,8

Из 9 лет исследований два года были многоводными, три – с умеренным стоком и остальные маловодные. В 1966 многоводном году глубокая вспашка способствовала сокращению стока на 30 мм, в 1968 тоже многоводном году сток сократился на 8 мм. В маловодные годы сток на глубокой зяби сокращался на 1-5 мм. В среднем за 9 лет углубление вспашки зяби с 20-22 до 28-30 см привело к сокращению стока на 6 мм. Смыв почвы уменьшился с 1,2 до 0,8 м<sup>3</sup>/га.

Обобщенные Г. П. Сурмачем и А. И. Крупчатниковым (1980) данные по влиянию глубины зяблевой обработки почвы на сток талых вод и смыв черноземов и серых лесных почв ЦЧО и Нечерноземья (табл. 2.5) показывают, что увеличение глубины вспашки зяби с 20-22 до 27-30 см сокращает сток на черноземах в среднем на 8 мм, на серых лесных почвах – на 12 мм, коэффициент стока снижается на 0,13 и 0,05. Смыв почвы уменьшается на 1,66 т/га. Обработка с почвоуглубителями способствовала уменьшению стока на черноземах на 1 мм, на серых лесных почвах – на 5 мм.

Таблица 2.5

**Средние показатели стокорегулирующей и противозрозионной эффективности глубокой зяблевой обработки на черноземах и серых лесных почвах ЦЧО и Нечерноземья (1955-1976 гг.)**

Агрофон	Запас снеговой воды, мм	Количество воды, просочившейся в почву, мм	Сток, мм	Коэф. стока	Смыв почвы, т/га
<i>Черноземы</i>					
Вспашка, см: 20-22	63	41	22	0,35	3,46
27-30	64	50	14	0,22	1,80
20-22	52	28	24	0,46	2,19
То же с почвоуглублением на 12-15 см	53	30	23	0,43	2,97
Безотвальная обработка, см: 20-22	60	39	21	0,35	1,72
30-35	72	51	21	0,29	1,70
<i>Серые лесные почвы</i>					
Вспашка, см: 20-22	105	66	39	0,37	-
27-30	84	57	27	0,32	-
20-22	55	38	17	0,31	1,15
То же с почвоуглублением на 12-15 см	67	55	12	0,18	0,35
Безотвальная обработка, см: 20-22	54	41	13	0,24	0,19
30-35	141	96	45	0,32	1,02

Урожай сельхозкультур в значительной степени варьировал как по годам, так и в связи с обработкой почвы. Четкой зависимости урожая от глубины обработки не отмечается, однако наблюдается некоторая тенденция увеличения урожая при более глубокой вспашке.

Таким образом, наши исследования и обобщение литературных данных позволили дать количественную оценку стокорегулирующей и противоэрозионной эффективности глубокой зяблевой вспашки. На светло-каштановых почвах она способствовала сокращению стока в среднем на 5 мм, смыва на 0,9 м<sup>3</sup>/га, на обыкновенных черноземах соответственно на 6 мм и 0,4 м<sup>3</sup>/га, на черноземах ЦЧО и Нечерноземья на 8 мм и 1,66 т/га, на серых лесных почвах сток уменьшился на 12 мм. Эти данные могут служить нормативной базой при построении комплекса противоэрозионных мероприятий на расчетной основе.

Вспашка поперек склона и по контуру. Вспашке зяби поперек склона придавали, а некоторые и сейчас придают большое значение. В литературе нет однозначного мнения о стокорегулирующей и противоэрозионной роли поперечной вспашки. Г. П. Сурмач (1976) обобщил и проанализировал большой литературный материал и результаты собственных исследований о гидрологической роли поперечной зяблевой вспашки по зонам европейской части страны от подзолистых до светло-каштановых почв (62 годоопыта) и пришел к выводу, что на вариантах с поперечной вспашкой по сравнению с продольной сток в большинстве случаев сокращался на 5-6 мм, а в ряде случаев он был одинаковый или даже выше. Исследования С. С. Тлеуова (1988) на черноземах Северного Казахстана в 1982-1985 гг. показали, что поперечная вспашка зяби по сравнению с продольной способствовала сокращению стока на 2-3 мм, а такая же обработка пара уменьшала сток на 7-10 мм.

Результаты наших исследований на светло-каштановых почвах, а также исследований И. И. Гункина и Ф. А. Абдульманова на обыкновенных черноземах Поволжья, проведенных под руководством автора (табл. 2.6) показывают, что даже эта небольшая величина эффекта поперечной вспашки преувеличена. В наших опытах на светло-каштановых почвах разницы в стоке с зяби при поперечной и продольной пахоте не было или она была незначительная; на обыкновенных черноземах в среднем за 5 лет эта разница составила 3-4 мм. Это связано с тем, что гребни поперечной пахоты не представляют собой сплошных преград, они имеют частые разрывы, понижения, через которые свободно стекает талая вода. Те небольшие бороздки, которые имеются на пашне, перепружены комочками земли, поэтому вода течет не вдоль них, а вниз по склону через понижения в гребнях. Емкости микрорельефа на зяби, вспаханной вдоль и поперек склона, как показали наши измерения, мало отличаются на продольной вспашке 15,8, на поперечной 17,4 мм.

Таблица 2.6

**Стокорегулирующая и противоэрозионная роль поперечной зяблевой вспашки в Поволжье**

Год	Направление обработки почвы	Запас снеговой воды, мм	Кол-во воды, просочившейся в почву, мм	Сток, мм	Коэф. стока	Смыв почвы, м <sup>3</sup> /Га
1	2	3	4	5	6	7
<i>Почва светло-каштановая, песчаная и супесчаная</i>						
1964	Поперек склона	32	31	1	0,03	2,6
	Вдоль склона	48	46	2	0,04	1,7
1966	Поперек склона	15	15	0	0	0
	Вдоль склона	15	15	0	0	0
<i>Почва светло-каштановая, легко- и среднесуглинистая</i>						
1964	Поперек склона	74	73,5	0,5	0	0
	Вдоль склона	77	76,5	0,5	0,01	0
<i>Обыкновенный чернозем, среднесуглинистый</i>						
1966	Поперек склона на глубину 28-30 см	132	122	10	0,07	0,06
	То же вдоль склона	132	117	15	0,11	0,12
	Поперек склона на глубину 20-22 см	136	97	39	0,29	0,57
	То же вдоль склона	143	98	45(41)	0,32	0,67
1967	Поперек склона	97,4	97,2	0,2	0,02	0
	Вдоль склона	50,8	50,2	0,6	0,013	0
1968	Поперек склона на глубину 28-30 см	70	48	22,	0,31	1,6
	То же вдоль склона	94	55	39(29)	0,41	6,4
	Поперек склона на глубину 18-20 см	76	46	30(28)	0,13	2,5
	То же вдоль склона	58	30	28(34)	0,40	6,7
1969	Поперек склона на глубину 28-30 см	58	58	0	0	0
	То же вдоль склона	49	49	0	0	0
	Поперек склона на глубину 20-22 см	63	63	0	0	0
1969	То же вдоль склона	58,1	57,8	0,3	0,005	0
1970	Поперек склона на глубину 28-30 см	73	65	8	0,12	0,3
	То же вдоль склона	76	58	18	0,24	0,5
	Поперек склона на глубину 20-22 см	85	78	7	0,08	1,7
	То же вдоль склона	97	81	16(12)	0,160	1,9



Продолжение табл. 2.6

1	2	3	4	5	6	7
1971	Поперек склона	42	39	3	0,07	0,8
	Вдоль склона	45	38	7	0,16	4,7
1973	Поперек склона	62	60	2	0,03	0
	Вдоль склона	55	46	9	0,16	0
Средняя	Поперек склона на глубину 28-30 см	83	75	8	0,10	-
	То же вдоль склона	80	68	12	0,15	-
	Поперек склона на глубину 20-22 см	90	75	15	0,16	-
	То же вдоль склона	81	63	18	0,22	-

*Примечание. В скобках указаны величины стока, приведенные к одинаковым снегозапасам.*

Таким образом, учитывая обобщение Г. П. Сурмача, а также следующие наши и другие результаты исследований, можно сделать вывод о том, что стокорегулирующая роль поперечной пахоты не превышает 3 мм. Также низка стокорегулирующая роль контурной обработки. Дело в том, что все обобщения материалов по эффективности поперечной вспашки получены на стоковых площадках шириной 10-20 м, а на таком отрезке поперечная и контурная вспашка – это одно и то же.

Такая низкая стокорегулирующая эффективность поперечной и контурной обработки почвы не может стать причиной отказа от нее. Она обеспечивает снижение смыва за счет наличия развальных борозд. Однако правильная оценка стокорегулирующей роли таких обработок должна предостеречь от опасного заблуждения, что, обрабатывая почву по контуру, можно достичь высокого эффекта в защите почв от эрозии без применения других противоэрозионных мероприятий и особенно стокорегулирующих лесных полос, как это сейчас представляется. Вопрос же о направлении обработки почвы обычно решается при проведении противоэрозионной организации территории, главной задачей которой является размещение линейных рубежей поперек склона и по контуру, что, в свою очередь, обуславливает и направление обработки почвы, то есть направление обработки почвы не должно быть самоцелью, переоценка ее роли опасна.

Искусственный микрорельеф. Нами совместно с Е. А. Гаршиным обобщены данные по эффективности искусственного микрорелье-

ефа на зяби. Они подробно по годам, видам микрорельефа и типам почв приведены в работах Г. П. Сурмача, Е. А. Гаршинева, А. Т. Барабанова (1977); Г. П. Сурмача, А. Т. Барабанова, Е. А. Гаршинева (1982); А. Т. Барабанова, Е. А. Гаршинева (1983). В табл. 2.7 сведены обобщенные данные по эффективности микрорельефа в зональном разрезе по типам почв. Анализ всей совокупности этих данных свидетельствует, что эффективность микрорельефа значительно колеблется по годам и у разных авторов. Причем в одних случаях отмечается сокращение стока и смыва и увеличение урожая, в других – сток и смыв увеличиваются, а урожай снижается, в-третьих – эти показатели находятся на уровне контроля.

Таблица 2.7

**Средние показатели стокорегулирующей, противозерозионной и агрономической эффективности искусственного микрорельефа (плюс – увеличение, минус – уменьшение по сравнению с контролем)**

Приемы	Сток, мм					Смыв, т/га					Урожай, ц/га		
	Д.п.	С.л.	Ч.в.	Ч.о.	К	Д.п.	С.л.	Ч.в.	Ч.о.	К	С.л.	Ч.в.	Ч.о.
Обвалование	-12	-19 (-2)	-1	-5	-	+0,1	-0,7	-0,1	-	-	+2,0	+0,2	-
Ступенчатая вспашка	-	-	+1	-3	-	-	-	-0,1	-2,1	-	-	+0,1	+2,3
Комбинированная вспашка	-	+6	+2	-2	+1	-	+0,1	0	0	0	-1,3	-0,4	+2,0
Прерывистое бороздование	-19	-3	+3	-2	0	-0,1	+0,1	+0,2	-0,4	+1,2	+1,3	+0,4	-
Лункование	-	0	+1	+2	+2	-	+0,2	+0,2	0	-0,1	+1,5	+1,0	-0,3
Микролиманы и крестование	-	-6	-5	+2	-1	-	-	-	-	-	-	-	+1,8

*Примечание. Д.п. – дерново-подзолистые почвы; С.л. – темно-серые и серые почвы; Ч.в. – чернозем выщелоченный; Ч.о. – чернозем обыкновенный; К – каштановые и светло-каштановые почвы; в скобках – без 1964 г.*

Из 215 годоопытов (случаев) уменьшение слоя стока более чем на 50 мм отмечено в 2 случаях, а более чем на 20 мм в 9 случаях. В то же время имело место увеличение стока на величину свыше 50 мм в одном случае и более 20 мм в трех случаях. Положительный эффект от применения искусственного микрорельефа составляют 39% случаев, отрицательный 31 % и нулевой 30. В 64 % случаев эффект был

$\pm 5$  мм, что находится в пределах точности опыта. В 80 % случаев эффект был всего  $\pm 10$  мм. Средние же величины эффекта колеблются около нуля. Различий в эффективности между отдельными приемами не отмечается. Зависимости эффективности микрорельефа от типа почв и вёсен также не наблюдается. Несколько большая стокорегулирующая эффективность обвалования и прерывистого бороздования на дерново-подзолистых почвах, скорее всего, связана с особенностями периода наблюдения (всего три года), а сокращение стока на обвалованной зяби на серых лесных почвах в среднем на 19 мм обусловлено очень большим (на 63 мм) необъясненным уменьшением стока в одном только 1964 г. (из 6 лет наблюдений). Средняя величина сокращения стока без учета этого года составляет всего 2 мм.

В противоэрозионном отношении все приемы поделки искусственного микрорельефа были малоэффективны или совсем неэффективны. Средняя величина сокращения смыва на серых лесных почвах при применении обвалования составила 0,7 т/га, а на лункованной зяби смыв увеличился в среднем на 0,2 т/га.

Урожай сельскохозяйственных культур также значительно колебался как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения. В среднем по большинству приемов и типов почв была небольшая прибавка урожая – около 1-2 ц/га с колебаниями от 0,1 до 2,3 ц/га. Однако имеет место и снижение урожая на 0,4-1,3 ц/га. Какой-либо закономерности в величинах прибавок в зависимости от вида микрорельефа или типа почв не обнаружено.

Таким образом, оценивая в целом эффект искусственного микрорельефа, можно сказать, что он бывает очень низкий или его совсем нет, а часто он бывает отрицательный. В прямой зависимости от стокорегулирующей находится и противоэрозионная его эффективность. Повышение урожая сельскохозяйственных культур на вариантах с микрорельефом в ряде случаев связано не с сокращением стока и смыва, а с большим снегонакоплением в емкостях (снегозадерживающий эффект).

Для теоретического обоснования низкого стокорегулирующего (а в связи с этим и противоэрозионного) эффекта искусственного микрорельефа на зяби рассмотрим уравнение:

$$\mathcal{E} = \Delta O + V + W_M - W_K, \text{ мм.} \quad (2.1)$$

Из него следует, что величина стокорегулирующего эффекта  $\mathcal{E}$  искусственного микрорельефа на зяби обуславливается емкостью микрорельефа  $V$ , впитывающей способностью почвы  $W_K$  и  $W_M$  и раз-

ницей  $\Delta O$  между снегозапасами на контрольном варианте и варианте с микрорельефом (снегозадерживающий эффект). Емкость микрорельефа является величиной постоянной. Она зависит от вида орудия, применяемого для устройства микрорельефа, и составляет 30-40 мм. Разница в снегозапасах на контроле и на варианте с микрорельефом также величина постоянная, она связана с емкостью микрорельефа и составляет 10-15 мм. Эта величина отрицательная, и чем больше абсолютное значение ее, тем меньше стокорегулирующий эффект.

Важнейшим показателем, который обуславливает стокорегулирующий эффект и который, как правило, не учитывается, является впитывающая способность почвы.

Из уравнения следует, что эффект от микрорельефа мог бы быть равным или больше величины его емкости, если бы впитывающая способность почвы на опытном варианте была бы равна или больше контрольной, а снегозапасы на обоих вариантах одинаковые, т.е. мы достигли бы ожидаемого эффекта. Однако, во-первых, микрорельеф играет снегозадерживающую роль, что приводит к снижению эффекта, а во-вторых, как показывают многочисленные исследования, при устройстве микрорельефа снижается водопроницаемость почвы. Об этом свидетельствуют данные, полученные на стоковых площадках и указывающие, что искусственный микрорельеф часто не только не способствует сокращению стока, но и увеличивает его. Причин снижения водопроницаемости несколько:

1) уплотнение почвы гусеницами трактора и колесами орудий при поделке микрорельефа после вспашки;

2) уплотнение почвы в самих емкостях микрорельефа (а следовательно, снижение ее водопроницаемости) рабочими органами орудий в ходе боронования зяби, повторного рыхления почвы, перепашки зяби и т. д., о чем свидетельствуют данные А. С. Скородумова и И. И. Белозера (А. С. Скородумов, 1970);

3) уменьшение мощности рыхлого слоя в днище емкости, что равносильно уменьшению глубины вспашки, т. е. уменьшению впитывающей способности почвы (Г. П. Сурмач, 1970; О. Г. Котлярова, 1974);

4) образование наилка и закупорка пор в связи с формированием микростока и смыва с бортов емкостей во время осенних дождей;

5) переувлажнение почвы в днищах емкостей с осени и последующая закупорка пор льдом зимой;

6) образование льда в емкостях микрорельефа.

Таким образом, созданные искусственные емкости микрорельефа не компенсируют потери на впитывании и сток не сокращается. Стокорегулирующий эффект искусственного микрорельефа будет зависеть при прочих равных условиях от степени снижения впитывающей способности почвы при его устройстве.

Щелевание почвы. Стокорегулирующая эффективность щелевания почвы изучалась многими исследователями (М. С. Цыганов и А. И. Троший, 1960; В. П. Волков, 1964; Я. Н. Мухортов, А. П. Коваленко, 1969; Г.П. Сурмач, 1971, 1976; В. П. Борец, 1973; Н. Ф. Гончаров, 1983; В. А. Порядин, 1985; М. Н. Герасимов, 1989; М. И. Лопырев, Е. И. Рябов, 1989, и др.). Его действие направлено на задержание стока в основном на уплотненной пашне: озимых, многолетних травах, естественных кормовых угодьях, и большинство исследований проводилось на этих видах пашни и сельскохозяйственных угодий. Реже проводились исследования по оценке эффективности щелевания зяби (Н. Ф. Гончаров, 1983; В. А. Порядин, 1985; М. Н. Герасимов, 1989). Результаты получены противоречивые. Щелевание уплотненной пашни, по разным данным, в основном способствовало небольшому сокращению стока и повышению продуктивности. В ряде случаев эффекта не было или наблюдалось даже увеличение стока. Это связано с разнообразием условий проведения исследований, различием методов и др. Например, при небольшой глубине промерзания, когда почва на дне щелей бывает талая (глубина щелевания обычно не более 50 см), стокорегулирующий эффект щелевания высокий. Щели, заполненные соломой или другим мульчматериалом, который предохраняет почву от замерзания, также высокоэффективны. Открытые щели засыпаются землей, обычно глубоко промерзают, после оттепелей заполняются льдом, становятся водонепроницаемыми, и эффект от щелевания бывает отрицательный.

Из анализа всей совокупности литературных данных по стокорегулирующей и противозэрозийной эффективности щелевания почвы на уплотненной пашне видно, что проведение этого приема с помощью существующих средств механизации малоэффективно. Величина задержания стока не превышает 5-7 мм, Противозэрозийная роль щелей тем более невысока, так как уплотненные агрофоны, особенно многолетние травы, обладают хорошими почвозащитными свойствами. Этот прием можно совершенствовать, создавая более глубокие (свыше глубины промерзания почвы) открытые или заполненные мульчматериалами щели.

Щелевание зяби, а в ряде случаев и озимых осенью по талой почве, как показал анализ литературных данных, неэффективно. Поэтому нами изучалось в 1971-1976 гг. щелевание замерзшей сверху до 10-12 см зяби. Исследования проводились с участием Е. Я. Тубольцева на серых лесных почвах ЦРНЗ (Новосильская ЗАГЛОС). Гидрометеорологические условия формирования стока были следующие. В 1971 г. они были благоприятными. Сильно увлажненная с осени почва (в слое 0-50 см влагозапасы были 213-351 мм при наименьшей влагоемкости 155-175 мм) промерзла на глубину до 100 см, снеготаяние при больших запасах снеговой воды было интенсивным. В 1973 и 1974 гг. условия для формирования стока были хуже. При относительно небольших снегозапасах увлажнение почвы было умеренное, глубина промерзания колебалась от 100 до 182 см. Сток в эти годы формировался умеренный. В 1972 г. при малом количестве снега и слабом увлажнении почвы, хотя она и промерзла на большую глубину (до 160-170 см), сток был небольшой. В 1975 г. сложились благоприятные условия для впитывания талой воды в почву. Запасы воды в снеге были большие, увлажнение почвы высокое, однако она была талая и при интенсивном снеготаянии вся вода на зяби впитывалась в почву, и сток не сформировался. Таким образом, разные условия в период исследований позволили оценить стокорегулирующую, противозероизирующую и агрономическую эффективность щелевания мерзлой почвы на зяби. Осуществлялось оно в 1971 и 1972 гг. на глубину до 30 см, а в последующие годы до 50 см. Результаты исследований (табл. 2.8) показали, что щелевание и замерзшей почвы малоэффективно. В 1971 и 1974 гг. оно способствовало сокращению стока на 10-11 мм, а в остальные годы он был на уровне контроля. В 1975 г. стока не было как на контроле, так и на вариантах со щелеванием. В среднем за 5 лет сток на контроле был выше на 4 мм. Смыв почвы и урожайность сельскохозяйственных культур на вариантах со щелеванием были одинаковыми с контролем. Небольшая стокорегулирующая эффективность щелевания объясняется тем, что во время снеготаяния щели заполняются водой, которая в мерзлой почве быстро превращается в лед, и они становятся водонепроницаемыми, т. е. максимальный эффект щелевания может быть равен объему водозадержания в щелях.

Таким образом, анализ литературных данных и материалы наших исследований показали, что стокорегулирующий эффект щелевания уплотненных видов пашни и других сельскохозяйственных угодий осе-

нию по талой почве составляет в среднем 5-7 мм, а на зяби его совсем нет. Щелевание замерзшей сверху (на 10-12 см) зяби на глубину до 50 см способствует сокращению стока в среднем на 4 мм. Противозерозионный эффект щелевания низкий, а в ряде случаев его нет.

Таблица 2.8

**Показатели стокорегулирующей, противозерозионной и агрономической эффективности щелевания зяби по замерзшей на глубину 10-12 см почве (серые лесные почвы юга ЦРНЗ)**

Показатель	1971 г.		1972 г.		1973 г.		1974 г.		1975 г.		1976 г.		Средние	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Запасы воды в снеге + осадки за период стока, мм	123	128	42	34	62	63	80	78	105	104	138	138	92	91
Водопоглощение, мм	50	65	29	19	31	34	27	36	105	104	138	138	64	66
Сток, мм	73	63	13	15	31	29	53	42	0	0	0	0	28	25
Коэффициент стока	0,59	0,42	0,31	0,44	0,50	0,46	0,66	0,54	0	0	0	0	0,30	0,27
Смыв почвы, $\frac{м^3}{га}^*$ т/га	$\frac{5,5}{1,13}$	$\frac{4,6}{1,0}$	$\frac{0}{0,03}$	$\frac{0}{0,4}$	$\frac{2,2}{0,9}$	$\frac{0,7}{0,8}$	$\frac{1,2}{0,13}$	$\frac{1,6}{0,23}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1,5}{0,4}$	$\frac{1,2}{0,5}$
Урожайность с.-х культур**	6,6	6,4	2,0	2,5	31,2	33,3	137	135	20,9	18,3	31,3	30,8	15,3	15,2
НСР <sub>0,5</sub>	1,3		1,8		3,5		19,7		5,6		5,7			

*Примечание. I – контроль (контролем служила вспашка поперек склона на глубину 25-27 см), II – щелевание; \*в числителе смыв, учтенный по водородиам, в знаменателе – по мутности; \*\*в 1971 и 1972 гг. – гречиха, в 1973 и 1975 гг. – ячмень, в 1974 г. – вика + овес (зеленая масса), в 1976 г. – овес.*

Плоскорезная обработка получила широкое распространение во многих регионах страны. Разрабатывалась она как способ борьбы с дефляцией, но потом стала применяться и как средство для борьбы с водной эрозией, хотя научной основы и количественной оценки ее стокорегулирующей и противозерозионной роли тогда не было дано. К концу 60-х и в начале 70-х годов широко началось изучение эффективности плоскорезной обработки почвы. Уже первые исследования показали, что она способствует большему накоплению снега, увеличению стока при одновременном повышении водопоглощения. К настоящему времени накоплен большой материал по оценке эффективности плоскорезной обработки почвы, в том числе в опытной сети

ВНИАЛМИ автором и под его руководством. В табл. 2.9 обобщены литературные данные, материалы автора, а также результаты исследований, проведенных совместно с М. М. Ломакиным и Е. Я. Тубольцевым и под руководством автора И. И. Гункиным, Ф. А. Абдульмановым, А. И. Петелько, В. А. Ивановой, С. Г. Кириченко, В. И. Антоновым.

Таблица 2.9

**Влияние плоскорезной обработки на сток талых вод, смыв почвы и урожай сельскохозяйственных культур**

Год	Обработка почвы	Запас воды в снеге, мм	Кол-во воды, просочившейся в почву, мм	Сток, мм	Коэффициент стока	Смыв почвы, м <sup>3</sup> /га	Урожай зерна, ц/га	Авторы
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Серая лесная почва, юг ЦРНЗ</i>								
1969	Отвальная	53	31	22	0,41	0,30	5,3	А.Т. Барабанов, М.М. Ломакин
	Плоскорезная	63	9	54	0,86	0	4,0	
1970	Отвальная	196	110	86	0,44	1,80	59,0	Те же
	Плоскорезная	185	79	106	0,57	0,90	74,0	
1971	Отвальная	137	-	-	-	6,70	5,7	А.Т. Барабанов, Е.Я. Тубольцев
	Плоскорезная	143	-	-	-	0	5,1	
1972	Отвальная	51	38	13	0,26	0	1,6	Те же
	Плоскорезная	63	35	28	0,45	0	1,1	
1973	Отвальная	60	36	24	0,40	3,60	21,6	-"-"
	Плоскорезная	69	32	37	0,54	0	18,1	
1974	Отвальная	36	3	33	0,90	1,30	12,6	-"-"
	Плоскорезная	51	13	38	0,74	0	10,2	
1975	Отвальная	91	91	0	0	0	6,5	-"-"
	Плоскорезная	84	84	0	0	0	4,6	
1977	Отвальная	109	108	1	0,01	0		-"-"
	Плоскорезная	112	112	0	0	0		
1978	Отвальная	163	163	0	0	0		-"-"
	Плоскорезная	168	168	0	0	0		
1979	Отвальная	96	74	22	0,23	-	15,5	-"-"
	Плоскорезная	108	95	13	0,22	-	15,3	
1986	Отвальная	82	50	32	0,39	0	191,6	А.Т. Барабанов, А.И. Петелько
	Плоскорезная	80	48	32	0,40	0	154,6	
1987	Отвальная	149	122	27	0,18	0,05	32,2	А.Т. Барабанов, В.А. Иванова
	Плоскорезная	153	120	33	0,22	0,01	30,7	



Продолжение табл. 2.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1988	Отвальная	118	97	21	0,18	0	810,0 <sup>x)</sup>	Те же
	Плоскорезная	133	110	23	0,17	0	670,0 <sup>x)</sup>	
1989	Отвальная	0	0	0	0	0	17,8	-"-"
	Плоскорезная	0	0	0	0	0	19,3	
1990	Отвальная	108	108	0	0	-	250,0 <sup>xx)</sup>	-"-"
	Плоскорезная	101	98	3	0,03	-	230,0 <sup>xx)</sup>	
Сред- ние	Отвальная	97	77	20	0,21	1,06	15,3	
	Плоскорезная	101	75	26	0,26	0,07	14,8	
<i>Темно-серая лесная и черноземные почвы, Западная Сибирь</i>								
1972	Отвальная (пар)	33	19	14	-	9,1	-	А.Н. Каштанов, 1974
1973	Плоскорезная	59	55	4	-	0,53	-	
1974	Отвальная	138	42	96	0,70	1,03	-	А.Д. Орлов, 1981
1975	Отвальная	102	46	56	0,54	5,32	-	-"-"
	Плоскорезная	103	39	64	0,62	2,5	-	
1976	Отвальная	102	92	10	0,10	0,27	-	-"-"
	Плоскорезная	116	110	6	0,05	0,16	-	
1977	Отвальная	151	44	107	0,71	1,25	-	-"-"
	Плоскорезная	157	67	90	0,57	0,35	-	
1978	Отвальная	81	44	37	0,45	4,46	-	-"-"
	Плоскорезная	125	71	54	0,43	2,40	-	
1987	Отвальная	134	106	28	0,21	2,20	6,9	А.Т. Барабанов, С.Г. Кириченко
	Плоскорезная	134	117	17	0,13	0,70	7,5	
1987	Отвальная	136	108	28	0,21	1,70	20,9	-"-"
	Плоскорезная	132	110	22	0,17	1,10	21,9	
1988	Отвальная	88	78	10	0,11	0,22	-	-"-"
	Плоскорезная	89	83	6	0,06	0,03	-	
1989	Отвальная	71	65	6	0,08	0,30	20,9	-"-"
	Плоскорезная	70	66	4	0,05	0,20	21,6	
Сред- ние	Отвальная	97	57	40	0,41	3,20	16,2	
	Плоскорезная	110	78	32	0,29	0,70	17,0	
<i>Серая лесная почва, ЦЧО</i>								
1970	Отвальная	58	44	14	0,24	1,00	-	Г.П. Сурмач, А. И. Крупчат- ников, 1980
	Плоскорезная	54	40	14	0,26	0,14	-	
<i>Черноземы, ЦЧО</i>								
1970	Отвальная	39	32	7	0,180	0,78	-	Те же
1975	Плоскорезная	50	40	10	0,200	0,30	-	

Продолжение табл. 2.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Обыкновенный чернозем, Поволжье</i>								
1969	Отвальная	58	58	0	0	0	8,8	И. И. Гункин
	Плоскорезная	67	67	0	0	0	15,8	
1970	Отвальная	73	65	8	0,110	0,32	13,5	И.И. Гункин
	Плоскорезная	94	78	16	0,170	1,00	12,8	
1971	Отвальная	42	39	3	0,070	4,70	19,4	А. Т. Барабанов, Ф. А. Абдульманов
	Плоскорезная	70	57	13	0,19	2,50	19,5	
1972	Отвальная	124	124	0	0	0	8,1	Те же
	Плоскорезная	124	123	1	0,005	0	8,2	
1973	Отвальная	62	60	2	0,030	0	17,4	-"-"
	Плоскорезная	46	41	5	0,110	0	19,4	
1974	Отвальная	97	85	12	0,170	3,50	27,8	-"-"
	Плоскорезная	152	115	37	0,240	2,00	26,6	
1975	Отвальная	66	66	0	0	0	67,0 <sup>xxx)</sup>	-"-"
	Плоскорезная	85	85	0	0	0	82,1 <sup>xxx)</sup>	
1976	Отвальная	112	112	0	0	0	33,9	-"-"
	Плоскорезная	133	133	0	0	0	38,1	
1977	Отвальная	119	115	4	0,030	0	32,6	Г.Н. Абдульманова, Ф.А. Абдульманов
	Плоскорезная	122	119	3	0,020	0	33,9	
1978	Отвальная	110	87	23	0,210	0,01	30,2	Те же
	Плоскорезная	131	124	7	0,050	0	27,8	
1979	Отвальная	190	174	16	0,080	0,06	11,4	-"-"
	Плоскорезная	203	201	2	0,010	0,01	12,0	
Средние	Отвальная	96	90	6	0,060	0,78	20,3	
	Плоскорезная	111	103	8	0,070	0,50	21,4	
<i>Южный чернозем, Поволжье</i>								
1975	Отвальная	71	63	8	0,120	5,80	16,2	А.И. Шабаев
1985	Плоскорезная	82	72	10	0,120	4,60	15,1	
<i>Капитановая почва, Поволжье</i>								
1986	Отвальная	71	35	36	0,510	7,80	24,9	А.Т. Барабанов, В.И. Антонов
	Плоскорезная	64	22	42	0,660	5,70	23,6	
	Отвальная	141	141	0	0	0	-	
	Плоскорезная	148	148	0	0	0	-	
	Отвальная	47	26,0	21,0	0,45	12,7	23,5	
	Плоскорезная	51	15,0	36,0	0,71	15,6	24,8	
	Отвальная	47	43,0	4,0	0,090	0	12,5	
	Плоскорезная	53	42,0	11,0	0,210	0	9,2	

Окончание табл. 2.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1990	Отвальная	40	21,0	19,0	0,480	21,1	-	-"-"
	Плоскорезная	40	20,0	20,0	0,500	15,2	-	
Сред- ние	Отвальная	69	53,0	16,0	0,230	8,3	20,3	
	Плоскорезная	71	49,0	22,0	0,300	7,3	19,2	
<i>Светло-каштановая почва, Поволжье</i>								
1969	Отвальная	11	11,0	0	0	0	4,9	В.П. Борец, 1973
	Плоскорезная	24	24,0	0	0	0	6,9	
1970	Отвальная	130	122,0	8,0	0,060	7,6	15,2	Те же
	Плоскорезная	147	134,0	13,0	0,090	4,4	15,7	
1970	Отвальная	132	131,0	1,0	0,010	0	-	В.П. Борец, 1973
	Плоскорезная	154	150,0	4,0	0,020	1,6	-	
1971	Отвальная	68	67,6	0,4	0,006	0,5	10,4	Тот же
	Плоскорезная	129	125,0	4,0	0,030	1,6	9,7	
1972	Отвальная	22	22,0	0	0	0	4,9	-"-"
	Плоскорезная	46	46,0	0	0	0	4,1	
1973	Отвальная	18	18,0	0	0	0	-	-"-"
	Плоскорезная	25	25,0	0	0	0	-	
1974	Отвальная	47	47,0	0	0	0	13,3	-"-"
	Плоскорезная	54	54,0	0	0	0	12,1	
1987	Отвальная	99	99,0	0	0	0	17,5	А.Т. Бараба- нов
	Плоскорезная	92	92,0	0	0	0	10,3	
1988	Отвальная	44	39,0	5,0	0,110	10,0	12,7	Тот же
	Плоскорезная	37	26,0	11,0	0,250	11,5	10,6	
1990	Отвальная	31	31,0	0	0	0	19,3	-"-"
	Плоскорезная	46	46,0	0	0	0	17,3	
Сред- ние	Отвальная	60	59,0	1,0	0,020	2,3	12,2	
	Плоскорезная	75	72,0	3,0	0,040	1,9	10,8	

Примечание. <sup>x)</sup> Кукуруза, зеленая масса; <sup>xx)</sup> вико-овсяная смесь; <sup>xxx)</sup> зеленая масса овса.

Материалы этой таблицы показывают, что в европейской части страны плоскорезная обработка способствует небольшому увеличению снеготпасов, стока талых вод и сокращению смыва почвы; водопоглощение находится примерно на уровне контроля. На серых лесных почвах юга ЦРНЗ в среднем за 15 лет плоскорезная обработка обусловила увеличение снеготпасов на 4 мм (с 97 до 101 мм), стока на 6 мм (с 20 до 26 мм) и сокращение смыва с 1,06 до 0,07 м<sup>3</sup>/га. В ряде случаев, особенно в многоводные и средневодные годы (1969-1970, 1973), сток при плоскорезной обработке почвы был выше, чем при отвальной, на 15-

32 мм. Эта разница, как правило, не превышала 5 мм, а в отдельные годы сток на отвальной зяби был даже выше, чем на плоскорезной.

Смыв почвы почти во все годы плоскорезная обработка предотвращала полностью. В многоводные годы снижение смыва достигало 6,7 м<sup>3</sup>/га. Урожай зерновых культур при плоскорезной обработке почвы только 2 года из 11 лет был выше, чем при отвальной. В остальные годы он был ниже, а в среднем за весь период исследований эта разница была небольшая – 0,5 ц/га.

На темно-серых лесных и черноземных почвах Западной Сибири в среднем за 11 лет плоскорезная обработка способствовала увеличению снеготазпасов на 13 мм, водопоглощения – на 21 мм, сокращению стока на 8 мм, смыва почвы на 2,5 м<sup>3</sup>/га. Урожай зерновых культур при плоскорезной обработке в среднем за 4 года был на 0,8 ц/га больше.

В ЦЧО на серых лесных почвах сток при плоскорезной и отвальной обработках в среднем за 6 лет был одинаковый (14 мм). Снеготазпасы и водопоглощение было несколько ниже при плоскорезной обработке почвы. На черноземах ЦЧО плоскорезная обработка способствовала увеличению снеготазпасов на 11 мм, водопоглощения на 8 мм и стока на 3 мм. Смыв почвы при плоскорезной обработке по сравнению с отвальной снижался на серых лесных почвах с 1 до 0,14 м<sup>3</sup>/га, на черноземах – с 0,78 до 0,30 м<sup>3</sup>/га.

На обыкновенных черноземах Поволжья плоскорезная обработка почвы в среднем за 11 лет способствовала увеличению снеготазпасов на 15 мм, водопоглощения на 13 мм, а стока на 2 мм. Смыв почвы уменьшился с 0,78 до 0,50 м<sup>3</sup>/га. Урожай зерновых культур был выше на 1,1 ц/га.

На южных черноземах Поволжья в среднем за 11 лет плоскорезная обработка способствовала увеличению снеготазпасов на 11 мм, водопоглощения на 9 мм. Разница в стоке была незначительная (2 мм), а коэффициент стока был одинаковый (0,12), смыв почвы при плоскорезной обработке снизился с 5,8 до 4,6 т/га. Разница в урожае яровой пшеницы была небольшая: при отвальной вспашке он составил 16,2, при плоскорезной 15,1 ц/га.

На каштановых почвах Поволжья в среднем за 5 лет сток при плоскорезной обработке был на 6 мм больше, снеготазпасы – на 3 мм выше, а водопоглощение на 4 мм ниже. Смыв почвы при отвальной и плоскорезной обработке был соответственно 8,3 и 7,3 м<sup>3</sup>/га, урожай зерновых культур 20,3 и 19,2 ц/га.

На светло-каштановых почвах Поволжья из 10 лет исследований 6 лет стока не отмечалось как при отвальной, так и плоскорезной обработке. В среднем за 10 лет сток при плоскорезной обработке был выше на 2 мм (1 против 3 мм). Снегозапасы были выше на 15 мм, водопоглощение – на 13 мм. Плоскорезная обработка способствовала снижению смыва почвы с 2,3 до 1,9 м<sup>3</sup>/га, урожая зерновых культур с 12,2 до 10,8 ц/га.

Таким образом, по всем зонам европейской части РФ отмечается тенденция к повышению снегозапасов, стока талых вод и водопоглощения при плоскорезной обработке. Причем величина его небольшая. Сток увеличивается на 2-6 мм, снегозапасы на 4-15 мм, водопоглощение на 8-13 мм (в ряде случаев оно уменьшалось). В Западной Сибири сток при плоскорезной обработке уменьшается на 8 мм, а снегозапасы и водопоглощение увеличиваются соответственно на 13 и 21 мм. Противоэрозионная роль плоскорезной обработки высокая. Причем в зональном плане она увеличивается при движении с юга на север.

Мульчирование зяби соломой. Оценке стокорегулирующей, противоэрозионной и агрономической эффективности мульчирования зяби соломой (сплошное покрытие поверхности пашни) уделялось очень мало внимания. Это связано, видимо, с тем, что прием этот не имеет перспектив применения в производстве. Во-первых, для этого потребуются очень много соломы, во-вторых, в стране совсем нет средств механизации для его осуществления. Нам было важно в принципе выявить возможности этого приема с целью определения путей дальнейшего совершенствования противоэрозионных мероприятий. При этом создавались условия, при которых сохранялось бы рыхлое сложение верхнего слоя почвы, поры не закупоривались бы льдом и не сплывались комочки почвы. Конечно, такое мульчирование очень трудоемко и, видимо, применения в производстве не найдет, однако в будущем, возможно, удастся получить дешевые мульчматериалы и применять их.

Результаты наших опытов по оценке эффективности мульчирования зяби, проведенных совместно с Е. Я. Тубольцевым на серых лесных почвах Новосильской ЗАГЛОС, приведены в табл. 2.10. Мульча способствовала сохранению комочков почвы от разрушения и поддержанию верхнего слоя в более рыхлом состоянии. Это, в свою очередь, обеспечивало просачивание влаги во время зимних оттепелей из верхнего слоя в более глубокие и предохраняло поры от закупорки льдом.

Таблица 2.10

**Показатели стокорегулирующей, противозрозионной и агрономической эффективности мульчирования зяби соломой**

Показатель	1972 г.		1973 г.		1974 г.		1975 г.	
	контроль	мульчирование	контроль	мульчирование	контроль	мульчирование	контроль	мульчирование
Запас воды в снеге + осадки за период снеготаяния, мм	42	46	62	71	80	79	105	115
Сток, мм	13	5	31	26	53	40	0	0
Коэффициент стока	0,13	0,11	0,50	0,37	0,66	0,51	0	0
Смыв почвы, $\frac{м^3}{га}$ т/га	$\frac{0}{0,03}$	$\frac{0}{0,02}$	$\frac{2,2}{0,9}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1,2}{0,13}$	$\frac{0}{0}$	0	0
Урожай, ц/га	2,0	2,7	31,2	33,7	137,0	168,0	20,9	28,9

*Примечание. Здесь и в табл. 2.11 в 1972 г. гречиха; в 1973, 1975 ячмень; в 1974 вико-овсяная смесь.*

На контроле без мульчирования комочки почвы разрушались под действием осенних осадков, некапиллярные поры превращались в капиллярные, закупоривались льдом и поверхность почвы становилась ровной и монолитной, а местами на ней образовывалась ледяная корка. Водопоглощение почвой под мульчей было несколько выше. В 1972 г. сток сократился с 13 до 5 мм, а просачивание увеличилось с 29 до 41 мм. В 1973 г. сток уменьшился с 31 до 26 мм, а в 1974 г. – с 53 до 40 мм. В 1975 г. стока не было на всех вариантах. Таким образом, стокорегулирующая эффективность мульчирования зяби составила 5-7 мм. Мульчирования было недостаточно для длительного сохранения водопропрочной структуры и значительного сокращения стока. Необходимо совершенствовать приемы повышения водопропрочности структуры, возможно, путем применения химических структурообразователей.

В противозрозионном отношении мульчирование зяби оказалось высокоэффективным. Во все годы исследований смыва почвы на вариантах с мульчированием не отмечалось. Урожай сельскохозяйственных культур был выше на мульчированной зяби.

Запашка соломы в почву. Этот прием применялся с целью обогащения серой лесной почвы (юг ЦРНЗ) органическим веществом, повышения ее порозности, особенно некапиллярной, и впитывающей способности почвы. Перед запашкой солому (10-12 т/га) разбрасывали ровным слоем по поверхности почвы. Данные о стокорегулирующей, противозэрозийной и агрономической эффективности запашки соломы приведены в табл. 2.11. Этот прием способствовал сокращению стока на 5-6 мм. Величина смыва не отличалась существенно от контроля. Данные по урожайности сельскохозяйственных культур получены противоречивые, но имеется тенденция к увеличению урожайности на вариантах с запашкой соломы. Таким образом, для оценки этого приема требуется дальнейшее углубленное изучение.

Таблица 2.11

**Показатели стокорегулирующей, противозэрозийной и агрономической эффективности запашки соломы в почву**

Показатель	1972 г.		1973 г.		1974 г.		1975 г.	
	кон- троль	запаш- ка со- ломы	кон- троль	запаш- ка со- ломы	кон- троль	запаш- ка со- ломы	кон- троль	запаш- ка со- ломы
Запас воды в снеге + осадки за период снеготаяния, мм	51	48	70	66	64	62	86	82
Кол-во просочившейся в почву воды, мм	38	40	39	41	14	13	86	82
Сток, мм	13	8	31	25	50	49	0	0
Коэффициент стока	0,26	0,17	0,44	0,38	0,78	0,80	0	0
Смыв почвы, $\frac{м^3}{га}$ / т/га	$\frac{0}{0,08}$	$\frac{0}{0,04}$	$\frac{0,9}{0,9}$	$\frac{0,5}{0,4}$	$\frac{2,2}{0,03}$	$\frac{2,1}{0,41}$	0	0
Урожай, ц/га	1,6	1,4	30,5	33,1	213	211	35,3	37,4

Регулирование снеготаяния. К приемам регулирования снеготаяния относятся полосное зачернение, уплотнение, валкование и мульчирование снега, рекомендуемые без достаточного обоснования. Стокорегулирующая роль этих приемов обычно оценивается без изучения стока. Они получили положительную оценку в работах С. С. Соболева (1961),

Г. А. Пресняковой (1962), А. С. Шамшина (1961), В. А. Машкина (1981), Б. Д. Рожкова, Ю. В. Максимова (1985) и др. Впервые Г. П. Сурмач (1976) отметил незначительную стокорегулирующую эффективность приемов регулирования снеготаяния или полное ее отсутствие. Но тогда было мало экспериментального материала для убедительного доказательства этого. Мы провели изучение эффективности полосного зачернения снега, мульчирования его соломой и уплотнения на серых лесных почвах Новосильской ЗАГЛОС с 1967 по 1975 гг. (в исследованиях принимали участие М. М. Ломакин в 1969-1971 гг. и Е. Я. Тубольцев, 1972-1975 гг.). В расчет принималось то, что на зачерненных полосах снег быстрее стаивает, а освобожденная от снега почва быстрее оттаивает сверху и тем самым улучшается впитывание талой воды в нее; на уплотненных полосах снег тает медленнее, чем между полосами, талые воды задерживаются полосами нарастающего снега, способствуя большему водопоглощению и уменьшению смыва почвы; полосное мульчирование обуславливает неравномерный сход снега, повышение водопоглощения, снижение стока и смыва почвы.

Наши исследования показали, что полосное зачернение снега в многоснежном 1967 г. способствовало ускорению стаивания снега на полосах и сокращению стока со 150 до 128 мм (табл. 2.12). Однако смыв почвы увеличивался в два раза, поскольку на освободившихся от снега участках талая вода концентрировалась в ручьи и стекала с большей скоростью, что усиливало эрозию. Наблюдения показали, что при равномерном снеготаянии (без зачернения) доля воды, производившей смыв почвы, составляла 52 %, а при зачернении 73 % от величины стока. В 1968 г. стока не было и зачернение снега не сыграло никакой роли, в 1969 и 1970 гг. зачернение снега было неэффективно в сокращении как стока, так и смыва. Урожай сельскохозяйственных культур был на уровне контроля.

Данные по эффективности замедления снеготаяния (полосное укрытие снега соломой) были получены только в 1973 г. В 1974 г. из-за малого количества снега, а в 1975 г. из-за отсутствия стока укрывать снег было нецелесообразно. Стокорегулирующая эффективность такого приема оказалась невысокой. Сток в 1973 г. сократился с 31 до 27 мм, а коэффициент стока с 0,50 до 0,40. На полосах, покрытых соломой, снеготаяние проходило медленнее. Основная масса снега таяла после схода его в межполосном пространстве, где в это время почва уже начинала оттаивать сверху. Талая вода, попадая на оттаявшую, сильно увлажненную почву, частично просачивалась, а остальная сте-



кала, проделывая проходы в нерастаявших полосах снега. Это указывает на низкую стокорегулирующую эффективность приема. На смыв почвы и урожайность ячменя полосное мульчирование снега оказало небольшое влияние. Следует отметить, что неравномерный сход снега привел к неравномерному созреванию почвы, что создало трудности в проведении полевых работ ранней весной.

Таблица 2.12

**Показатели стокорегулирующей, противозрозионной и агрономической эффективности регулирования снеготаяния (Новосильская ЗАГЛОС)**

Год	Фон	Запас воды в снеге, мм	Водопоглощение, мм	Сток, мм	Коэффициент стока	Смыв почвы, м <sup>3</sup> /га	Урожай, ц/га
1967	Контроль	196	46	150	0,76	7,2	-
	Полосное зачернение снега	199	71	128	0,64	13,40	-
1968	Контроль	150	150	0	0	0	-
	Полосное зачернение снега	156	156	0	0	0	-
1969	Контроль	53	31	22	0,43	0,30	5,3
	Полосное зачернение снега	54	28	26	0,48	0,48	6,0
1970	Контроль	196	110	86	0,44	1,80	59,0
	Полосное зачернение снега	196	113	83	0,42	2,30	74,0
1973	Контроль	62	31	31	31,00	0,50	31,2
	Полосное зачернение снега	69	42		27,00	0,39	32,5

Изучалось также влияние уплотнения снега на скорость его таяния. В 1967 г. разница в исходной высоте снега на уплотненных (плотность снега 0,44 г/см<sup>3</sup>) и на неуплотненных (0,26 г/см<sup>3</sup>) площадках колебалась от 8 до 18 см. Средняя скорость таяния снега на контроле была выше (2,8 против 2,0 см/сут.), поэтому и на уплотненных и неуплотненных площадках он растаял одновременно. В 1968 г. средняя исходная высота уплотненного снега (0,61 г/см<sup>3</sup>) составляла 37 см, неуплотненного (0,38 г/см<sup>3</sup>) 49 см. Характер его таяния был таким же, как и в предыдущем году, и почва от снега освободилась одновременно.

Таким образом, все изучаемые приемы регулирования снеготаяния не сыграли существенной положительной роли в сокращении стока и смыва, в повышении увлажнения почвы и урожайности сельскохозяйственных культур.

Анализ и обобщение литературных данных и проведенные нами исследования показали, что агротехнические средства не позволяют существенно влиять на поглощение почвой влаги зимних осадков.

Они, обладая таким важным положительным свойством, как воздействие на всю территорию, на которой они применяются, малоэффективны в стокорегулирующем и противоэрозионном отношении. Наиболее перспективными приемами в комплексе противоэрозионных мер могут быть:

регулирование поверхностного стока путем потускулярного перевода его в грунтовой (лесные полосы, водозадерживающие валы и канавы) или безопасного сброса по поверхности (наклонные водоотводящие борозды, распылители стока, водоотводящие валы и др.);

повышение противоэрозионной устойчивости почв (минимализация обработки, плоскорезная обработка, использование многолетних трав для улучшения структуры почв и др.);

использование почвозащитных свойств растительности (почвозащитные севообороты, постоянное залужение сильноэродированных участков и водотоков, совершенствование структуры посевных площадей и др.).

Низкая стокорегулирующая и противоэрозионная эффективность агротехнических приемов не должна являться причиной отказа от них. Они могут применяться в комплексе с другими противоэрозионными мероприятиями. На основе обобщения материалов исследований (в том числе и данных автора) нами совместно с Г. П. Сурмачем разработаны перечень агротехнических противоэрозионных приемов, рекомендуемых для применения в составе почвозащитных технологий и самостоятельно (табл. 2.13), и основные элементы почвозащитной технологии возделывания сельскохозяйственных культур на склонах (табл. 2.14).

В результате количественной оценки эффективности агротехнических приемов нами совместно с Г. П. Сурмачем и А. И. Крупчатниковым разработаны коэффициенты их почвозащитного влияния (табл. 2.15), которые используются при проектировании комплекса противоэрозионных мероприятий на расчетной основе с применением ЭВМ.

Таким образом, анализ стокорегулирующей, противоэрозионной и агрономической эффективности агротехнических приемов показал, что она очень низка. Это говорит о том, что переоценка их роли, характерная в настоящее время для литературы, опасна, так как она создает иллюзию благополучия и снимает необходимость применения других противоэрозионных мероприятий и особенно лесомелиоративных, без которых невозможно создать надежную противоэрозионную защиту.

Таблица 2.13

**Агротехнические противоэрозионные приемы, рекомендуемые для применения в составе почвозащитных технологий и самостоятельно**

Прием обработки и др. мероприятия	Почва	Агрофон, культура, часть склона и его крутизна, степень смытости почвы						
		пар черный	озимые	яровые зерновые, зернобобовые и однолетние травы	приводораздельные земли до 3°, несмытые и слабосмытые	приводораздельные земли до 3°, несмытые и слабосмытые	приводораздельные земли до 3°, несмытые и слабосмытые	пропашные
1	2	3	4	5	6	7		
Вспашка поперек склона на глубину 20-22 см	Серые лесные, черные, каштановые	+	+	+				
То же 27-30 см	Черноземы							+
То же с почвоуглубителями или вырезными корпусами	Серые лесные, черные, каштановые						+	+
Безотвальная и плоскорезная обработка	Те же						+	
Обвалование зяби	"-"-"	+					+	+
Узкорядный посев	"-"-"		+				+	
Прерывистое бородование, глубокое рыхление, окуливание пропашных	"-"-"							+

Продолжение табл. 2.13

1	2	3	4	5	6	7
Внесение удобрений: органических минеральных	Серые лесные, черноземы, каш- тановые	+				
	Те же	+	+	+	+	+
Наклонные, водоотводящие борозды или водоотводящие валы с широким основанием	Те же	+	+	+	+	+
Регулирование снегоотложения (снегозадержание)	- "- "	+	+	+	+	+
Залужение ложбин	- "- "					
Размываемые ложбины преимущественно притрассевой зоны						

Таблица 2.14  
**Основные элементы противоэрозийной технологии возделывания сельскохозяйственных культур на склонах**

Культура	Земельный фонд, крутизна склона, севообороты	Смытость почв	Элементы технологии
1	2	3	4
<i>Почвы серые лесные</i>			
Пар черный	Приводораздельный, 0-3°, полевые	Несмытые и слабо-смытые	Вспашка поперек склона (или по контуру) на 20-22 см с почвоуглублением до 30-35 см, нарезка водоотводящих борозд через 50-70 м (в некоторых случаях практичнее построить водоотводящие валы с широким основанием), регулирование снегоотложения, весеннее боронование в 2 следа, культивация поперек склона по мере прорастания сосняков, посев кулис из высокостебельных растений поперек склона (по 2 ряда через 10-12 м, июнь – начало июля)
Озимые	Приводораздельный, при-сетевой, 0-7°, полевые почвозащитные	Несмытые, слабо- и сильносмытые	Вспашка почвы на глубину 20-22 см после непаровых предшественников, посев поперек склона
Яровые зерновые и однолетние травы	Приводораздельный, 0-3°, полевые	Несмытые и слабо-смытые	Зяблевая вспашка поперек склона (или контуру) на 20-22 см с почвоуглублением, нарезка водоотводящих борозд через 70-80 м, весеннее боронование в 2 следа, предпосевная культивация, посев поперек склона
Яровые зерновые и однолетние травы	Присетевой, более 3°, почвозащитные	Средне- и сильносмытые	Безотвальная (плоскорезная) зяблевая обработка или отвальная вспашка поперек склона на глубину 20-22 см плугом с почвоуглубителями или вырезными отвалами, нарезка водоотводящих борозд через 50-70 м, регулирование снегоотложения, весенняя обработка БИГ-3 или боронование в 2 следа, предпосевная культивация и посев поперек склона

Продолжение табл. 2.14

1	2	3	4
Многолетние травы	Приводораздельный присетевой, 0-7°, полевые и почвозащитные	Несмытые, слабые, средние, сильносмытые	Регулирование снегоотложения (снегозадержание)
Пропашные культуры	Приводораздельный, 3°, полевые	Несмытые и слабые	Зяблевая вспашка поперек склона на глубину 20-22 см с почвоуглублением до 30-35 см, нарезка водоотводящих борозд через 50-70 м, регулирование снегоотложения, весеннее боронование в 2 следа, предпосевная культивация, посев и посадка поперек склона, глубокое рыхление или прерывистое бороzdование междурядий одновременно с культивацией, бороzdование с окуливанием растений
<i>Черноземы</i>			
Пар черный	Приводораздельный, 0-4°, полевые	Несмытые и слабые	Зяблевая вспашка поперек склона (или по контуру) на глубину 25-27 см, нарезка водоотводящих борозд через 80-100 м, регулирование снегоотложения (снегозадержание), весеннее боронование в 2 следа, культивация поперек склона, посев кулис из высокостебельных сельскохозяйственных растений (по 2 ряда через 10-12 м, июнь — начало июля)
Озимые	Приводораздельный присетевой, 0-7°, полевые и почвозащитные	Несмытые, слабые, средние и сильносмытые	Вспашка почвы после непаровых предшественников на глубину 20-22 см или поверхностная обработка на глубину 10-12 см, посев поперек склона, регулирование снегоотложения (снегозадержание)
Яровые зерновые и однолетние травы	Приводораздельный, 0-4°, полевые	Несмытые и слабые	Зяблевая вспашка поперек склона (или по контуру) на глубину 25-27 см, нарезка водоотводящих борозд через 80-100 м, регулирование снегоотложения (снегозадержание), весеннее боронование в 2 следа, культивация и посев поперек склона

Продолжение табл. 2.14

1	2	3	4
Яровые зерновые и однолетние травы	Присетевой, более 4°, почвозащитные	Средне- и сильносмытые	Безотвальная (плоскорезная) зяблевая обработка поперек склона на глубину 25-27 см или отвальная вспашка поперек склона на глубину 20-22 см с почвоуглублением до 30 см, нарезка водоотводящих борозд через 50-70 м, регулирование снегоотложения (снегозадержание), боронование в 2 следа, культивация и посев поперек склона
Пропашные	Приводораздельный, 0-4°, полевые	Несмытые и слабосмытые	Зяблевая вспашка поперек склона (или по контуру) на глубину 27-30 см, нарезка водоотводящих борозд через 80-100 м, регулирование снегоотложения (снегозадержание); весеннее боронование в 2 следа, культивация, посев и посадка поперек склона, глубокое рыхление и прерывистое бороzdование междурядий одновременно с культивацией по мере прорастания сорняков, бороzdование и окуливание растений
Многолетние травы	Приводораздельный и присетевой, 0-7°, полевые и почвозащитные	Несмытые, слабо- и сильносмытые	Регулирование снегоотложения (снегозадержание)
<i>Капитановые почвы</i>			
Пар черный	Приводораздельный, 3°, полевые	0-Несмытые и слабосмытые	Плоскорезная обработка поперек склона на глубину 25-27 см или вспашка на глубину 27-30 см, нарезка водоотводящих борозд через 70-80 м, снегозадержание, весеннее боронование в 2 следа, культивация поперек склона по мере прорастания сорняков, посев кулис из высокоствельных сельскохозяйственных культур (по 2 ряда через 10-12 м, июнь – начало июля)

Окончание табл. 2.14

1	2	3	4
Озимые	Приводораздельный и присетевой, 0-7°, полевые и почвозащитные	и Несмытые, слабо-средне- и сильносмытые	Поверхностная обработка на глубину 10-12 см после го-роха, однолетних трав, пропашных, посев поперек склона, регулирование снегоотложения снегозадержание).
Яровые зерно-вые, однолетние травы горчица, просо	Приводораздельный и присетевой, 0-7°, полевые и почвозащитные	и Несмытые, слабо-средне- и сильносмытые	Плоскорезная обработка или вспашка на глубину 25-27 см (под просо на 28-30 см), нарезка водоотводящих борозд через 70-80 м, регулирование снегоотложения (снегоза-держание), весеннее боронование в 2 следа, предпосевная культивация, посев поперек склона
Многолетние травы	Приводораздельный и присетевой, 0-7°, полевые и почвозащитные	и Несмытые, слабо-средне- и сильносмытые	Щелевание, снегозадержание
Пропашные культуры	Приводораздельный, 0-3°, полевые	и Несмытые и слабо-смытые	Зяблевая вспашка поперек склона на глубину 25-27 или 20-22 см с почвоуглублением, нарезка водоотводящих бо-розд через 70-80 м, регулирование снегоотложения, ве-сеннее боронование в 2 следа, предпосевная культивация и посев поперек склона, глубокое рыхление или прерыви-стое боронование междурядий одновременно с культи-вацией, боронование с окучиванием растений

*Примечание. Полевые севообороты – зернопаропропашные, паропропашные и др., почвозащитные севообороты – зерноотравяные, травяно-зерновые.*



Таблица 2.15

**Коэффициенты противоэрозионного влияния агротехнических приемов**

Наименование приемов	Черноземы			Серые лесные почвы		
	несмытые и слабосмытые	средне-смытые	сильносмытые	слабосмытые	средне-смытые	сильносмытые
Глубокая зяблевая вспашка	0,88	0,88	0,88	0,83	0,83	0,83
Искусственный микрорельеф на пропашных культурах (прерывистое бороздование, окучивание)	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Плоскорезная обработка	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Узкорядный и перекрестный сев	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Внесение удобрений	0,80	0,75	0,70	0,75	0,70	0,65
Глубокое щелевание зяби, озимых и многолетних трав	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Регулирование снеготложения (снегозадержание)	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85

**2.4. Гидротехнические мероприятия на пашне**

К простейшим гидротехническим противоэрозионным мероприятиям на пашне относятся водоотводящие валы, каналы с валами, валы-террасы, водоотводящие борозды и др. Они применяются во взаимосвязи с другими противоэрозионными мероприятиями и особенно с лесомелиоративными. Гидротехнические мероприятия на пашне в нашей стране изучались мало и пока не находят широкого применения.

Водопоглощающие каналы с валами впервые были использованы для регулирования стока и борьбы с оврагами на Новосильской опытно-овражной станции под руководством А. С. Козменко в период 1928-1932 гг. Канавы глубиной 1,2 м и валы высотой 0,9 м, расположенные вдоль горизонталей на расстоянии 80-160 м друг от друга, позволили полностью зарегулировать сток, прекратить оврагообразование и смыв почвы на водосборе.

В 60-е годы во Всероссийском НИИ виноградарства и виноделия предложена система противоэрозионных мелиоративных мероприятий с контурно-полосной организацией территории, предусматривающей, наряду с размещением лесных полос, границ полей, дорог и рядов плодовых насаждений вдоль горизонталей, применение водопоглощающих канав с валами, заполняемых органическими наполнителями; соломой, виноградной лозой и др. (Я. И. Потапенко, 1971; Б. А. Музыченко, Н. Р. Толоков и др., 1974). Расстояния между водопоглощающими канавами рекомендуются определять на основе расчетов. Для Ростовской обл. они варьируют в зависимости от крутизны склонов в следующих пределах: в северных районах от 20 до 310 м, в южных – от 25 до 470 м. При таком устройстве канавы обеспечивают регулирование стока талых вод 10 %-ной вероятности превышения.

Высокую стокорегулирующую и противоэрозионную роль играют водоотводящие (водонаправляющие) валы-ложбины в системе контурно-мелиоративного земледелия, разработка которой проводится с 1969 года в Алтайском научно-исследовательском институте земледелия и селекции под руководством А. Н. Каштанова. По данным В. Г. Ткаченко (1982), наиболее эффективными сооружениями в системе контурно-мелиоративного земледелия оказались водоотводящие валы-ложбины, совмещенные с дорожной, полезащитной и оросительной сетью. Они, отводя воду на безопасные участки, предотвращают смыв почвы, позволяют нарезать одинаковой ширины рабочие загоны, избежать крутых поворотов, создают возможность аккумулировать не поглотившиеся на пашне талые воды в склоновых лиманах и водохранилищах. Сток талых вод на вариантах с водоотводящими валами в системе контурно-полосной организации территории в целом по водосбору уменьшился с 60-85 до 16-22 мм, а смыв – с 40,9 до 5,2 м<sup>3</sup>/га. Урожай зерновых культур на ранее эродированных залуженных землях второй и третьей категории повысился в 8,1 раза, а на фоне активного снегозадержания (посев кулис) – в 12 раз.

По данным Г. П. Сурмача (1976), в опытной сети ВНИАЛМИ получены следующие показатели водопоглощения в открытых канавах: на серых лесных суглинистых почвах Новосильской ЗАГЛОС Орловской обл. в старой траншее с осыпавшимися стенками около 0,3 мм/мин, в свежих канавах около 0,1, на глинистом черноземе Поволжской АГЛОС Самарской обл. 0,05, на светло-каштановых легкосуглинистых почвах под Волгоградом около 0,16 мм/мин.

Изучение эффективности водопоглощающих канав с валами в опытном хозяйстве ВНИИЗиЗПЭ (А. Г. Рожков, В. К. Подгорный, 1981) показало, что при расстоянии между ними 61,2 м сток талых вод и смыв почвы были полностью предотвращены (на контроле сток составил 38 мм, смыв 1,7 т/га), а при расстоянии 82,3 м сформировался незначительный сток (1 мм), смыва тоже не было.

Валы-террасы на пашне играют очень большую стокорегулирующую, противозерозионную и агрономическую роль. Исследования валов-террас в довоенные годы на Новосильской опытной станции не выявили их положительной роли. Неравномерность гумусового слоя, большая пестрота урожая, обусловленные применением валов, усложнение сельскохозяйственных работ и трудности в эксплуатации – все это не позволило рекомендовать их в производство.

Подгорный В. К. (1988) обобщил мировой и отечественный опыт по применению валов-террас и провел многолетние исследования по оценке их эффективности на серых лесных почвах и черноземах Курской обл. Им выявлено влияние валов-террас на снегоотложение, промерзание и влажность почвы, сток талых вод, смыв почвы и урожайность сельскохозяйственных культур. По его данным, на нетеррасированных склонах среднемноголетняя высота снега в конце зимы составляла 19-20 см, глубина промерзания 82 см, а на террасированных склонах мощность снежного покрова увеличивалась до 40-43 см, глубина промерзания уменьшалась в 2-2,3 раза. Сток талых вод снижался под влиянием валов-террас в среднем за период с 1976 по 1982 гг. на черноземах с 45 до 9-15 мм, на темно-серых лесных почвах с 59 до 1-8 мм. Смыв почвы в производственных условиях снижался на черноземах с 5,2 до 0,6 м<sup>3</sup>/га, а на темно-серых лесных почвах с 19,8 до 1,6 м<sup>3</sup>/га.

Наклонные водоотводящие борозды применяются для защиты почвы от смыва на нижележащих участках. Их устраивают по нижней границе полей или внутри полей через 50-100 м плугом с одним корпусом с уклоном по линии пахоты не более 1,0-1,5°. В литературе это вопрос освещен слабо. В опытах В. Н. Дьякова (1964) на серых лесных почвах Новосильской ЗАГЛОС водоотводящие борозды способствовали уменьшению смыва почвы на зяби с 19 до 4,3 м<sup>3</sup>/га (в 4,5 раза). И. Д. Брауде (1965) на основании 5-летних исследований указывал на высокую эффективность водоотводящих борозд. Высокая их эффективность выявлена также в опытах Г. П. Сурмача в 1963 г. и в наших опытах в 1964-1966 гг. на светло-каштановых почвах Волгоградской обл. В

1963 г. в январскую оттепель наклонные борозды уменьшили смыв в 5-8 раз, а во время весеннего снеготаяния в 2-3 раза. В 1964 г. они сократили смыв в период весеннего снеготаяния с 2,5-3,3 до 0-0,7 м<sup>3</sup>/га, а во время ливней с 1,8-15,5 до 0-3,2 м<sup>3</sup>/га. В 1965 г. смыв был уменьшен с 8,2-11,6 до 1,9-2,1 м<sup>3</sup>/га, а в 1966 г. с 5,8-10,9 до 0-1,2 м<sup>3</sup>/га.

Наши исследования совместно с Е. Я. Тубольцевым на серых лесных почвах Новосильской ЗАГЛОС в 1973 и 1974 гг. показали, что борозды, проведенные через 30-40 м с углом наклона вдоль борозды 1,0-1,5°, способствовали сокращению смыва в 2-4,3 раза, а иногда и полному его предотвращению.

Приведенные материалы показывают, что наклонные водоотводящие борозды обеспечивают высокий противозерозийный эффект. Они способствуют сокращению смыва в 2-8 раз, а в ряде случаев полному его предотвращению.

Таким образом, гидротехнические приемы на пашне, направленные на поверхностное водозадержание и увеличение водопоглощения (валы-террасы, водопоглощающие канавы с валами), обеспечивают уменьшение стока на 30-50 мм и смыва-почвы в 8-12 раз. Однако все эти приемы имеют относительно высокую стоимость, они направлены на строго контурную организацию территории, что создает сложности в организации работ и их эксплуатации. Все это сдерживает их внедрение в практику.

Водоотводящие устройства (наклонные водоотводящие борозды и валы) обеспечивают снижение смыва в 2-8 раз или полное его предотвращение. Они дешевы, просты в создании и эксплуатации, поэтому их целесообразно применять в производстве.

## **2.5 Противозерозийная лесомелиорация – важнейший антропогенный фактор почвозащитной системы земледелия**

### **2.5.1. Влияние контурных стокорегулирующих лесных полос на природные факторы**

Лесомелиоративные мероприятия, являясь важнейшим антропогенным фактором почвозащитной системы земледелия, играют многофункциональную роль. По своему назначению и мелиоративному воздействию лесные полосы подразделяются на полезащитные, стокорегулирующие, прибалочные и приовражные. Воздействуя на при-

родные факторы (снегозапасы, влажность и промерзание почвы, температуру воздуха и почвы и др.), они влияют на засухи и суховеи, эрозионно-гидрологические процессы и урожайность сельскохозяйственных культур. В предыдущих разделах было показано, что важнейшими природными факторами, влияющими на эрозионно-гидрологические процессы, являются снегозапасы, характер снеготложения, увлажнение и промерзание почвы. Рассмотрим их влияние.

2.5.1.1. Снегозапасы и снеготложение. На снеготложение наряду с антропогенными факторами сильное воздействие оказывает характер ветрового режима территории. Е. А. Гаршиным (1988) на основе анализа данных почти по 2000 метеостанций СССР составлена карта районов по ориентации осей преобладающих направлений ветра. Им сделан вывод о том, что на подавляющей части этой территории слабо выражено преобладающее направление ветров, а степень выраженности их нарастает по мере приближения к горным странам, причем субпараллельно горам. Это важно учитывать при анализе влияния снегозапасов и снеготложения на эрозионно-гидрологические процессы, а в связи с этим и влияния на них лесных полос.

Рассмотрим сначала характер снеготложения на территориях без лесной мелиорации в условиях разного ветрового режима. Это необходимо знать для уяснения закономерностей процессов смыва на склонах разной экспозиции и влияния лесных полос на снеготложение, а через него – на эрозионно-гидрологические процессы.

По приведенным Г. П. Сурмачем (1972) данным Новосибирской опытной станции в условиях центральной лесостепи европейской территории РФ склоны по накоплению на них снега характеризуются следующими коэффициентами: ровная приводораздельная площадь (контроль) 1; склоны восточной, юго-восточной и южной экспозиций 0,5; северо-восточной 1; юго-западной 1,2; северной и западной 1,5; северо-западной 2. То есть, в условиях, где слабо выражено направление метельных ветров, снегозаносимыми являются склоны северной, северо-западной и западной экспозиций, а снегосдуваемыми – восточной, южной и юго-восточной экспозиций. В лесостепи Западной Сибири (Алтайский край), где ярко выражено господствующее направление метельных ветров (с юго-запада на северо-восток), снегозаносимыми являются склоны северо-восточной экспозиции, а снегосдуваемыми – склоны, обращенные на юго-запад. Склоны других экспозиций занимают промежуточное положение. В европейской части РФ в районах

активного проявления водной эрозии нет такой выраженности направления метельных ветров и поэтому такой четкой закономерности в снегоотложении здесь не наблюдается, т. е. в разные годы снеготаяния и снегоотложения могут быть разные склоны.

Закономерность снегоотложения и снеготаяния на склонах разных экспозиций в связи с характером ветрового режима следующая. На снеготаяющих склонах мощность снежного покрова сверху вниз увеличивается, а на снеготаяемых уменьшается. Это обуславливает разный характер таяния снега и обнажения почвы. На снеготаяемых склонах раньше обнажается от снега почва на нижних участках, то есть идет постепенное таяние снега снизу вверх. При этом поступающая сверху на нижележащие участки склонов вода вызывает интенсивный смыв почвы. На снеготаяющих склонах, наоборот, почва освобождается от снега сверху вниз, а стекающая вода поступает в снег и эрозия протекает менее интенсивно. Поэтому снегоотложение необходимо регулировать так, чтобы мощность снежного покрова увеличивалась сверху вниз по склону. Для этого можно использовать разные способы: лесные полосы, кулисы из сельскохозяйственных растений, снегозадержание путем распашки и уплотнения снега и др.

Лесные полосы, как постоянно действующий фактор, оказывают мощное влияние на накопление снега и характер снегоотложения. Причем влияние это зависит от ветрового режима, способа их размещения, конструкции, параметров (количество рядов, ширина и др.), расстояния между ними. Как в зональном плане, так и на разных элементах рельефа и при различной ориентации к странам света это воздействие бывает разное. Роль лесополос (в основном защитных) достаточно хорошо освещена в литературе (Г. Н. Высоцкий, 1963; А. П. Бычков, 1954; Т. И. Алифанова, 1960; В. В. Захаров, 1960; Г. Ф. Басов и М. Н. Грищенко, 1963; М. И. Львович, 1963; В. А. Каргов, 1971; А. М. Бялый, Б. А. Исупов, Ф. С. Черников, 1975; П. Д. Никитин, 1975; Г. П. Сурмач, Е. А. Гаршинев и др., 1975; И. П. Сухарев, 1976, и др.), и поэтому мы здесь остановимся только на особенностях снегоотложения в связи с воздействием на него стокорегулирующих лесных полос в разных условиях.

Много снега накапливается в лесных полосах плотной конструкции и в коротких снежных шлейфах, в ажурных полосах снега собирается меньше и снежные шлейфы длиннее, а продуваемые полосы наиболее равномерно распределяют снег на полях, причем в самих

лесополосах его иногда может быть меньше, чем в поле. Лесные полосы по жизнеобеспечению и влиянию на эрозионно-гидрологические процессы сильно отличаются друг от друга. Лесополосы плотной конструкции, собирая в себе и в коротких шлейфах много снега, могут полностью предохранять почву от промерзания или резко уменьшать его глубину, что часто обуславливает полное или почти полное водопоглощение на этих участках и обеспечение деревьев влагой. На снегонакопление в поле они мало воздействуют. Необходимо решение задачи борьбы с эрозией почв в межполосном пространстве. Полосы продуваемой конструкции, несмотря на общее увеличение снегозапасов, мало влияют на глубину промерзания почвы, что снижает их стокорегулирующие возможности, а повышенные снегозапасы могут приводить к увеличению стока и эрозии. Лесополосы ажурной конструкции занимают промежуточное положение по воздействию на указанные показатели. Это общая схема влияния лесополос на снегонакопление и снегоотложение. В зональном плане в зависимости от рельефа, ветрового режима, конструктивных особенностей лесополос и других факторов она может меняться. В европейской части РФ, где не выражено или слабо выражено направление метельных ветров, снегоотложение происходит в основном по описанной выше схеме без особой дифференциации по экспозициям склонов. В Нижнем Поволжье, по данным В. И. Антонова, полученным в 1986-1990 гг. под руководством автора в районе г. Камышина (табл. 2.16), в системе контурных стокорегулирующих лесополос снега накапливалось и сохранялось значительно больше, чем в открытом поле, но откладывался он неравномерно. В лесополосах его накапливалось от 46 до 102 см (запасы воды 128-389 мм), в шлейфовых частях 20-84 см (60-260 мм), в межшлейфовых частях 10-48 см (34-148 мм) и в открытом поле 7-48 см (24-148 мм).

В районе Волгограда контурные стокорегулирующие лесные полосы также способствуют накоплению и сохранению снега на полях (табл. 2.17). В 1986-1990 гг. в системе лесополос снега накапливалось в 1,5-2 раза больше, чем на открытом поле. Распределение его на склоне в системе лесополос было неравномерным: больше откладывалось в лесных полосах и прилегающих к ним шлейфах и меньше в межшлейфовых частях межполосного пространства.

В лесостепи Западной Сибири, где метельные ветры и гидрографическая сеть преимущественно сориентированы с юго-запада на северо-

Таблица 2.16

**Характер снегоотложения в системе контурных стокорегулирующих лесополос в районе г. Камышина**

Место определения	Высота снега (числитель), см и снегозапасы (знаменатель), мм					
	1986 г.	1987 г.	1988 г.	1989 г.	1990 г.	среднее
Лесополоса	$\frac{96}{288}$	$\frac{102}{389}$	$\frac{71}{213}$	$\frac{51}{128}$	$\frac{46}{150}$	$\frac{73}{234}$
Шлейфовая часть	$\frac{35}{105}$	$\frac{84}{260}$	$\frac{20}{60}$	$\frac{37}{126}$	$\frac{29}{96}$	$\frac{41}{129}$
Межшлейфовая часть	$\frac{18}{54}$	$\frac{48}{148}$	$\frac{13}{39}$	$\frac{10}{34}$	$\frac{13}{43}$	$\frac{20}{64}$
Открытое поле	$\frac{21}{64}$	$\frac{48}{148}$	$\frac{9}{27}$	$\frac{7}{24}$	$\frac{12}{40}$	$\frac{19}{61}$

Таблица 2.17

**Характер снегоотложения в системе контурных стокорегулирующих лесополос в районе г. Волгограда**

определения	Высота снега (числитель), см и снегозапасы (знаменатель), мм					
	1986 г.	1987 г.	1988 г.	1989 г.	1990 г.	среднее
Лесополоса	$\frac{18}{50}$	$\frac{82}{270}$	$\frac{39}{107}$	$\frac{87}{340}$	$\frac{32}{85}$	$\frac{52}{170}$
Шлейфовая часть	$\frac{10}{25}$	$\frac{76}{250}$	$\frac{20}{96}$	$\frac{63}{180}$	$\frac{10}{29}$	$\frac{36}{104}$
Межшлейфовая часть	$\frac{9}{24}$	$\frac{39}{130}$	$\frac{16}{40}$	$\frac{9}{25}$	$\frac{8}{23}$	$\frac{16}{48}$
Открытое поле	$\frac{6}{11}$	$\frac{35}{118}$	$\frac{14}{26}$	$\frac{9}{25}$	$\frac{8}{22}$	$\frac{15}{40}$

ро-восток (В. М. Уваров, 1988), большая часть стокорегулирующих лесных полос может быть размещена вдоль основного направления ветра или под углом к нему, т. е. на склонах северо-западной и юго-восточной экспозиций. В табл. 2.18 приведены данные В. М. Уварова (1988) по снегоотложению на этих склонах при разном расстоянии от лесных полос. Они свидетельствуют о том, что на склонах этих экспозиций при контурной организации территории у лесных полос независимо от конструкции формируются мощные снежные сугробы, а на межполосном пространстве мощность снега значительно ниже. На противоположных склонах, где стокорегулирующие лесополосы размещаются перпенди-



кулярно господствующему направлению метельных ветров, снег распределяется относительно равномерно, хотя в самих лесополосах накапливается снега больше, чем в межполосном пространстве. Мощность его зависит от конструкции и параметров лесополос. Сугробы снега, накапливаемые в лесополосах и шлейфах, выполняют большую водорегулирующую роль, о чем будет сказано ниже.

Таблица 2.18

**Мощность снежного покрова в системе контурных лесных полос в Западной Сибири, см**

Сроки наблюдений	Вверх по склону, м			В лесных полосах	Вниз по склону, м			
	20	10	5		5	10	20	30
5.03.84	21	20	24	152	115	53	22	19
1.03.85	30	47	90	175	195	156	34	32
2.03.86	45	47	70	136	171	147	48	33
В среднем за 3 года	32	38	62	154	160	120	35	28

Таким образом, оценивая в целом снегоотложение на склонах, следует отметить, что на него влияет много факторов. На склонах без лесомелиорации снегоотложение в значительной степени зависит от характера ветрового режима и экспозиции склонов. Наиболее мощным антропогенным фактором являются стокорегулирующие лесные полосы. Они способствуют перераспределению снега на водосборе, накоплению и сохранению большого количества его на полях.

Знание закономерностей снегоотложения и влияния на него стокорегулирующих лесополос позволило определить пути управления им и разработать новые способы, которые будут рассмотрены ниже.

2.5.1.2. Увлажнение почвы. Специфический характер снегоотложения под воздействием лесных полос обуславливает и соответствующий характер увлажнения и промерзания почвы как в самих лесополосах, так и на полях, то есть эти природные факторы влияют на эрозионно-гидрологические процессы во взаимодействии как между собой, так и с антропогенными (лесные полосы).

Вопрос о влиянии леса и лесных полос на влажность почвы изучался многими исследователями, начиная с Г. Н. Высоцкого, Г. Ф. Морозова. Все они в основном рассматривали его с позиций увлажнения почвы полей и лесов и совершенно недостаточно уделяли внимания влажности как фактору стока и эрозии. Для этого важно знать харак-

тер увлажнения почвы перед уходом ее в зиму. Анализ литературных данных и наши наблюдения показывают, что в абсолютном большинстве случаев лесные полосы способствуют увеличению влажности почв весной. Неравномерное снегоотложение приводит к неоднородному увлажнению ее. В лесополосах и шлейфовых частях межполосных пространств почва увлажняется сильнее, чем в межшлейфовых частях и в открытом поле. Это общая схема. По зонам имеются некоторые особенности. В лесостепи Западной Сибири, по данным В. М. Уварова и С. Г. Кириченко (1988), приведенным в табл. 2.19, мощные шлейфы снега у контурных стокорегулирующих лесополос улучшают режим влажности почв на межполосных участках. При этом на склонах северо-западной и юго-восточной экспозиций, где лесные полосы расположены вдоль господствующего направления метельных ветров и около них образуются мощные снежные шлейфы, влияние их на влажность почвы распространяется на весь межполосный участок и сохраняется в течение вегетационного периода. На склонах юго-западной и северо-восточной экспозиций, где лесополосы относительно равномерно распределяют снег, оно прослеживается только до середины межполосных пространств в первой половине лета. На склонах с мощными снежными шлейфами межшлейфовые участки получают дополнительную влагу из них. Механизм снеготаяния и увлажнения почв на склонах с неравномерным распределением снега следующий. В первую очередь освобождается от снега и оттаивает почва на межшлейфовых участках. Талая вода, поступающая сюда из шлейфов, поглощается оттаявшей сверху почвой, и она дополнительно

Таблица 2.19

**Влияние снежных шлейфов на изменение запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы, мм**

Часть межполосного пространства	1984 г.			1985 г.	
	весна	середина лета	осень	весна	середина лета
<i>Профиль 1 со снежными шлейфами</i>					
Верхняя шлейфовая	256	217	182	223	147
Средняя межшлейфовая	200	180	164	197	140
Нижняя шлейфовая	-	-	-	179	131
<i>Профиль 2 с равномерным распределением снега</i>					
Верхняя шлейфовая	220	187	163	167	142
Средняя межшлейфовая	185	169	163	164	131
Нижняя шлейфовая	-	-	-	171	123

увлажняется. При равномерном распределении снега почва межшлейфовых участков увлажняется меньше.

В лесостепи юга Нечерноземья европейской части РФ, по данным Е. А. Гаршинова (табл. 2.20), под влиянием леса и лесных полос влага также распределяется неравномерно. Весной больше ее накапливается в лесу и лесополосах, меньше в приопушечной зоне и еще меньше вдали от них и в открытом поле. Осенью перед уходом в зиму картина увлажнения меняется. Запасы влаги в насаждениях и лесополосах падают до уровня увлажнения в поле или даже ниже.

Таблица 2.20

**Динамика запасов влаги в слое почвы 0-150 см весной и осенью под влиянием леса и лесных полос в лесостепи юга Нечерноземья (Орловская обл.), мм**

Место определения	1963 г.	1964 г.		1965 г.		1966 г.		1967 г.
	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна
Березовый лес	428	567	401	492	451	566	497	505
Пашня, 50 м от опушки леса	449	485	429	460	468	521	509	473
То же, 100 м	396	441	430	479	497	565	471	463
Лесополоса	-	-	487	515	407	514	444	490
50 м от лесополосы	-	-	484	488	488	518	508	463
100 м от лесополосы	-	-	468	465	475	530	478	453
Открытое поле	-	-	484	508	482	542	508	439

В черноземной степи Самарского Заволжья, по данным П. Д. Никитина (1975), почва в лесных полосах и на шлейфовых участках увлажнялась гораздо глубже, чем на середине межполосных полей. В течение лета увлажнение снижалось и выравнивалось (табл. 2.21), к осени в лесной полосе запасы влаги были даже меньше, чем в поле. Подобные данные приводят А. П. Бочков (1954), Т. И. Алифанова (1960), Г. Ф. Басов и М. Н. Грищенко (1963), Н. А. Качинский (1970), С. А. Вериге, Л. А. Разумова (1973), А. М. Бялый, Б. А. Исупов, Ф. С. Черников (1975), Н. П. Бойко (1975) и др.

Анализ этих материалов показал, что лесные полосы в период весеннего снеготаяния способствуют высокому увлажнению почвы как в самих лесополосах, так и на полях. Однако в результате более интенсивного расходования влаги в течение лета деревьями и сельскохозяйственными растениями осенью запасы воды в почве в лесополосах

шлейфовых зонах и в открытых полях выравниваются, а иногда в лесополосах бывают даже ниже, т. е. почва в зиму уходит по уровню увлажнения примерно в одинаковом состоянии как в лесных полосах, так и на прилегающих к ним участках и в открытых полях. Таким образом, лесные полосы как антропогенный фактор слабо воздействуют на природный фактор стока – увлажнение почвы в предзимний период: или не оказывают через него существенного влияния на сток талых вод или способствуют некоторому его уменьшению.

Таблица 2.21

**Запас влаги в слое почвы 0-200 см весной и осенью в лесной полосе и прилегающем поле на черноземах Самарского Заволжья, мм**

Место определения	1964 г.		1969 г.		1971 г.		1972 г.		1973 г.	
	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень
Лесополоса	680	420	465	445	560	390	660	370	700	405
50 м от лесополосы	495	420	505	530	510	545	605	390	660	465
Середина поля	495	330	455	490	540	455	620	370	640	440

2.5.1.3. Промерзание почвы. Важным природным фактором стока, на который большое влияние оказывают лесные полосы, является глубина промерзания почвы. Как было показано выше, талая или промерзшая на небольшую глубину (до 50 см) почва сохраняет высокую способность впитывать снеговую воду и стока, как правило, не бывает или он формируется незначительный независимо от уровня увлажнения почвы и снеготпасов. При более глубоком промерзании формируется сток в зависимости от уровня увлажнения почвы и снеготпасов. В этом случае глубина промерзания не играет роли. Снег, обладая хорошими теплоизоляционными свойствами, предохраняет почву от промерзания. Лесные полосы, являясь мощным фактором снеготпажения, в значительной степени воздействуют на характер промерзания почвы.

Этот вопрос в литературе освещен достаточно подробно (Н. А. Качинский, 1927; Г. А. Харитонов, 1950; И. П. Сухарев, 1966; Г. П. Сурмач, Е. А. Гаршинев, В. И. Панов, А. В. Котов, 1975, и др.). При этом все авторы отмечают влияние лесных полос на глубину промерзания. Однако проявляется оно по-разному, что связано с различными условиями снеготпажения и сроками наступления морозов как по природным зонам, так по годам в одной зоне. Серьезных обобщений по этому вопросу нет.

Особенности снегоотложения по природным зонам откладывают отпечаток и на характер влияния лесных полос на глубину промерзания почвы. Известно, что снег оказывает сильное тепляющее действие на почву. Причем оно в значительной степени зависит от сроков установления устойчивого снежного покрова и морозов. Для предохранения почвы от замерзания достаточно того, чтобы мощность снега была не больше 20-30 см к началу установления морозов и в дальнейшем увеличивалась до 50-80 см по мере усиления их. Такое количество снега часто накапливается в лесных полосах и вблизи от них при первых же метелях. С полей без лесных полос он, как правило, уносится, и почва остается незащищенной.

Обобщение и анализ 8-20-летних данных по глубине промерзания почвы в лесных полосах, под их защитой и в открытом поле (рис. 2.1, табл. 2.22;) позволили выявить ряд интересных фактов и зависимостей, из которых вытекают важные следствия. Почва предохраняется от замерзания или глубина промерзания ее бывает небольшой в лесополосах и под снежными шлейфами. В межшлейфовых частях межполосного пространства и в открытом поле она промерзает глубоко и примерно одинаково.

В лесостепи Западной Сибири на незащищенных полях и в межшлейфовых частях межполосных пространств в системе стокорегулирующих лесополос почва замерзала ежегодно и только 1 год из 30 глубина ее промерзания не превышала 50 см, а в годы 10 %-ной вероятности превышения глубина промерзания составляла 170 см. В лесных полосах 1 год в 20 лет почва была совсем талой, а глубина промерзания до 50 см была 7-8 лет из 10. В годы 10 %-ной вероятности

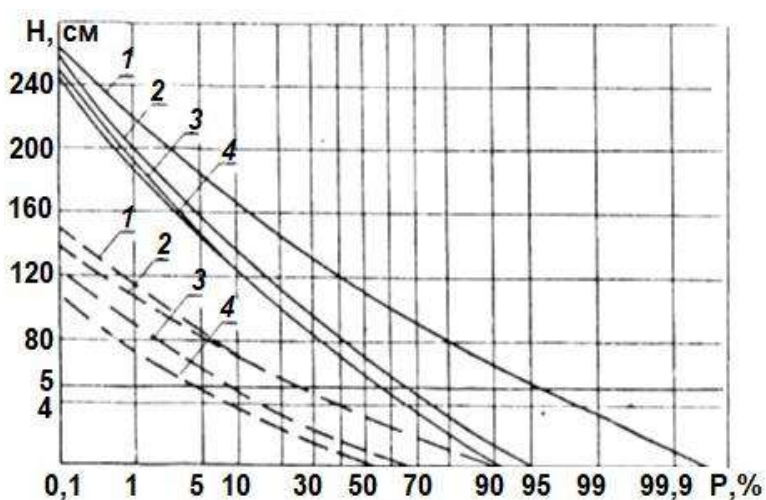


Рис. 2.1. Кривые вероятности превышения  $P$  глубины промерзания почвы  $H$  в открытом поле (сплошная линия) и в лесополосе (штриховая линия) в разных почвенно-климатических условиях: 1 – Западная Сибирь, 2 – юг ЦРНЗ, 3 – Нижнее Поволжье(г. Камышин), 4 – г. Волгоград

Таблица 2.22

**Показатели средние и разной вероятности превышения глубины промерзания почвы в лесополосах и открытом поле, см**

Зона, почва	Место определения	Средняя глубина промерзания, см	Вероятность превышения, %													C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>			
			0,01	0,1	1	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90			95	99	99,9
Западная Сибирь, оподзоленный чернозем	I	34	190	150	110	80	70	55	45	35	30	25	20	10	5	0	0	0	0,75	1,00
	II	114	300	260	220	185	170	145	135	120	110	100	90	80	65	55	30	10	0,35	0,41
Юг ЦРНЗ, серая лесная	I	33	165	140	105	85	70	55	45	40	30	25	15	10	0	0	0	0	0,87	0,37
	II	72	285	245	195	155	135	110	95	80	70	55	45	30	10	0	0	0	0,68	0,33
Нижнее Поволжье, каштановая	I	26	160	120	85	60	45	30	20	15	10	5	0	0	0	0	0	0	1,70	1,10
	II	59	290	240	190	145	120	100	80	65	55	45	30	20	0	0	0	0	0,81	0,47
Нижнее Поволжье, светло-каштановая	I	20	140	105	70	45	35	20	15	10	5	0	0	0	0	0	0	0	2,20	1,50
	II	70	305	250	190	145	120	95	80	65	55	40	30	20	5	0	0	0	0,79	0,72

Примечание. I – в лесополосе, II – в открытом поле, C<sub>v</sub> – коэф. вариации, C<sub>s</sub> – коэф. асимметрии.

превышения (1 год в 10 лет) почва промерзала только до 70 см. Средняя глубина промерзания в открытом поле составляла 114, в лесополосах 34 см. Таким образом, лесные полосы здесь в значительной степени способствуют предохранению почвы от глубокого промерзания, что обуславливает повышенное водопоглощение. Причем в наибольшей степени это проявляется на склонах восточной, юго-восточной, западной и северо-западной экспозиций, т. е. там, где господствующее направление ветра и трассы контурных стокорегулирующих лесополос совпадают. В лесостепи европейской части Российской Федерации, где ветровой режим более однородный, средняя глубина промерзания почв в лесополосах составляет 33 см, а в открытом поле 72 см. Глубина промерзания меньше 50 см бывает в открытом поле в годы 25 %-ной вероятности превышения (4 года в десятилетие), а в лесополосах 65 %-ной (6-7 лет в десятилетие).

В Нижнем Поволжье роль лесных полос в предохранении почвы от промерзания значительно выше. На каштановых почвах (в районе г. Камышина) средняя глубина промерзания почвы бывает в открытом поле 59, в лесополосах 26 см, на светло-каштановых почвах эти показатели соответственно составляют 70 и 20 см. Совсем почва не замерзает в лесополосах 3-4 года в десятилетие, а в открытом поле на каштановой почве один раз в 10 лет, на светло-каштановой – один раз в 20 лет. Промерзание почвы до 50 см в лесополосах бывает в годы с 90-97 %-ной вероятностью превышения, т. е. почти ежегодно она бывает талая или промерзает на небольшую глубину. В открытом поле в таком состоянии почва бывает в годы с 40-50 %-ной вероятностью превышения, т. е. 5 лет в десятилетие.

Большие различия во влиянии лесополос на предохранение почвы от глубокого промерзания связаны с сочетанием сроков установлении снежного покрова и морозов, а также с гидрометеорологическими условиями зимнего периода. Эти сочетания могут быть следующими.

1. Снег выпадает на талую или слабозамерзшую (до 30-50 см) почву, сильных оттепелей нет, и он не стаивает в течение зимы, почва предохраняется от замерзания как в поле, так и в лесополосах и сохраняет высокую впитывающую способность; стока не бывает ни в поле ни в лесополосах. Такие же условия могут создаваться, если почва в зиму уйдет замерзшей глубоко, но потом оттает после глубокой и продолжительной оттепели и выпадения снега.

2. Снег выпадает на талую или слабозамерзшую почву, во время зимних оттепелей он в поле стаивает полностью, а в лесополосах и

шлейфах (иногда только в лесополосах) частично, затем после наступления морозов почва в поле глубоко промерзает, а в лесополосах (и шлейфах) оставшийся снег предохраняет ее от замерзания; почва здесь обладает высокой водопроницаемостью, и лесополосы хорошо поглощают талую воду, поступающую с поля.

3. Снегоотложение происходит одновременно с наступлением морозов. В лесополосах и на шлейфах сразу начинает откладываться снег, сдуваемый с полей. Почва в лесополосах замерзает слабо, а в поле на большую глубину. Если в течение зимы нет глубоких оттепелей с полным сходом снега в поле и в лесополосах, то почва в лесополосах может оттаять снизу и сохранит высокую впитывающую способность.

4. Снег выпадает раньше или одновременно с наступлением морозов. Почва уходит в зиму талая или слабозамерзшая. Во время глубоких оттепелей снег полностью стаивает, почва глубоко промерзает в поле и в лесополосах, впитывающая способность ее значительно снижается.

5. Морозы наступают раньше установления снежного покрова, почва промерзает на большую глубину в поле и в лесополосах, и в таком состоянии находится всю зиму независимо от наличия или отсутствия оттепелей и количества снега, водопоглощающая способность почвы становится слабой, а стокорегулирующая роль лесополос низкой.

Могут быть и другие сочетания условий, при которых стокорегулирующая роль лесополос в связи с промерзанием почвы занимает промежуточное положение.

Оценивая в целом влияние лесных полос на глубину промерзания почвы, следует сказать, что с помощью их можно в значительной степени регулировать глубину промерзания. Лесополосы во всех зонах способствуют уменьшению глубины промерзания. В Западной Сибири это влияние проявляется в наименьшей степени даже в условиях, когда в лесных полосах и около них образуются мощные сугробы снега. Это связано с тем, что почва здесь успевает промерзнуть глубоко до установления устойчивого снежного покрова. В условиях, когда снег распределяется равномерно в системе лесополос, влияние их на глубину промерзания снижается. В лесостепи европейской части РФ роль лесных полос в уменьшении глубины промерзания больше и увеличивается при движении на юг и юго-восток.

Резюмируем изложенное о влиянии контурных стокорегулирующих лесополос на природные факторы стока – снеготранспортирование почв и глубину ее промерзания. Лесополосы, оказывая мощное



воздействие на снегоотложение, способствуют накоплению большего количества снега и при равномерном его распределении могут обуславливать повышение стока талых вод. При неравномерном распределении снега, когда образуются снежные сугробы, предохраняющие почву от глубокого промерзания, и водопоглощение сохраняется на высоком уровне, лесополосы способствуют сокращению стока. На предзимнее увлажнение почвы лесополосы мало влияют, поэтому сток под воздействием этого фактора почти не изменяется, т.е. они через влажность почвы незначительно действуют на сток при уровнях других факторов выше лимитирующих.

Зная роль природных факторов в формировании стока и влияние на них лесных полос, можно управлять ими. В связи с тем, что наиболее мощно воздействуют на природные факторы эрозионно-гидрологического процесса стокорегулирующие лесные полосы через снегораспределительные функции, их и необходимо регулировать.

#### 2.5.2. Влияние стокорегулирующих лесных полос на водопоглощение и сток талых вод

Стокорегулирующие лесные полосы, оказывая мощное воздействие на природные факторы (снегоотложение, увлажнение почвы, глубину и характер ее промерзания) в сильной степени влияют на водопоглощение и сток талых вод. Закономерности влияния природных факторов на сток талых вод и взаимодействие антропогенных и природных факторов рассмотрены выше. Здесь же мы дадим оценку стокорегулирующей эффективности лесных полос как одного из элементов почвозащитной системы земледелия, чтобы определить роль и место в ней лесомелиорации.

Изучением гидрологической и стокорегулирующей роли лесных полос занималось много исследователей (А. С. Козменко, 1954; Г. А. Харитонов, 1950; Г. П. Сурмач, 1971, 1976; И. А. Кузник, 1962; И. П. Сухарев, 1966; Е. А. Гаршинев, 1971, 1983; В. И. Панов, 1975, 1978; И. Г. Зыков, 1982; В. М. Ивонин, 1983, и др.). Положительная стокорегулирующая роль лесных полос отмечается в работах автора (1976, 1986, 1987). Имеется ряд крупных обобщений гидрологической роли лесных полос (Г. А. Харитонов, 1950; И. А. Кузник, 1962; Г. Ф. Басов, М. Н. Грищенко, 1963; И. П. Сухарев, 1966; Г. П. Сурмач, 1971, 1976, и др.). Поэтому мы не будем подробно останавливаться на анализе

материалов, а только дадим общую количественную оценку стокорегулирующей роли лесополос на основе имеющихся обобщений. Г. П. Сурмач (1971), обобщив многолетние данные В. Н. Дьякова, В. Л. Сухова, Е. А. Гаршинева, установил, что на серых лесных почвах юга Центрального района Нечерноземной зоны в период снеготаяния в лесополосах в среднем просачивается 326 мм (до 400 мм) талой воды. На основе анализа данных Г. Ф. Басова, И. П. Сухарева, А. А. Молчанова, И. А. Кузника на черноземах ЦЧО и Поволжья он определил, что средняя величина водопоглощения в лесополосах составляет 346 мм (до 500 мм), а на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья, по его данным, а также материалам исследований Г. С. Боброва и Ю. Н. Кobleва, 240 мм (до 430 мм).

При размещении на пашне через 300-500 м стокорегулирующие лесополосы могут уменьшить сток с водосбора на 5-10 мм. При более частом размещении эта величина может составить 15-17 мм. Следует отметить, что в отличие от гидротехнических сооружений и других линейных рубежей лесополосы оказывают пространственное влияние на сток, т. е. наряду с повышением водопоглощения в самих лесных полосах повышается впитывание и сокращается сток на шлейфовых участках межполосного пространства.

Таким образом, стокорегулирующая роль противозерозионных лесных полос выше, чем агротехнических мероприятий, однако она недостаточна для эффективной защиты почв от эрозии. Поэтому необходимо применять их в сочетании с другими элементами системы земледелия.

### 2.5.3. Новые способы размещения стокорегулирующих лесных полос и сельскохозяйственных культур с учетом их снегораспределительных и стокорегулирующих функций

Знание закономерностей снегоотложения, водопоглощения, формирования стока, процессов эрозии и влияния на них стокорегулирующих лесных полос, а также учет почвозащитной роли сельскохозяйственных растений позволили нам разработать новые способы защиты почв от эрозии.

Для условий, где возможно относительно равномерное распределение снега, предлагается следующий способ, разработанный совместно с Е. А. Гаршиневым. На склоне создается система лесных полос в сочетании с кулисами из высокостебельных сельскохозяйственных растений

(рис. 2.2). Для этого поперек склона или по контуру (вдоль горизонталей) размещаются лесополосы с изменяющейся ветропроницаемостью (уменьшающейся сверху вниз по склону): продуваемая приводораздельная, стокорегулирующие, ажурно-продуваемая и ажурная, прибалочная плотная. Если на длинном склоне количество стокорегулирующих лесополос будет больше, чем указано на рисунке, то все последующие к водоразделу полосы создаются продуваемыми. Расстояния между лесополосами определяются на основе расчетов (Е. А. Гаршинев, 1990). На межшлейфовых участках межполосных пространств высеваются кулисы из высокостебельных сельскохозяйственных растений. Расстояния между кулисами принимаются 4-12 м с уменьшением вниз по склону. Между продуваемыми лесополосами кулисы не высеваются.

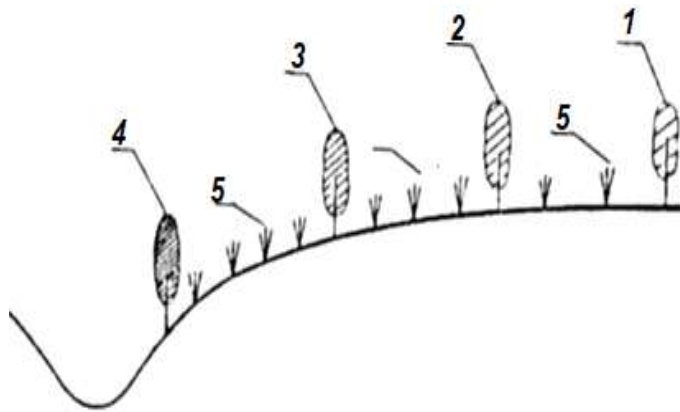


Рис. 2.2. Схема размещения противэрозионных лесных полос и кулис из высокостебельных культур (1 – приводораздельная лесополоса, 2 и 3 – стокорегулирующие лесополосы, 4 – прибалочная лесополоса, 5 – кулисы из сельхозрастений)

При таком сочетании лесных полос и кулис из сельскохозяйственных растений почти весь выпавший снег откладывается на полях равномерно с увеличением мощности эго сверху вниз, что обуславливает постепенное стаивание его в этом же направлении.

В такой системе лесополос и кулис механизм эрозионно-гидрологического процесса на склоне следующий. Известно, что смыв начинается тогда, когда почва освобождается от снега. Если снег сходит постепенно сверху вниз по склону, то стекающая по освобожденной поверхности талая вода, попадая в лежащий в нижней части снег, не производит на ней смыва. Таким образом, постепенный (сверху вниз по склону) сход снега может резко уменьшить или полностью предотвратить смыв почвы.

Этот способ защиты почв от эрозии может найти применение на склонах северо-восточной и юго-западной экспозиций в Западной Сибири, на склонах восточной, юго-восточной, южной и северо-вос-

точной экспозиций в лесостепи и на снегосдуваемых склонах степи европейской части РФ.

В районах, где на склонах у стокорегулирующих лесных полос образуются снежные шлейфы, предлагается применять разработанный нами совместно с Е. А. Гаршиным, А. И. Крупчатниковым и М. К. Пружинным на уровне изобретения (а. с. № 1404000) новый способ размещения сельскохозяйственных культур в системе лесных полос (А. Т. Барабанов и др., 1988).

Известно, что лесные полосы, задерживая и перераспределяя на водосборе снег, обуславливают повышенное водопоглощение в самих лесных полосах и в зонах отложения снежных шлейфов, что способствует снижению стока и эрозии почв (Г. П. Сурмач, 1971; Е. А. Гаршин, Т. Я. Зарудная, 1985; В. М. Уваров, 1988, и др.). Однако неравномерное распределение снега (В. М. Уваров, 1960; В. В. Захаров, 1977; В. П. Борец, 1985) и, следовательно, неравномерное таяние его весной обычно приводят к увеличению смыва почвы. Лесополосы, накапливая снег в шлейфовых частях, как правило, способствуют уменьшению стока и смыва в них. В то же время в средней части межполосного пространства, т. е. в межшлейфовой зоне, где снега накапливается меньше и где почва раньше освобождается от него, смыв может усиливаться. Талая вода, поступающая от вышерасположенной лесной полосы на межшлейфовую часть, свободную от снега, разрушает почву и выносит смытый мелкозем к нижерасположенной лесной полосе, где он откладывается в снежном шлейфе. Лесные полосы могут обеспечить полное предотвращение выноса мелкозема за пределы системы, однако опасность смыва на межполосных участках остается.

Есть ряд способов защиты почв от эрозии. Наиболее надежный – создать сплошной почвозащитный фон: многолетние травы, озимые, залежь и др. Так можно полностью предотвратить эрозию, однако в условиях интенсивного земледелия нельзя отказаться от яровых зерновых, пропашных, технических и других культур, требующих многократной интенсивной обработки почвы. Поэтому рекомендуется способ полосного размещения сельскохозяйственных культур на склонах без лесных полос (Е. В. Грызлов, 1977; А. С. Скородумов, 1970; Н. К. Шикула, 1968; В. Н. Зайцев, 1975; И. В. Медведев, 1980; М. Н. Заславский, Г. А. Ларионов, 1984, и др.). Он основан на использовании высоких почвозащитных свойств сельскохозяйственных культур (многолетних трав, озимых), а также безотвальных и мульчирующих обработок. Открытая, вспаханная поверхность почвы легко поддается

разрушающему действию стекающей со склонов воды. Почвозащитные полосы надежно защищают почву от смыва. Полосное размещение почвозащитных агрофонов и посевов яровых зерновых или пропашных культур, под которые обычно требуется зяблевая вспашка, способствует сокращению смыва почвы в сравнении со сплошной вспашкой склона под зябь. Недостаток этого способа в том, что на почвозащитных полосах весной формируется значительно больший сток, чем на зяби, где он часто совсем не формируется, особенно в условиях засушливого климата (Г. П. Сурмач, 1976; А. Т. Барабанов, 1985; А. Т. Барабанов, Е. А. Гаршинев, 1987). В силу этого в годы, когда стока с зяби совсем нет или он незначительный, а на многолетних травах, озимых и других мульчирующих фонах большой, полосное размещение сельскохозяйственных культур способствует увеличению смыва на полосах с отвальной зябью. В годы с умеренным и средним стоком с зяби противоэрозионный эффект от полосного размещения культур незначительный или его совсем нет (И. В. Медведев, 1980). В многоводные годы разница в стоке с зяби и уплотненной пашни (многолетние травы, озимые, стерня) небольшая, поэтому возможен некоторый противоэрозионный эффект от полосного размещения культур, однако в обоих случаях смыв значительный. По данным И. В. Медведева (1980), в 1976 г. смыв почвы на контроле (зябь по всей площадке) составил 0,003 т/га, на озимых по всему склону 0,03, а при полосном размещении озимых и зяби 0,18 т/га. В 1977 г. смыва почвы на всех вариантах не было, а в 1978 г. смыв на контроле составил 0,24 т/га, при сплошном посеве озимых 4,5, а при полосном размещении он колебался от 0,58 до 1,25 т/га в зависимости от ширины полос (27, 54 и 108 м). Повышенный смыв почвы на посевах озимых культур объясняется слабым их развитием с осени. Таким образом, полосное размещение культур на склоне является малоэффективным приемом для защиты почв от смыва талыми водами.

Целью предложенного нами нового способа защиты почв от эрозии путем сочетания лесных полос с различным размещением сельскохозяйственных культур на склонах является повышение эффективности противоэрозионного комплекса за счет уменьшения смыва почвы в межшлейфовых зонах. Это достигается созданием на водосборе системы приводораздельных, стокорегулирующих, прибалочных лесных полос и полосным размещением сельскохозяйственных культур в прилегающих к ним зонах – во взаимосвязи. При этом вблизи лесных полос, в зонах отложения снежных шлейфов, высевают яровые культуры, под которые

требуется вспашка зяби, или размещают чистые пары, а в средней части межполосного пространства – почвозащитные полосы из многолетних трав, озимых, стерневых и других мульчирующих агрофонов.

На рис. 2.3 изображена схема размещения прибалочных, стокорегулирующих и приводораздельных лесных полос, почвозащитных фонов и посевов сельскохозяйственных культур (зяби или черных паров). Такой способ защиты почв от эрозии осуществляется следующим образом. Поперек склона вдоль горизонталей (по контуру) создают систему лесных полос. В зоне преимущественного отложения их снежных шлейфов (на расстояниях, кратных 5-10 высотам лесных полос), на межполосных полях выделяют пояса, предназначенные для размещения посевов яровых, пропашных культур или черных паров. Вне зоны снежных шлейфов, на расстояниях свыше 5-10 высот лесополос, размещают почвозащитные полосы, которые используют под почвозащитные севообороты с большим насыщением многолетними травами, озимыми культурами, на них проводят зяблевую обработку с сохранением стерни или создают специальные замульчированные полосы, устойчивые к смыву.

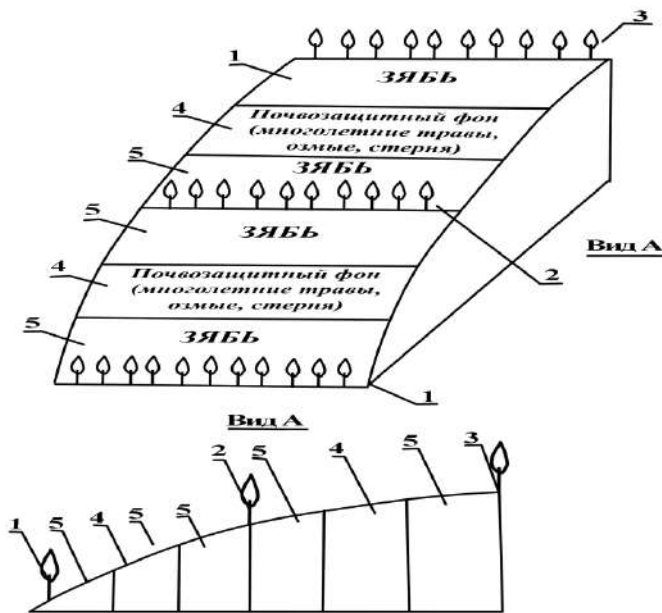


Рис. 2.3. Схема крупнополосного размещения сельскохозяйственных культур в системе контурных лесных полос: 1 – прибалочная, 2 – стокорегулирующая, 3 – приводораздельная лесополоса, 4 – почвозащитный фон (многолетние травы, озимые, стерня), 5 – зябь

Механизм эрозии при таком способе размещения сельскохозяйственных культур и агрофонов следующий. В процессе таяния в первую очередь освобождается от снега средняя часть межполосного пространства (почвозащитная полоса или мульчирующий агрофон). Талая вода, поступающая из снежного шлейфа, примыкающего к нижней опушке приводораздельной лесополосы 3, на почвозащитную

полосу 4, не производит на ней смыва вообще или он бывает незначительный. Здесь даже наблюдается кольматаж мелкозема. Проходя через эту полосу, вода поступает на участок с отвальной зябью 5, расположенный в зоне снежного шлейфа, образованного нижележащей стокорегулирующей лесополосой 2. Здесь под снегом вода также не производит смыва, а в снеге происходит кольматаж мелкозема, принесенного сверху. Вода в значительной степени или полностью осветляется. В этой части и в лесной полосе водопоглощение повышенное, что способствует сокращению стока. Аналогичная картина наблюдается и на нижележащей части склона между стокорегулирующей и прибалочной лесополосами.

Полосное размещение сельскохозяйственных культур в системе лесных полос обеспечивает снижение смыва почвы в 2-3 раза, а в ряде случаев, в зависимости от условий формирования снежного покрова, позволяет предотвратить его полностью.

Предложенный способ защиты почв от эрозии основан на сочетании известных противоэрозионных приемов, направленных на решение одной задачи – уменьшение эрозии почв. При этом получается синергетический эффект, т. е. положительный эффект этого способа превышает сумму эффектов, получаемых от действия каждого приема в отдельности.

Итак, резюмируя изложенное, следует сказать, что лесомелиоративные мероприятия, воздействуя на природные факторы, сильно влияют на эрозионно-гидрологические процессы. Знание закономерностей взаимодействия их и влияния на сток и смыв позволяет управлять этими процессами.

### **ГЛАВА 3**

## **СТОКОРЕГУЛИРУЮЩАЯ РОЛЬ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ДРУГИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ПОЧВОЗАЩИТНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

### **3.1. Влияние лесных полос в парном сочетании с другими элементами почвозащитной системы земледелия на эрозионно-гидрологические процессы**

Оценка роли отдельных элементов почвозащитной системы земледелия показала, что каждый из них в отдельности недостаточно эффективен в стокорегулирующем и противоэрозионном отношении. Ведущую роль занимают лесомелиоративные мероприятия, хотя они также не решают полностью задачу регулирования стока и защиты почв от эрозии. Для ее решения необходимо сочетание элементов почвозащитной системы земледелия. Вместе с тем, если отдельные приемы получили довольно обоснованную экспериментальную оценку, то вопросам комплексного воздействия почвозащитных приемов посвящено мало работ, и в основном они касаются совместного влияния двух элементов почвозащитной системы земледелия. Сочетание лесных полос с простейшими гидротехническими сооружениями и агротехническими мероприятиями изучали Г. П. Сурмач, 1971, 1976; Е. А. Гаршинев, 1971; В. И. Панов, 1975, 1978; Ф. А. Абдульманов, А. Т. Барабанов, 1975; В. М. Ивонин, 1983; В. В. Демидов, 1983, и др. Получены интересные данные по влиянию сочетаний элементов системы земледелия на эрозионно-гидрологические показатели и друг на друга.

#### **3.1.1. Влияние лесополос в сочетании с полевыми и почвозащитными севооборотами на эрозионно-гидрологические процессы**

На сопряженных полях полевого и почвозащитного севооборотов сток талых вод изучали на элементарных и комбинированных стоковых площадках, включающих поля полевого и почвозащитного севооборотов и лесные полосы, расположенные на границе между



ними. На склоне северо-западной экспозиции расположена 5-рядная лесная полоса из лиственницы высотой 4,0-5,0 м, на склоне юго-восточной экспозиции 3-рядная лесная полоса из дуба высотой 1,0-1,5 м. Материалы по просачиванию воды и стоку на юге ЦРНЗ (Новосильская ЗАГЛОС) приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

**Стокорегулирующая роль лесополос на границе сопряженных полей полевого и почвозащитного севооборотов на серых лесных почвах юга ЦРНЗ**

Вариант	Севооборот	Запас снеговой воды, мм	Количество просочившейся воды, мм	Сток, мм	Коэффициент стока
1	2	3	4	5	6
<i>1968 г. Склон северо-западной экспозиции</i>					
Зябь поперек склона	Полевой	168	166	2	0,01
Лесополоса	Граница между полями	356	356	0	0
Многолетние травы	Почвозащитный	156	108	48	0,31
Зябь + лесная полоса + многолетние травы	Полевой и почвозащитный	174	149	25	0,14
<i>Склон юго-восточной экспозиции</i>					
Озимые	Полевой	150	131	19	0,13
Зябь	Почвозащитный	185	185	0	0
Лесополоса	Граница между полями	302	302	0	0
Озимые + лесополоса	Полевой	180	180	0	0
То же + зябь	Полевой и почвозащитный	162	162	0	0
<i>1969 г. Склон северо-западной экспозиции</i>					
Озимые	Полевой	73	28	45	0,62
Многолетние травы	Почвозащитный	112	36	76	0,68
Озимые + лесополоса + многолетние травы	Полевой и почвозащитный	119	70	49	0,40
<i>Склон юго-восточной экспозиции</i>					
Зябь	Полевой	51	36	15	0,29
Озимые	Почвозащитный	71	28	43	0,61
Зябь + лесополоса + озимые	Полевой и почвозащитный	63	38	25	0,40

1	2	3	4	5	6
<i>1970 г. Склон северо-западной экспозиции</i>					
Зябь	Полевой	208	127	81	0,39
Многолетние травы	Почвозащитный	220	120	100	0,46
Зябь + лесополоса	Полевой	268	234	34	0,13
То же + многолетние травы	Полевой и почвозащитный	230	154	76	0,33
<i>Склон юго-восточной экспозиции</i>					
Озимые	Полевой	165	64	101	0,61
Озимые + лесополоса	"-"-"-"	198	128	70	0,35
Многолетние травы	Почвозащитный	223	135	88	0,39
Озимые + лесополоса + многолетние травы	Полевой и почвозащитный	201	122	79	0,39
<i>1972 г. Склон северо-западной экспозиции</i>					
Многолетние травы	Полевой	-	-	17	-
То же + лесополоса	"-"-"-"	-	-	14	-
Зябь	Почвозащитный	-	-	2	-
Многолетние травы + лесополоса + зябь	Полевой и почвозащитный	-	-	9	-
<i>Склон юго-восточной экспозиции</i>					
Многолетние травы	Полевой	-	-	8	-
То же + лесополоса	"-"-"-"	-	-	3	-
Многолетние травы	Почвозащитный	-	-	12	-
Многолетние травы + лесополоса + многолетние травы	Полевой и почвозащитный	-	-	9	-
<i>1973 г. Склон северо-западной экспозиции</i>					
Озимые	Полевой	57	31	26	0,46
То же + лесополоса	"-"-"-"	66	57	9	0,14
Озимые	Почвозащитный	59	34	25	0,43
Озимые + лесополоса + озимые	Полевой и почвозащитный	62	44	18	0,29
<i>Склон, юго-восточной экспозиции</i>					
Многолетние травы	Полевой	50	14	36	0,72
Тот же	Почвозащитный	59	8	51	0,86
Многолетние травы + лесополоса + многолетние травы	Полевой и почвозащитный	65	35	30	0,46
<i>1974 г. Склон северо-западной экспозиции</i>					
Зябь	Полевой	32	4	28	0,870
То же + лесополоса	"-"-"-"	50	47	3	0,060
Лесополоса	Граница между полями	220	219	1	0,005

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5	6
Зябрь	Почвозащитный	27	3	24	0,890
Зябрь + лесополоса + зябрь	Полевой и почвозащитный	32	19	13	0,410
<i>Склон юго-восточной экспозиции</i>					
Озимые	Полевой	21	15	6	0,290
То же + лесополоса	-"-"-"	27	25	2	0,070
Лесополоса	Граница между полями	106	106	0	0
Многолетние травы	Почвозащитный	25	14	11	0,440
Озимые + лесополоса + многолетние травы	Полевой и почвозащитный	18	15	3	0,170
<i>1986 г. Склон юго-западной экспозиции</i>					
Зябрь отвальная	Полевой	78	51	27	0,340
Тот же	Почвозащитный	74	45	29	0,390
Зябрь + лесополоса с канавой и валом	Полевой	103	92	11	0,100
Зябрь плоскорезная	-"-"-"	77	52	25	0,320
Тот же	Почвозащитный	74	46	28	0,370
Тот же + лесополоса с канавой и валом	Полевой	94	84	10	0,110
<i>1987 г. Склон юго-западной экспозиции</i>					
Зябрь отвальная	Полевой	145	113	32	0,220
Тот же	Почвозащитный	150	114	36	0,24
То же + лесополоса с канавой и валом	Полевой	178	178	0	0
Зябрь плоскорезная	-"-"-"	157	120	37	0,24
Тот же	Почвозащитный	160	120	40	0,25
Тот же + лесополоса с канавой и валом	Полевой	167	167	0	0
<i>1988 г. Склон юго-западной экспозиции</i>					
Зябрь отвальная	Полевой	122	103	19	0,16
Тот же	Почвозащитный	121	95	26	0,21
То же + лесополоса с канавой и валом	Полевой	142	138	4	0,03
Зябрь плоскорезная	-"-"-"	123	81	42	0,34
Тот же	Почвозащитный	119	99	20	0,17
То же + лесополоса с канавой и валом	Полевой	144	138	6	0,04
<i>1990 г. Склон юго-западной экспозиции</i>					
Зябрь отвальная	Полевой	60	42	18	0,30
Тот же	Почвозащитный	59	47	12	0,20

1	2	3	4	5	6
То же + лесополоса с канавой и валом	Полевой	99	99	0	0
Зябь плоскорезная	-"-"-"	70	50	20	0,29
Тот же	Почвозащитный	48	23	25	0,52
То же + лесополоса с канавой и валом	Полевой	97	97	0	0

*Примечание. В 1989 г. сток совсем не формировался. За 1986-1990 гг. результаты опытов, проведенных А. И. Петелько и В. А. Ивановой под руководством автора.*

Анализ этих данных показывает, что на многолетних травах и озимых, как в полевом, так и в почвозащитном севообороте ежегодно формируется большой сток, на зяби он значительно ниже, хотя в отдельные годы также бывает высокий.

В 1968 г. на склоне северо-западной экспозиции при соотношении зябь – многолетние травы (сверху вниз по склону) сток с зяби был незначительный – 2 мм, в почву впиталось 166 мм воды. В лесной полосе из лиственницы вся талая вода (включая и подток сверху) впитывалась в почву. Значительный сток (48 мм) сформировался лишь на многолетних травах в почвозащитном севообороте. На склоне юго-восточной экспозиции при соотношении агрофона озимые – зябь на озимых в полевом севообороте сформировался сток 19 мм. Лесополоса способствовала полному поглощению талой воды. Интересная картина наблюдалась на зяби. Сток на ней в почвозащитном севообороте не сформировался. Вода, поступающая с вышерасположенного поля с озимыми на поле почвозащитного севооборота, вспаханное под зябь, полностью поглощалась. Это связано, с одной стороны, с тем, что почва на зяби была талая и хорошо впитывала воду, а с другой – с особенностями снегоотложения и снеготаяния. Мощность снежного покрова постепенно увеличивалась при движении сверху вниз, и сход снега проходил в этом же направлении.

В 1969 г. почва глубоко промерзла в сильно увлажненном состоянии. На склоне северо-западной экспозиции на озимых и многолетних травах сформировался значительный сток. В лесных полосах условия для впитывания были неблагоприятные, и в них в связи с большими снегозапасами сформировался значительный сток. То же было и на юго-восточном склоне.

В 1970 г. на полях условия для впитывания талой воды были также неблагоприятные. Кроме того, что почва глубоко промерзла в сильно увлажненном состоянии, на поверхности ее образовалась сплошная ледяная корка, что ухудшало условия впитывания. На склоне северо-западной экспозиции на зяби сформировался сток 81 мм, на многолетних травах 100. Лесная полоса способствовала значительному сокращению стока (с 81 до 34 мм). На юго-восточном склоне на озимых и многолетних травах сформировался большой сток (101 и 88 мм). Лесная полоса способствовала снижению его до 70 мм.

В 1972 г. запасы снеговой воды и просачивание в почву не были определены. Величины стока были небольшие (2-17 мм). Лесные насаждения в этом году почти не оказывали влияния на сокращение стока. В 1973 и 1974 гг. лесные полосы способствовали сокращению стока. В 1973 г. на озимых (склон северо-западной экспозиции) в полевом севообороте сформировался сток 26 мм при коэффициенте стока 0,46, а в почву просочилось 31 мм воды. Лесная полоса способствовала сокращению стока до 9 мм, а коэффициента стока до 0,14. В почвозащитном севообороте на озимых, расположенных ниже стокорегулирующей лесополосы, сток составил 25 мм при коэффициенте стока 0,43, а просачивание 34 мм. На комбинированных площадках, включающих поля полевого и почвозащитного севооборотов и стокорегулирующую лесную полосу, сток составил 18 мм, а коэффициент стока 0,29, т. е. ниже, чем на элементарных площадках, включающих отдельно полевой и почвозащитный севообороты. Несколько в меньшей степени проявилось влияние лесной полосы на склоне юго-восточной экспозиции. Это связано с тем, что здесь расположена молодая лесная полоса из дуба высотой 1,0-1,5 м и эффективность ее ниже. В 1974 г. лесополоса способствовала сокращению стока с 28 до 3 мм на склоне северо-западной экспозиции и с 6 до 2 мм на склоне юго-восточной экспозиции.

В 1986-1990 гг. опыты проводились на объектах с однорядными контурными дубовыми стокорегулирующими лесополосами высотой до 15 м. Все эти годы были относительно маловодными. На зяби в 1986 г. сформировался сток 25-29 мм при коэффициенте стока 0,32-0,39. Лесные полосы с гидротехникой способствовали снижению его до 10-11 мм (коэффициент стока 0,10-0,11). В 1987 г. лесополосы полностью предотвратили сток. На контроле он был 32-40 мм (коэффициент стока 0,22-0,25). В 1988 г. сток под влиянием лесополос уменьшился с 19-42 до 4-6 мм, а коэффициенты стока с 0,16-0,34 до 0,03-0,04. В 1989 г. в

связи с тем, что почва была талая, количество снега было незначительным, сток не сформировался. В 1990 г. лесные полосы с гидротехникой способствовали сокращению стока с 12-25 мм до нуля.

Резюмируя изложенное выше, следует сказать, что из 11 лет наблюдений 10 лет лесные полосы сыграли большую стокорегулирующую роль. Даже лесные полосы без гидротехники обеспечивали снижение стока до 37 мм. Лишь один год эффективность была низкая из-за глубокого промерзания почвы до выпадения снега.

На каштановых почвах Нижнего Поволжья стокорегулирующая роль контурных лесных полос, размещенных на границе между сопряженными полями полевого и почвозащитного севооборотов, еще выше. В табл. 3.2 приведены результаты опытов В. И. Антонова, проведенных на Камышинском агролесомелиоративном опорном пункте под руководством автора. Они свидетельствуют о том, что во все годы исследований (1986-1990) контурные стокорегулирующие лесные полосы способствовали полному предотвращению стока. В 1986 г. на зяби и многолетних травах сформировался умеренный и сильный сток

Таблица 3.2

**Стокорегулирующая роль лесополос на границе сопряженных полей полевого и почвозащитного севооборотов на каштановых почвах Нижнего Поволжья**

Агрофон	Севооборот	Запас снеговой воды, мм	Количество просочившейся воды, мм	Сток, мм	Коэффициент стока
1	2	3	4	5	6
<i>1986 г. Склон северо-восточной экспозиции</i>					
Зябь отвальная	Полевой	64	26	38	0,59
Многолетние травы	Почвозащитный	52	11	41	0,79
Зябь отвальная + многолетние травы	Полевой и почвозащитный	54	16	38	0,70
Зябь отвальная + лесополоса	Полевой	108	108	0	0
Зябь плоскорезная	"-"-"-"	55	10	45	0,82
Многолетние травы	Почвозащитный	66	28	38	0,58
Зябь плоскорезная + многолетние травы	Полевой и почвозащитный	65	22	43	0,68
Зябь плоскорезная + лесополоса	Полевой	93	93	0	0

1	2	3	4	5	6
<i>1987 г. Склон северо-восточной экспозиции</i>					
Зябь отвальная	Полевой	159	159	0	0
Многолетние травы	Почвозащитный	148	134	14	0,09
Зябь отвальная + многолетние травы	Полевой и почвозащитный	145	136	9	0,06
Зябь отвальная + лесополоса с канавой и валом	Полевой	182	182	0	0
То же + многолетние травы + лесополоса с канавой и валом	Полевой и почвозащитный	180	180	0	0
Зябь плоскорезная	Полевой	157	157	0	0
Многолетние травы	Почвозащитный	155	136	19	0,10
Зябь плоскорезная + многолетние травы	Полевой и почвозащитный	151	144	7	0,60
Зябь плоскорезная + лесополоса с канавой и валом	Полевой	170	170	0	0
То же + многолетние травы + лесополоса с канавой и валом	Полевой и почвозащитный	184	184	0	0
<i>1988 г. Склон северо-восточной экспозиции</i>					
Зябь отвальная	Полевой	42	6	36	0,86
Многолетние травы	Почвозащитный	72	40	32	0,40
Зябь отвальная + многолетние травы	Полевой и почвозащитный	55	26	29	0,53
Зябь отвальная + лесополоса с канавой и валом	Полевой	85	85	0	0
То же + многолетние травы + лесополоса с канавой и валом	Полевой и почвозащитный	84	82	2	0,02
Зябь плоскорезная	Полевой	62	31	31	0,50
Многолетние травы	Почвозащитный	65	34	31	0,48
Зябь плоскорезная + многолетние травы	Полевой и почвозащитный	63	34	29	0,46
То же + многолетние травы + лесополоса с канавой и валом	Полевой и почвозащитный	99	97	2	0,02
<i>1989 г. Склон северо-восточной экспозиции</i>					
Зябь отвальная	Полевой	43	40	3	0,08
Многолетние травы	Почвозащитный	49	37	12	0,24
Зябь отвальная + многолетние травы	Полевой и почвозащитный	37	26	11	0,30
Зябь отвальная + лесополоса с канавой и валом	Полевой	87	87	0	0
Зябь плоскорезная	-"-"-"	46	40	6	0,13

1	2	3	4	5	6
Многолетние травы	Почвозащитный	40	25	15	0,38
Зябь плоскорезная + многолетние травы	Полевой и почвозащитный	46	31	15	0,33
Зябь + лесополоса с канавой и валом	Полевой	78	78	0	0
<i>1990 г. Склон северо-восточной экспозиции</i>					
Зябь отвальная	Полевой	40	19	21	0,53
Многолетние травы	Почвозащитный	40	7	33	0,83
Зябь отвальная + многолетние травы	Полевой и почвозащитный	43	15	28	0,65
Зябь отвальная + лесополоса с канавой и валом	Полевой	72	72	0	0
То же + многолетние травы + лесополоса с канавой и валом	Полевой и почвозащитный	66	66	0	0
Зябь плоскорезная	Полевой	40	18	22	0,55
Многолетние травы	Почвозащитный	40	9	31	0,78
Зябь плоскорезная + многолетние травы	Полевой и почвозащитный	39	11	28	0,72
Зябь плоскорезная + лесополоса с канавой и валом	Полевой	64	64	0	0
То же + многолетние травы + лесополоса с канавой и валом	Полевой и почвозащитный	68	68	0	0

(38-45 мм). Лесные полосы без гидротехники обеспечили полное поглощение воды – частично в поле и большую часть в самой лесополосе. В 1987 г. гидрометеорологические условия для впитывания были благоприятными. На зяби сток совсем не сформировался, а на многолетних травах был небольшой. Лесные полосы обусловили полное водопоглощение. В 1988 и 1990 гг. сток был умеренный и сильный (21-36 мм) и талая вода, стекающая с полей как полевого, так и почвозащитного севооборотов полностью впитывалась в почву в лесополосах с гидротехникой и в шлейфовой части межполосного пространства. В 1989 г. сток на зяби и многолетних травах был небольшой (3-15 мм). Лесные полосы обеспечили полное поглощение стекающей воды. Во все годы исследований на вариантах с лесополосами водопоглощение было в 1,5-2 раза выше, чем на контроле.

На светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья лесные полосы выполняют важную стокорегулирующую роль (табл. 3.3). Исследо-



Таблица 3.3

**Стокорегулирующая роль лесополос на границе сопряженных полей  
полевого и почвозащитного севооборотов на светло-каштановых почвах  
Нижнего Поволжья**

Вариант	Севооборот	Запас сне- говой во- ды, мм	Количество просочившей- ся воды, мм	Сток, мм	Кoeffи- циент стока
<i>1987 г. Склон восточной экспозиции</i>					
Зябь отвальная	Полевой	99	99	0	0
Многолетние травы	Почвозащитный	96	96	0	0
Зябь + многолетние травы	Полевой и поч- возащитный	92	92	0	0
Зябь + лесополоса с канавой и валом + многолетние травы	Те же	171	171	0	0
<i>1988 г. Склон восточной экспозиции</i>					
Зябь отвальная	Полевой	199	175	24	0,13
Стерня без обработки	Почвозащитный	241	143	98	0,41
Зябь + стерня без об- работки	- " -	214	127	87	0,41
Зябь + лесополоса с канавой и валом + стерня без обработки	Полевой и поч- возащитный	241	217	24	0,10
<i>1989 г. Склон восточной экспозиции</i>					
Зябь отвальная	Полевой	408	65	343	0,84
Многолетние травы	Почвозащитный	357	51	306	0,86
Зябь + многолетние травы	Полевой и поч- возащитный	394	53	341	0,87
Зябь + лесополоса с канавой и валом + многолетние травы	Те же	302	186	116	0,38
<i>1990 г. Склон восточной экспозиции</i>					
Зябь отвальная	Полевой	38	38	0	0
Многолетние травы	Почвозащитный	42	32	10	0,24
Зябь + многолетние травы	Полевой и поч- возащитный	39	32	7	0,18
Зябь + лесополоса с канавой и валом + многолетние травы	Те же	50	50	0	0

вания здесь проводились по новой методике с применением напуска на стоковые площадки. Два года из четырех (1987 и 1990) стока совсем не было или он был незначительный только на многолетних тра-

вах и напуска создать не удалось. Лесные полосы обеспечили полное зарегулирование стока на многолетних травах. В 1988 и 1989 гг. был создан искусственный подток на стоковые площадки. Сток на них сформировался большой, а роль стокорегулирующих лесных полос была высокой. В 1988 г. лесные полосы увеличили водопоглощение с 127 до 217 мм, сократили сток с 87 до 24 мм, а коэффициент стока с 0,41 до 0,10. В 1989 г. водопоглощение под влиянием лесополос увеличилось с 53 до 186 мм, сток уменьшился с 341 до 116 мм, а коэффициент стока с 0,87 до 0,38.

Обобщая изложенное о роли лесных полос, расположенных на границе между полями полевого и почвозащитного севооборотов, следует сказать, что стокорегулирующая и противоэрозионная эффективность их во всех зонах от юга ЦРНЗ до Нижнего Поволжья высокая. Причем при движении с севера на юг она увеличивается, что связано с изменением условий формирования стока на сельскохозяйственных угодьях и снижением его общего уровня (см. табл. 1.17). Если на серых лесных почвах на юге ЦРНЗ лесные полосы способствуют значительному сокращению стока, но совсем его не предотвращают, то на каштановых и светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья чаще всего они перехватывают сток полностью, т. е. в межполосном пространстве сток формируется, однако талая вода при поступлении в снежный шлейф и лесную полосу вся поглощается почвой.

Из анализа всей совокупности материалов о стокорегулирующей противоэрозионной эффективности лесополос вытекает следующее важное следствие.

Как указывалось выше, склоны круче  $3^\circ$  в связи с тем, что на них наиболее интенсивно протекают эрозионные процессы и распространены средне- и сильносмытые почвы, а пропашные культуры в меньшей степени предохраняют почву от эрозии, чем культуры сплошного сева и особенно травы, рекомендуется отводить под почвозащитные севообороты с максимальным насыщением их многолетними травами. Земли же крутизной меньше  $3^\circ$  использовать интенсивно в зернопропашных и зернопаропропашных севооборотах с максимальным насыщением пропашными культурами. Такое использование пашни высокоэффективно в противоэрозионном отношении. Однако в районах, где в структуре посевных площадей много пропашных культур и черных паров, обычно для их размещения не хватает земель с крутизной склона меньше  $3^\circ$ . Кроме того, размещение многолетних трав

в почвозащитных севооборотах только в нижней части склона лишает возможности использовать их почвоулучшающие свойства (структурообразование, накопление органического вещества и др.) на землях приводораздельной части склонов (меньше 3°), где интенсивно изымаются питательные вещества и ухудшается структура почвы. Контурные стокорегулирующие лесные полосы в сочетании с простейшими гидротехническими сооружениями (а в ряде случаев и без них) перехватывают полностью (особенно в степной зоне) сток талых вод, поступающий с приводораздельной части склонов, и тем самым предохраняют от смыва нижележащие участки склона. Поэтому присетевые земли крутизной свыше 3° можно использовать не экстенсивно в почвозащитных севооборотах, а интенсивно в зернопропашных и зернопаропропашных севооборотах (А. Т. Барабанов, 1987; А. Т. Барабанов, В. И. Антонов, В. И. Козак, 1987; Е. А. Гаршинев, А. Т. Барабанов, И. Г. Зыков, 1987, 1988; А. Т. Барабанов, 1990, 1990а).

### 3.1.2. Влияние лесных полос в сочетании с обработкой почвы на эрозионно-гидрологические процессы

Материалов по оценке эффективности сочетания лесных полос с обработкой почвы очень мало. В. М. Ивонин (1983) изучал в 1968-1974 гг. на обыкновенных черноземах Ростовской обл. стокорегулирующую эффективность сочетания прерывистого бороздования с прибалочной лесополосой на спокойном участке склона и с ложбинами. Полученные им данные свидетельствуют об отсутствии стокорегулирующего эффекта сочетания прерывистого бороздования с прибалочной лесополосой на водосборах с ложбинами и незначительном эффекте на ровном склоне. Осуществленная нами математическая обработка этих данных показала, что стокорегулирующий эффект выражается следующими уравнениями:

$$W = 13,5 + 0,4x_1 + 3,5x_2 - 0,25x_1x_2,$$

$$S = 1,8 - 0,09x_1 + 0,7x_2 - 0,05x_1x_2,$$

где  $W$  – водопоглощение;  $S$  – сток;  $x_1$  – фактор "обработка почвы";  $x_2$  – фактор "лесная полоса".

Абдульманов Ф. А. и Барабанов А. Т. (1976) проводили исследование влияния сочетания лесных полос и обработки почвы на сток, эрозии и урожай в 1973-1974 гг. на обыкновенных черноземах Самарского Заволжья. В 1973 г. при совместном влиянии лесополосы и различных

обработок стока совсем не было. Вне зоны влияния лесополосы сформировался сток до 12 мм. В 1974 г. существенной разницы в величинах стока на разном удалении от лесной полосы не было, однако коэффициенты стока вблизи лесной полосы были несколько меньше. Уменьшению смыва почвы в наибольшей степени способствовали гребнисто-ступенчатая, ступенчатая и глубокая отвальная вспашки.

Демидов В. В. (1983) на типичных черноземах Курской обл. также получил в 1979-1981 гг. материалы, характеризующие совместное влияние лесополос и обработки почвы. В открытом поле лункование зяби способствовало увеличению стока с 25,2 до 31,1 мм, при совместном действии лесополосы и лункования сток, наоборот, уменьшался до 15,3 мм. Осуществленная нами математическая обработка этих данных с использованием алгоритма Йетса позволила выявить влияние каждого фактора и во взаимодействии на снегозапасы  $C$ , водопоглощение  $W$  и сток талых вод  $S$ :

$$C = 80 + 2,2x_1 + 5,9x_2 - 1,1x_1x_2, \quad W = 57 + 2,4x_1 + 3,5x_2 - 10,7x_1x_2, \\ S = 23 - 0,2x_1 - 4,8x_2 - 3,1x_1x_2.$$

Коэффициенты уравнений регрессии показывают, что наибольшее влияние на эти показатели оказывает лесополоса и в меньшей степени обработка почвы. На сток талых вод в значительной степени влияют указанные выше факторы во взаимодействии.

Итак, данных по стокорегулирующей и противоэрозионной эффективности сочетания лесных полос и обработки почвы в литературе мало, часто они противоречивы. Для получения однозначного ответа нужны дополнительные исследования.

### 3.1.3. Влияние лесных полос в сочетании с простейшими гидротехническими сооружениями на эрозионно-гидрологические процессы

Приведенный выше анализ литературных данных показал, что стокорегулирующая роль лесных полос относительно высокая, однако недостаточная для эффективного зарегулирования стока, так как в них поступает свыше 1000 мм воды. С этим необходимо считаться. Нельзя преувеличивать роль противоэрозионных мероприятий. Более интенсивное водопоглощение в лесополосах возможно лишь в условиях сплошного затопления поверхности водой. С целью повышения стокорегулирующей роли лесополос Г. П. Сурмачем предложено со-

четать их с простейшими гидротехническими устройствами: обвалованием лесных полос по нижней опушке, созданием прерывистой канавы в нижнем междурядье с валом на опушке, устройством водозадерживающих валов на ложбинах по нижней опушке лесополос.

Исследований по оценке эффективности этих сочетаний проведено много на разных типах почв европейской части РФ Г. П. Сурмачем, Е. А. Гаршиным, В. И. Пановым, Л. В. Котовым. Результаты их обобщены в работах Г. П. Сурмача (1971) и Г. П. Сурмача, Е. А. Гаршина, В. И. Панова, А. В. Котова (1975). В последующие годы эти исследования были продолжены Н. Е. Новиковым, В. П. Борцом, В. М. Ивониным, Ю. В. Бондаренко, В. И. Антоновым. Например, на Новосильской ЗАГЛОС им. А. С. Козменко имеется ряд наблюдений в 25 лет. Длинные ряды наблюдений есть и по другим пунктам: Поволжская АГЛОС, Камышинский агроресомелиоративный опорный пункт. Волгоградское ОПХ ВНИАЛМИ. Они однозначно указывают на высокую водопоглощающую эффективность сочетания стокорегулирующих лесных полос с простейшими гидротехническими сооружениями. Например, на серых лесных почвах Новосильской ЗАГЛОС в лесополосах с гидротехникой в среднем поглощается 2100 мм, а в отдельные годы свыше 5000. Без гидротехники средняя величина водопоглощения в лесополосах составляет 326 мм (до 400 мм). На обыкновенных черноземах Поволжской АГЛОС величина просачивания в лесополосах с обвалованием достигала 980 мм, а без него 346. На светло-каштановых почвах Волгоградской обл. эти показатели были соответственно 775 и 240 мм. Следовательно, водопоглощающая роль лесополос с гидротехникой возрастает в 3-12,5 раза.

В связи с тем, что эффективность сочетания лесных полос с гидротехникой достаточно обоснована и определена количественно с довольно высокой точностью, мы в дальнейшем при изучении взаимодействия лесных полос с другими элементами почвозащитной системы земледелия принимали фактор лесные полосы в сочетании с гидротехникой.

### **3.2. Взаимодействие стокорегулирующих лесных полос с другими элементами почвозащитного земледелия**

Выше мы дали оценку стокорегулирующей, противозерозионной и агрономической эффективности отдельных почвозащитных приемов и их парных сочетаний. Вопросам же комплексного воздействия противо-

эрозионных приемов уделялось очень мало внимания и почти не ставилась задача выявить роль каждого элемента во взаимосвязи с другими. Считается, что эффект противоэрозионного комплекса равен сумме эффектов его элементов. Есть и другая точка зрения. Воздействуя на эрозионно-гидрологические процессы, лесные полосы влияют и на другие противоэрозионные приемы (повышают их эффективность), которые, в свою очередь, способствуют повышению их роли. В результате совместного воздействия элементов противоэрозионного комплекса получается синергетический эффект. Эти выводы основывались на изучении роли отдельных противоэрозионных приемов и их парных сочетаний. Экспериментальных данных по этому вопросу не было.

В настоящее время вопросами комплексного воздействия почвозащитных приемов занимаются во ВНИИЗиЗПЭ (М. К. Пружин и др., 1986, 1987) и ВНИАЛМИ (А. Т. Барабанов, 1986; А. Т. Барабанов и др., 1987, 1987, 1988, 1990). Во ВНИИЗиЗПЭ разрабатываются эмпирико-статистические модели взаимосвязей элементов системы земледелия на основе проведения многофакторного опыта в ОПХ института (Курская обл.). Во ВНИАЛМИ оценка взаимодействия агролесомелиорации с другими элементами почвозащитной системы земледелия, влияния их на эрозионно-гидрологические процессы и разработка регрессионной модели проводится в лесостепи Западной Сибири, на юге центрального района Нечерноземной зоны РФ и в Нижнем Поволжье. Автором, а также под его руководством и по разработанной им методике (А. Т. Барабанов, Е. А. Гаршинев, 1987) В. М. Уваровым, С. Г. Кириченко, В. И. Победённым, А. И. Петелько, В. А. Ивановой, В. И. Антоновым в период с 1985 по 1990 гг., проведены многофакторные исследования.

Эрозионно-гидрологическую оценку влияния факторов осуществляли на стоковых площадках. Для интегральной оценки устраивали стоковые площадки с охватом всех элементов склона и изучаемых факторов (полевая часть с разной обработкой почвы и севооборотами, лесные полосы с канавой и валом), а для выявления генезиса эрозионно-гидрологических процессов дифференцированно учитывали показатели на разных элементах склона при различных видах севооборотов и обработки почвы, а также в разных сочетаниях их с лесными полосами.

Материалы исследований подробно по годам опубликованы в работах (А. Т. Барабанов, 1986; А. Т. Барабанов, В. М. Уваров, В. И. Антонов, Ю. Н. Коблев, 1987; А. Т. Барабанов, В. И. Антонов,

В. И. Козак, 1987; А. Т. Барабанов, А. И. Петелько, 1987; А. Т. Барабанов, А. И. Петелько, В. И. Антонов, 1988; А. Т. Барабанов, С. Г. Кириченко, В. И. Победённый, 1990, и др.). Рассмотрим здесь в обобщенном виде (табл. 3.4) результаты изучения взаимосвязи контурных сто-

Таблица 3.4

**Показатели влияния факторов отдельно и во взаимодействии на снегозапасы  $C$ , водопоглощение  $W$ , сток талых вод  $S$ , смыв почвы  $Z$  и урожай сельскохозяйственных культур  $U$**

Вариант	Фактор			$C$ , мм	$W$ , мм	$S$ , мм	$Z$ , т/га	$U$ , ц/га
	$x_1$	$x_2$	$x_3$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Западная Сибирь, лесостепь, 1987-1989 гг.</b>								
<i>Без лесополос</i>								
1. Дифференцированное размещение севооборотов, плоскорезная обработка	-	-	-	103	78	25	0,44	14,5
2. Полевой севооборот по всему склону, плоскорезная обработка	+	-	-	100	86	14	0,41	15,2
3. Вариант 1, отвальная вспашка	-	+	-	101	79	22	0,61	13,9
4. Вариант 2, отвальная вспашка	+	+	-	100	77	23	1,50	14,8
<i>Две лесополосы с валами</i>								
5. Вариант 1	-	-	+	105	96	9	0,24	14,9
6. Вариант 2	+	-	+	107	97	10	0,31	16,0
7. Вариант 3	-	+	+	107	97	10	0,37	14,2
8. Вариант 4	+	+	+	107	97	10	0,56	15,4
<b>Западная Сибирь, лесостепь, 1987-1988<sup>х)</sup></b>								
<i>Без лесополос</i>								
1. Без удобрений, плоскорезная обработка	-	-	-	132	110	22	1,10	20,9
2. NPK, плоскорезная обработка	+	-	-	127	106	21	1,20	21,8
3. Без удобрений, отвальная вспашка	-	+	-	133	105	28	1,50	18,9
4. NPK, отвальная вспашка	+	+	-	131	102	29	1,80	13,4
<i>Лесополоса с канавой и валом</i>								
5. Вариант 1	-	-	+	147	132	15	0,20	22,6
6. Вариант 2	+	-	+	145	132	13	0,30	23,0
7. Вариант 3	-	+	+	150	140	10	0,20	20,7
8. Вариант 4	+	+	+	149	139	10	0,40	21,7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Юг ЦРНЗ, лесостепь, 1986-1990 г.</b>								
<i>Без лесополос</i>								
1. Дифференцированное размещение севооборотов, плоскорезная обработка	–	–	–	101	71	30	0,01	31,4
2. Полевой севооборот по всему склону, плоскорезная обработка	+	–	–	102	74	28	0,01	30,7
3. Вариант 1, отвальная вспашка	–	+	–	100	74	26	0,02	33,0
4. Вариант 2, отвальная вспашка	+	+	–	98	72	26	0,02	32,3
<i>Три лесополосы с канавами и валами</i>								
5. Вариант 1	–	–	+	121	121	0	0	31,2
6. Вариант 2	+	–	+	123	123	0	0	31,9
7. Вариант 3	–	+	+	131	131	0	0	34,9
8. Вариант 4	+	+	+	121	121	0	0	36,6
<b>Нижнее Поволжье, степь, 1987-1989 гг. <sup>xxv)</sup></b>								
<i>Без лесополос</i>								
1. Дифференцированное размещение севооборотов, плоскорезная обработка	–	–	–	72	48	24	4,0	24,6
2. Полевой севооборот по всему склону, плоскорезная обработка	+	–	–	71	49	22	4,9	24,8
3. Вариант 1, отвальная вспашка	–	+	–	67	44	23	4,2	25,3
4. Вариант 2, отвальная вспашка	+	+	–	69	53	16	9,0	23,5
<i>Две лесополосы с канавой и валом</i>								
5. Вариант 1	–	–	+	105	108	2	6,6	23,4
6. Вариант 2	+	–	+	93	88	5	15,6	25,6
7. Вариант 3	–	+	+	101	97	4	7,1	22,8
8. Вариант 4	+	+	+	102	100	2	12,7	25,1
<b>Нижнее Поволжье, сухая степь, 1987-1990 гг. <sup>xxv)</sup></b>								
<i>Без лесополос</i>								
1. Дифференцированное размещение севооборотов, плоскорезная обработка	–	–	–	48	83	110	8,6	–
2. Полевой севооборот по всему склону, плоскорезная обработка	+	–	–	49	91	60	50,6	–
3. Вариант 1, отвальная вспашка	–	+	–	47	77	98	27,7	–
4. Вариант 2, отвальная вспашка	+	+	–	46	92	92	34,9	–
5. Вариант 1	–	–	+	76	116	46	4,3	–
6. Вариант 2	+	–	+	82	127	17	11,7	–



1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Лесополоса с канавой и валом</i>								
7. Вариант 3	–	+	+	82	121	47	4,6	–
8. Вариант 4	+	+	+	88	115	5	12,0	–

*Примечание.* <sup>x)</sup>Вместо фактора  $x_1$ , изучался фактор  $x_4$  – удобрение; <sup>xx)</sup>данные по смыву и урожаю за 1988 год; <sup>xxx)</sup>исследования проводились методом напуска, величина подтока в снеготпасы не входит.

корректирующих лесных полос, севооборотов (размещение их по склону), приемов обработки почвы, удобрений и влияние их на снегоотложение, водопоглощение, сток, смыв почвы и урожай сельскохозяйственных культур. В опытах изучались следующие факторы и уровни: размещение полевых и почвозащитных севооборотов  $x_1$ , (минус – дифференцированное размещение севооборотов, в верхней части склона полевой, в нижней почвозащитный; плюс – полевой по всему склону); обработка почвы  $x_2$  (плюс – отвальная вспашка, минус – плоскорезная обработка); контурные стокорегулирующие лесные полосы в сочетании с гидротехникой  $x_3$  (плюс – наличие фактора, минус – отсутствие); удобрения  $x_4$  (плюс – НРК из расчета полной потребности растений на уровне положительного баланса питательных веществ, минус – без удобрений). Это общая принципиальная схема опыта. В каждом конкретном пункте уточнялось содержание этих факторов в соответствии с зональными особенностями и условиями опытного участка. В целом по всем зонам наиболее мощным фактором, воздействующим на эрозионно-гидрологические показатели, являются контурные стокорегулирующие лесные полосы в сочетании с простейшими гидротехническими сооружениями. Причем при движении с севера на юг это влияние увеличивается. Более наглядно видно влияние факторов и их взаимодействия по коэффициентам уравнений регрессии, приведенным в табл. 3.5. Почти во всех случаях наибольшие коэффициенты регрессии  $b_3$  при факторе  $x_3$  – лесные полосы с гидротехникой. Другие факторы имеют меньшее, но часто важное значение. Например, в Нижнем Поволжье большую роль для сокращения смыва почвы наряду с лесными полосами играет дифференцированное размещение севооборотов на склоне. В отдельные годы большое воздействие на урожай оказывали обработки почвы и удобрения. Взаимодействие факторов (коэффициенты регрессии  $b_{12}$ ,  $b_{13}$ ,  $b_{23}$ ,  $b_{123}$ ) не проявлялось или

оно было слабое. Изучаемые факторы дополняют друг друга, а иногда могут и заменять. Например, в степной зоне при создании системы контурных стокорегулирующих лесных полос в сочетании с простейшими гидротехническими сооружениями из комплекса можно исключить дифференцированное размещение севооборотов, то есть на приречных участках пашни с крутизной склонов свыше 3° можно разме-

Таблица 3.5

**Коэффициенты уравнений регрессии, характеризующие влияние факторов отдельно и во взаимодействии на снегозапасы  $C$ , водопоглощение  $W$ , сток  $S$ , смыл почвы  $Z$  и урожай сельскохозяйственных культур  $U$**

Показатель	Коэффициенты уравнений регрессии							
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_{12}$	$\beta_{13}$	$\beta_{23}$	$\beta_{123}$
<i>Западная Сибирь, лесостепь, 1987-1989 гг.</i>								
$C$	103	0,10	-0,4	2,4	0,4	1,1	0,1	-0,1
$W$	88	1,00	-0,8	8,5	-1,2	-0,5	1,2	1,2
$S$	15	-1,10	0,9	-5,6	1,4	1,4	-0,6	-1,6
$Z$	0,6	0,10	0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
$U$	15	0,40	-0,3	0,3	-0,02	0,1	0,02	0,05
<i>Западная Сибирь, лесостепь, 1987-1988 гг.</i>								
$C$	139	-1,2	1,5	8,5	0,5	0,5	0,2	-0,2
$W$	120	-0,4	1,4	15,6	-0,6	0,1	2,0	0,4
$S$	19	-0,2	0,7	-6,5	0,5	0,2	-2,7	0
$Z$	0,8	0,09	0,1	-0,6	0,04	-0,01	-0,1	-0,01
$U$	23	0,4	-0,4	0,8	0,06	0,1	0,06	0,04
<i>Юг ЦРНЗ, лесостепь, 1986-1990 г.</i>								
$C$	112	-1,1	0,4	11,9	-1,9	-0,9	1,6	-1,1
$W$	98	-0,7	1,2	25,0	-2,0	-1,2	0,7	-1,0
$S$	14	-0,2	-0,7	-13,8	0,2	0,2	0,7	-0,2
$Z$	0,01	0	0,002	0,01	0	0	-0,002	0
$U$	33	0,1	1,4	0,9	0	0,5	0,6	0,1
<i>Нижнее Поволжье, степь, 1987-1989 гг.</i>								
$C$	101	-1,5	-2,5	18	0,5	1,0	0,5	0,5
$W$	94	-0,2	-1,2	24,8	1,7	-0,02	-0,2	-0,2
$S$	7	-1,7	-0,7	-6,2	-0,7	1,7	0,2	0,2
$Z$	8	-2,5	0,2	-2,5	0,6	-1,1	0,8	0,9
$U$	24	0,4	-0,2	-0,2	-0,2	0,8	-0,06	0,2
<i>Нижнее Поволжье, сухая степь, 1987-1990 гг.</i>								
$C$	65	1,5	1,0	17,2	-0,2	1,5	2,0	0,2
$W$	103	3,5	-1,5	17,0	-1,2	-2,2	-0,2	-3,0
$S$	59	-15,9	1,1	-30,6	3,9	-1,8	-3,9	-7,1
$Z$	19	-8,0	0,5	-11,1	-4,3	-4,3	-0,3	4,3

щать не почвозащитные севообороты (многолетние травы), а зернопропашные, что обеспечивает более рациональное и интенсивное использование пашни и защиту почв от эрозии. Если в субаридных условиях при незначительном стоке, коротких и пологих склонах возможно применять только вспашку, то при особо напряженных эрозионно-гидрологических условиях гумидной зоны необходимо обязательное применение лесных полос и почвозащитных обработок.

Таким образом, наиболее мощным интразональным фактором эрозионно-гидрологического процесса являются контурные стокорегулирующие лесополосы.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Деградация почв возникает и усиливается вследствие многих причин, в том числе в результате нерациональной хозяйственной деятельности, недостаточного внимания; и некомплексного подхода к борьбе с эрозией почв. Эффективная система мер противоэрозионной защиты возможна только на основе агролесомелиоративного почвозащитного комплекса. Его разработка и совершенствование должны осуществляться на расчетной основе, в том числе с применением ЭВМ. Для этого необходимо надежное научное обоснование и соответствующая нормативная база. Требуется знание закономерностей формирования стока и эрозии под влиянием природных и антропогенных факторов отдельно и во взаимодействии, стокорегулирующей и противоэрозионной эффективности элементов комплекса и др.

Приведенные в работе результаты анализа взаимосвязи природных и антропогенных факторов, выявленные закономерности эрозионно-гидрологических процессов и теоретические зависимости стока талых вод разной вероятности превышения, количественная оценка роли отдельных элементов противоэрозионного комплекса и во взаимодействии позволили дать научное обоснование, определить место и роль агролесомелиорации в почвозащитном земледелии, сформулировать ряд теоретических положений и практических предложений, определить направления совершенствования и разработки новых способов защиты почв от эрозии.

Изучен характер снегоотложения в системе контурных лесных полос и выявлены его закономерности, особенно в условиях Западной Сибири, где четко выражено господствующее направление метельных ветров. Установлено, что в этом регионе отложение снега связано с экспозицией склонов. На склонах, где направления метельных ветров и трасс стокорегулирующих лесополос совпадают, независимо от параметров и конструкций насаждений около них формируются мощные, но короткие снежные шлейфы. На склонах, где господствующее направление метельных ветров перпендикулярно стокорегулирующим лесополосам продуваемой и ажурно-продуваемой конструкций, снег в

межполосном пространстве распределяется относительно равномерно. В европейской части РФ, где нечетко выражено господствующее направление метельных ветров, снег в системе контурных лесных полос в основном откладывается неравномерно. Больше его накапливается в лесных полосах и шлейфах, меньше на межшлейфовых участках. В целом в системах лесных полос его всегда откладывается в 1,5-2 раза больше, чем в открытых полях.

С характером снегоотложения связано промерзание и оттаивание почвы, а, следовательно, и сток талых вод. Лесные полосы, накапливая мощные снежные шлейфы, при определенных условиях (выпадение снега одновременно или до наступления морозов) могут в течение зимы предохранять почву от промерзания и тем самым обеспечивать повышенное водопоглощение. При равномерном распределении снега почва промерзает обычно на одинаковую глубину в лесополосах и в межполосном пространстве, что может обуславливать при повышенных снегозапасах в системе лесополос некоторое увеличение стока.

Наблюдениями за режимом влажности почвы, как фактора стока, установлено, что контурные стокорегулирующие лесные полосы способствуют большему увлажнению почвы в период снеготаяния. Лучший режим влажности сохраняется до конца вегетации сельскохозяйственных культур, а к зиме влажность почвы выравнивается. В лесополосах она даже бывает ниже, чем в поле. Это также способствует повышенному водопоглощению в них. Лесные полосы слабо влияют на предзимнее увлажнение почвы в поле. В Западной Сибири на склонах, где формируются мощные снежные шлейфы, режим влажности в межполосных пространствах в целом благоприятнее, чем при равномерном распределении снега. В европейской части РФ и особенно в Нижнем Поволжье в связи с пестротой литологического строения почвогрунта режим влажности довольно сложный. На предзимнее увлажнение почвы лесополосы здесь также мало влияют.

Разработана и апробирована концепция лимитирующих факторов эрозионно-гидрологического процесса. Суть ее состоит в том, что на формирование стока талых вод влияет много факторов при сложном их взаимодействии: влажность и глубина промерзания почвы, снегозапасы и др. Однако при определенном значении одного из них сток не формируется независимо от уровня других факторов, то есть он является лимитирующим. На основе этой концепции определены главные факторы, влияющие на сток, и установлены их максималь-

ные значения, при которых сток не формируется или бывает незначительный. С помощью множественного корреляционно-регрессионного анализа дана количественная оценка влияния увлажнения верхнего слоя почвы и снеготопливов на сток при значениях других факторов выше максимальных, лимитирующих его формирование. В зональном плане и при разном антропогенном воздействии роль этих факторов проявляется по-разному.

Впервые сделан вывод и обосновано положение о том, что верхний (до 30 см) слой почвы в гидрологическом отношении является саморегулирующейся системой. Теоретически исследовано и экспериментально доказано, что он способен в мерзлом состоянии поглотить и удержать определенное количество воды, максимальное значение которого не превышает разницы между полной влагоемкостью и фактическими влагозапасами. Тем самым установлено, что возможности впитывания влаги почвой в мерзлом состоянии ограничены этими показателями.

Проанализированы теоретические зависимости весеннего стока разной вероятности превышения на зяби и уплотненной пашне, которые хорошо аппроксимируют эмпирические данные многолетних рядов наблюдений. Это позволило выявить закономерное увеличение стокорегулирующей роли зяби в многоводные годы. Связь равнообеспеченных величин стока с зяби и уплотненной пашни выражается уравнением прямой линии  $y = a + vx$  по всем исследуемым пунктам. Показатели коэффициента  $v$  очень близки, что указывает на интразональный характер связи. По этим уравнениям можно рассчитывать сток по одному из видов пашни, имея данные, по другому.

Теоретические разработки позволяют иметь более правильное представление об эрозионно-гидрологических процессах. Они могут быть использованы в учебных пособиях для преподавания в высших и средних учебных заведениях курса по защите почв от эрозии. Их можно применять при обосновании элементов комплекса, их сочетаний и более обоснованно рассчитывать агролесомелиоративный комплекс в целом.

Методические разработки (изучение противоэрозионной эффективности почвозащитных севооборотов, сравнительная оценка разных методов учета стока и смыва, многофакторные опыты в противоэрозионной лесомелиорации) и применение статистического, генетического подходов и элементов системного подхода позволили выйти на более высокий уровень исследований и получить более обоснованные материалы.

В результате методических, теоретических и экспериментальных исследований разработаны и предложены для применения:

метод прогноза стока талых вод с сельскохозяйственной территории, обеспечивающий большую экономию средств, материалов и энергии и позволяющий давать прогнозную оценку противоэрозионных комплексов;

карты среднего весеннего стока с зяби и уплотненной пашни для лесостепных и степных районов европейской части РФ, Украины и Беларуси и модульные коэффициенты для определения стока разной вероятности превышения; их следует использовать в различных гидрологических расчетах;

возможность интенсивного использования нижних присетевых участков склонов крутизной свыше  $3^\circ$  в полевых зернопропашных севооборотах в степной зоне РФ в системе стокорегулирующих лесных полос при контурной организации территории в сочетании с гидротехническими и агротехническими приемами, что позволяет более рационально и интенсивно использовать всю пашню, защитив ее от эрозии, а водные источники – от загрязнения и заиления;

новый способ защиты почв от эрозии (а. с. 1404000), представляющий собой сочетание стокорегулирующих лесных полос с размещением в межшлейфовых частях многолетних трав и других почвозащитных фонов, а в шлейфовых – сельскохозяйственных культур, под которые требуется зяблевая вспашка, и обеспечивающий высокоэффективную защиту почв от эрозии в межполосном пространстве, не достижимую при традиционном применении лесных полос и агротехнических приемов;

новый способ создания системы приводораздельных, стокорегулирующих и прибалочных лесных полос с уменьшающейся вниз по склону ветропроницаемостью стока в сочетании с кулисами из высокостебельных сельскохозяйственных культур, обеспечивающий постепенное стаивание снега сверху вниз по склону и резкое сокращение и предотвращение эрозии почв;

количественная оценка (нормативы) стокорегулирующей, противоэрозионной и агрономической (на урожай сельскохозяйственных культур) эффективности элементов почвозащитной системы земледелия, использующихся при расчете параметров систем стокорегулирующих лесных полос;

теоретически обоснованные и практически проверенные пути и направления совершенствования агролесомелиоративного противоэрозионного комплекса и разработки новых почвозащитных приемов (регулирование поверхностного стока путем потускулярного перевода его в грунтовой или безопасный сброс, повышение противоэрозионной устойчивости почв, использование почвозащитных свойств растительности, создание микрорельефа с одновременным повышением впитывающей способности почвы и др.).

Впервые в противоэрозионной лесомелиорации разработаны методические подходы, выполнены в зональном разрезе многофакторные полевые стационарные эксперименты и разработаны множественные регрессионные модели действия и взаимодействия элементов почвозащитного комплекса – стокорегулирующих лесных полос (в сочетании с гидротехникой), взаимоувязанного размещения севооборотных массивов, обработки почвы, удобрений. На этой основе даны количественные оценки каждого элемента – фактора, а также эффектов их взаимодействия первого и второго порядка, информация о которых до сих пор отсутствовала. Материалы исследований позволяют ранжировать элементы почвозащитного комплекса в порядке убывания их эрозионно-гидрологического эффекта.

Наиболее мощным интразональным фактором являются контурные стокорегулирующие лесные полосы в сочетании с простейшими гидротехническими сооружениями. Роль их при движении с севера на юг увеличивается. Далее в порядке убывания следуют пространственное дифференцированное по крутизне склонов размещение массивов полевого и почвозащитного севооборотов, обработка почвы, удобрения. Эффект взаимодействия факторов уступает главным эффектам, однако весьма существенно, что факторы не только дополняют один другой, но в ряде случаев действие одного (ведущего) фактора (лесополос) значительно превышает действие другого или даже совокупности нескольких факторов. Это, вопреки бытующим представлениям, не означает замену или противопоставление одной системы почвозащиты другой, а позволяет строить гибкий почвозащитный комплекс, обеспечивающий получение оптимального почвоводоохранного эффекта в любых, в том числе наиболее напряженных, условиях. Так, если в субаридных условиях при незначительном стоке, коротких и пологих склонах возможно применять вспашку, то при особо напряженных эрозионно-гидроло-



гических условиях необходимо обязательное применение почвозащитных (безотвальных, мульчирующих и "нулевых") обработок. Если в степной зоне РФ в системе контурных стокорегулирующих лесных полос в сочетании с другими приемами присетевые земли крутизной свыше 3° можно использовать интенсивно в зернопропашных севооборотах, то в лесостепной необходимо дифференцированное размещение или севооборотных массивов на склоне или сельскохозяйственных культур в межполосном пространстве.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абдульманов Ф. А., Барабанов А. Т. Влияние защитных лесных полос и обработки почвы на сток, эрозию и урожай в Куйбышевском Заволжье // Науч.-техн. бал. ВНИИЗиЗПЭ по проблеме Защита почв от эрозии. – Курск, 1976. – Вып. 4(11). – С. 8-12.

2. 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. 9-14.

3. Аксёнов П. И. Щелевание мерзлой почвы перед стоком // Вестн. с.-х. науки. – 1969. – № 3. – С. 70-78.

4. Алифанова Т. И. Гидрологическая роль лесных полос на обыкновенных черноземах Среднего Заволжья // Эрозия почв, защитное лесоразведение и урожай. – Куйбышев, 1960. – Вып. 4. – С. 65-78.

5. Антонов В. И. Особенности формирования поверхностного стока талых вод с малых водосборов сухой степи // Противозерозионная мелиорация. – Волгоград, 1984. – Вып. 2(43). – С. 18-20.

6. Антонов В.И. Оценка эффективности технологий создания контурных лесных полос // Лесомелиорация при контурном земледелии. – Волгоград, 1988. – Вып. 1(93). – С. 117-122.

7. Аполлов Б. А., Калинин Г. П., Комаров В. Д. Курс гидрологических прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 420 с.

8. А. с. 886766 (СССР). Способ оценки эффективности противозерозионных и стокорегулирующих приемов на склонах / Е. А. Гаршинев, М. К. Пружина, Н. И. Картамышев и др.; Заявл. 10.04.79; Опубл. 07.12.81, Бюл. № 45. – С. 3-4.

9. А. с. 1404000 (СССР). Способ защиты почв от эрозии на склонах. А. Т. Барабанов, Е. А. Гаршинев, А. И. Крупчатников, М. К. Пружин (СССР). № 4092884/30-15(22); Заявл. 02.06.86; Опубл. 1988, Бюл. № 23. – С. 4.

10. Барабанов А. Т. Влияние зяблевой обработки светло-каштановой почвы на сток, смыв и урожай // Докл. на науч.-техн. конф. аспирантов и молодых ученых. – Волгоград, 1966. – С. 29-30.

11. Барабанов А. Т. Изучение водозадерживающих приемов обработки светло-каштановых почв на склоновых землях Волгоградской области: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – М., 1968. – 17 с.

12. Барабанов А. Т. К методике определения смыва почв // Комплекс противозерозионных мероприятий в действии. – Ворошиловград, 1985. – Т. 2. – С. 19-20.

13. Барабанов А. Т. Расчет теоретических кривых вероятности превышения поверхностного стока талых вод и характеристика его в Поволжье и на Северном Кавказе // Лесомелиорация склонов. – Волгоград, 1985. – Вып. 3(86). – С. 74-81.

14. Барабанов А. Т. Расчет теоретических кривых вероятности превышения поверхностного стока талых вод в ЦЧО для проектирования системы противозерозионных мероприятий /Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. сов. Пути интенсификации земледелия в свете решений XXVII съезда КПСС. – М., 1986. – С. 71-72.

15. Барабанов А. Т. Научные основы разработки противозерозионных комплексов в Нечерноземной зоне // Повышение плодородия эродированных почв в Нечерноземной зоне. – Свердловск, 1986. – Т. 46. – С. 44-52.

16. Барабанов А. Т. Прогноз стока талых вод на юге Центрального района Нечерноземной зоны РСФСР // Докл. ВАСХНИЛ. – 1986. – № 12. – С. 17-19.

17. Барабанов А.Т. Новый способ крупнополосного размещения сельскохозяйственных культур в системе лесных полос при контурной организации территории // Лесомелиорация при контурном земледелии. – Волгоград, 1938. – Вып. 1(93). – С. 92-99.

18. Барабанов А. Т. Особенности лесомелиорации при контурной организации территории // Тез. докл. Всесоюз. шк. молодых уч. и специалистов по современным проблемам защитного лесоразведения и охраны природы (г. Минск, 19-25 октября 1987 г.). – Волгоград, 1987. – С. 127-129.

19. Барабанов А. Т. Противозерозионная организация территории и почвозащитные севообороты в системе контурных лесных полос / Тез. докл. науч.-практ. конф. Вопросы экологии в интенсивных системах земледелия Поволжья. – Саратов, 1990. – С. 37-38.

20. Барабанов А. Т. Способы размещения сельскохозяйственных культур на склонах в системе контурных стокорегулирующих лесных полос // Тез. докл. Научно-технический прогресс в лесной отрасли Центрального Черноземья. – Воронеж, 1990а. – С. 132-133.

21. Барабанов А. Т., Тубольцев Е. Я., Ломакин М. М. Почвозащитная роль севооборотов на присетевых склонах // Науч.-техн. бюл. по проблеме Защита почв от эрозии. – Курск, 1980. – Вып. 1(24)-80. – С.12-18.

22. Барабанов А. Т., Антонов В. И., Козак В. И. Комплексная роль лесомелиоративных и агротехнических противозерозионных мероприятий // Почвозащитная лесомелиорация. – Волгоград, 1987. – Вып. 2(51). – С. 17-19.

23. Барабанов А. Т., Гаршинев Е. А. Оценка поверхностного стока в степных и лесостепных районах РСФСР, Украины и Белоруссии // Там же. – С. 5-9.

24. Барабанов А. Т., Гаршинев Е. А. Методика изучения способов сочетания лесомелиорации с другими элементами систем земледелия при контурной организации территории. – Волгоград, 1987. – 44 с.

25. Барабанов А. Т., Кириченко С. Г., Поведённый В. И. Оценка взаимодействия антропогенных факторов и влияние их на эрозионно-гидрологические процессы и урожай // Почвозащитная технология полива и повышение надежности противопаводковой защиты. – Пушино, 1990. – С. 117-121.

26. Барабанов А. Т., Ломакин М. М. Прогноз стока талых вод // Вестн. с.-х. науки. – 1989. – № 9. – С. 133-135.

27. Барабанов А. Т., Петелько А. И. Эффективность агролесомелиоративного противоэрозионного комплекса с контурной организацией территории на серых лесных почвах ЦРНЗ // Противоэрозионный комплекс Нечерноземья. – Волгоград, 1987. – Вып. 3(52). – С. 17-19.

28. Барабанов А. Т., Петелько А. И., Антонов В. И. Взаимодействие антропогенных факторов, их влияние на эрозионно-гидрологические процессы и урожай при контурной организации территории // Лесомелиорация при контурном земледелии. – Волгоград, 1988. – Вып. 1(93). – С. 19-29.

29. Басов Г. Ф., Грищенко М. Н. Гидрологическая роль лесных полос. – М.: Гослесбумиздат, 1963. – 201 с.

30. Беляев В. А. Борьба с водной эрозией почв в Нечерноземной зоне. – М.: Россельхозиздат, 1976. – 121 с.

31. Беляев В. А., Макаров И. П. Увлажнительная роль уплотнения снега с валкованием // Вестн. с.-х. науки. – 1973. – № 4. – С. 88-95.

32. Бойко Н. П. Особенности водного режима почвы в лесных насаждениях на сероземах аридной зоны // Гидрологическая роль защитных лесных насаждений. – М.: Колос, 1975. – С. 175-219.

33. Бондаренко Ю. В., Зыков И. Г. Водорегулирующая эффективность полосных лесных насаждений различных параметров в гидрографической сети // Вопросы защиты почв от эрозии. – Волгоград, 1978. – Вып. 2(27). – С. 21-22.

34. Бондаренко Ю. В. Влияние длины линий стока на поверхностный сток // Защита почв от эрозии лесомелиоративными мероприятиями. – Волгоград, 1982. – Вып. 1(37). – С.18-20.

35. Борец В. П. Влияние приемов агротехники на сток, водную эрозию светло-каштановых почв и урожай сельскохозяйственных культур: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02. – Саратов, 1973. – 22 с.

36. Борец В. П. Гидрологическая и противоэрозионная эффективность различных способов обработки светло-каштановой почвы на склонах Приволжской возвышенности // Вопросы защиты почв от эрозии. – Волгоград, 1978. – Вып. 2(27). – С. 32-35.

37. Борец В. П., Попов Н. С. Опыт коренной мелиорации размытых земель в колхозе "Красный Октябрь" Камышинского района Волгоградской области // Вопросы защиты почв от эрозии. – Волгоград, 1978. – Вып. 2(27). – С. 68-70.

38. Борец В. П. Водорегулирующая и противозэрозийная роль лесных насаждений на серых лесных почвах юга Нечерноземья // Лесомелиорация склонов. – Волгоград, 1985. – Вып. 3(86). – С. 125-132.

39. Брауде И. Д. Эрозия почв, засуха и борьба с ними в ЦЧО. – М.: Наука, 1965. – 140 с.

40. Браун Л. Земля в беде // Земледелие. – 1989. – № 4. – С. 75-80.

41. Бочков А. П. Влияние леса и агролесомелиоративных мероприятий на водность рек лесостепной зоны европейской части СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1954. – 135 с.

42. Бурнацкий Д. П., Яровенко В. В. Влияние глубины вспашки обыкновенных черноземов на элементы плодородия почвы и урожай // Почвоведение. – 1961. – № 3. – С. 28-35.

43. Бялый А. М., Исупов Б. А., Черников Ф. С. Водный режим и лесорастительные свойства почв крайне засушливой каштановой зоны // Гидрологическая роль защитных лесных насаждений. – М., 1975. – С. 122-174.

44. Ванин Д. Е., Майоров Ю. И., Солошенко В. М. Экономические основы эффективности почвозащитных мер. – М., 1987. – 152 с.

45. Ванин Д. Е., Рожков А. Г., Подгорный В. К., Здоровцов И. П. Противозэрозийные гидротехнические сооружения в почвозащитной системе земледелия // Земледелие. – 1984. – № 10. – С. 23-25.

46. Варбан А. К. Разработка и оценка мелиоративных мероприятий в сухой степи европейской части СССР: Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. – Краснодар, 1968. – 44 с.

47. Введенская Э. Д. Формирование снегового склонового стока в условиях ЦЧО // Материалы совещания по вопросам экспериментального изучения стока и водного баланса речных водосборов (4-7 VIII 1964 г.). – Валдай, 1965. – С. 152-158.

48. Волков В. П. Щелевание как способ борьбы с водной и ветровой эрозией почв // Защита почв от эрозии. – М., 1964. – С. 447-450.

49. Высоцкий Г. Н. Избранные сочинения. – Т. 1. – М.: изд-во АН СССР, 1962. – 499 с.

50. Гавриленко Л. Н., Гусаров В. Г. Дифференцированное применение агротехнических противозэрозийных приемов // Водная эрозия почв и борьба с ней. – М., 1977. – С. 102-117.

51. Гаршинев Е. А. Изучение водорегулирующей роли противозэрозийных насаждений на серых лесных почвах Центральной лесостепи: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.564. – Воронеж, 1971. – 20 с.

52. Гаршинев Е. А. Лесомелиоративные противоэрозионные мероприятия // Совершенствование мер борьбы с водной эрозией почв. – М., 1977. – С. 15-17.

53. Гаршинев Е. А. Лесомелиорация – важное звено системы почвозащитных мероприятий в Центральном Черноземье // Земледелие. – 1982. – № 5. – С. 26-28.

54. Гаршинев Е. А. Выбор способа размещения лесополос на водосборах с учетом направления вредоносных ветров // Лесомелиорация при контурном земледелии. – Волгоград, 1988. – Вып. 1(93). – С. 30-42.

55. Гаршинев Е. А. Обоснование способа расчета смыва и расстояний между лесными полосами на допустимую величину эрозии // Лесомелиорация малых рек. – Волгоград, 1990. – Вып. 1(99). – С. 105-115.

56. Гаршинев Е. А., Барабанов А. Т., Зыков И. Г. Основные направления противоэрозионной мелиорации // Вестн. с.-х. науки. – 1988. – № 1. – С. 145-151.

57. 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. по проблеме Защита почв от эрозии. – Курск, 1979. – Вып. 4(23). – С. 50-58.

58. Гаршинев Е. А., Зарудная Т.Я. Оценка приемов ускоренного повышения водопоглощения в молодых лесонасаждениях на типичных черноземах ЦЧО // Лесомелиорация склонов. – Волгоград, 1985. – Вып. 3(86). – С. 62-73.

59. Герасименко В. П. Влияние плоскорезной обработки почвы на водную эрозию и урожай в европейской части РСФСР // Вестн. с.-х. науки. – 1985. – № 1. – С. 41-49.

60. Герасименко В. П., Буруменский В. С. Методика оценки стокорегулирующей эффективности агротехнических противоэрозионных приемов // Вестн. с.-х. науки. – 1981. – № 12. – С. 50-56.

61. Герасименко В. П., Буруменский В. С., Шадрин В. И. Методика расчета склонового весеннего стока // Науч.-техн. бюл. – Курск, 1985. – Вып. 1(44)-85. – С. 25-32.

62. Глыбин Т. Г. Эффективность лесомелиорации в эродированных районах Нечерноземья // Агрлесомелиоративные способы защиты почв от водной эрозии и рациональное использование эродированных почв. – Волгоград, 1980. – Вып. 3(34). – С. 65-67.

63. Головкин М. М., Толстых Г. И. Почвозащитные севообороты // Эффективность почвозащитных технологий обработки эродированных почв Украинской ССР. – Киев, 1987. – С. 33-39.

64. Гончар А. И. Борьба со стоком и смывом почвы в районе правого берега среднего течения р. Десны // Почвоведение. – 1956. – № 1. – С. 109-114.

65. Гончар А. И. Почвозащитный метод обработки почвы // Земледелие. – 1958. – № 8. – С. 8-12.
66. Гончаров Н. Ф. Влияние приемов обработки почвы под озимые на эрозию склоновых земель в лесостепи ЦЧО: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.01. – Воронеж, 1983. – 17 с.
67. Грацианский М. Н. Инженерная гидрология и гидрометрия. – М.: Высш. шк., 1956. – 216 с.
68. Грин А. М. Весенний сток и смыв почвы с различных угодий Курской области // Вопросы гидрологии Успенского водохранилища и его водосбора. – М.-Л., 1963. – С. 275-283.
69. Грин А. М. Динамика водного баланса Центрально-Черноземного района. – М.: Наука, 1965. – 146 с.
70. Грызлов Е. В. Почвозащитная система земледелия. – Ростов-на-Дону, 1975. – 136 с.
71. Грызлов Е. В. Эффективность полосного земледелия // Сельское хозяйство России. – 1977. – № 8. – С. 27-30.
72. Грызлов Е. В., Полуэктов Е. В. Эффективность противоэрозионных орудий // Земледелие. – 1978. – № 7. – С. 70-73.
73. Грызлов Е. В., Полуэктов Е. В. Стокорегулирующая роль основных способов обработки почвы // Земледелие. – 1979. – № 5. – С. 24-25.
74. Гуссак В. Б. Факторы и внутренние последствия поверхностных смывов красноземов в условиях влажных субтропиков Грузии // Эрозия почв. – М. – Л., 1937. – С. 103-154.
75. Демидов В. В. Комплексное влияние лесных полос и агротехнических приемов на эрозию почвы и урожайность сельскохозяйственных культур на черноземах Курской области: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.04. – Волгоград, 1983. – 25 с.
76. Демьянова Т. В. Эффективность противоэрозионных обработок на эродированных черноземах Правобережья Саратовской области: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.01. – Воронеж, 1989. – 18 с.
77. Дегтярёва Е. Т., Жулидова А. Н. Почвы Волгоградской области. – Волгоград: Нижне-Волж. кн. изд-во. – 1970. – 320 с.
78. Джабраилов Д. У. Противоэрозионная оценка обвалования и бороздования зяби на дерново-подзолистых почвах // Почвоведение. – 1969. – № 12. – С. 134-139.
79. Добрынин Ф. Д., Карпович К. И., Прокофьев А. М., Петров П. Т. Некоторые вопросы по защите почв от водной и ветровой эрозии в правобережье лесостепи Среднего Поволжья // Тр. Ульяновской СХОС. – Ульяновск, 1975. – Т. VI. – С. 127-146.
80. Докучаев В. В. Наши степи прежде и теперь. 2-е изд. – М.: Сельхозгиз, 1953. – 152 с.

81. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
82. Дрейер Н. Н. Распределение элементов водного баланса по территории СССР // Водный баланс СССР и его преобразование. – М., 1969. – С. 24-53.
83. Дьяков В. Н. Изучение стока талых вод и разработка мероприятий по борьбе с эрозией почв в Центральной лесостепи: Автореф. дис. ... канд. с.-х. н. – М., 1964. – 22 С.
84. Заславский М. Н. Эрозия почв и земледелие на склонах. – Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1966. – 494 с.
85. Заславский М. Н. Эрозия почв. – М.: Мысль, 1979. – 246 с.
86. Заславский М. Н. Эрозиоведение. – М.: Высшая школа, 1983. – 320 с.
87. Заславский М. Н., Ларионов Г. А. Разработка систем противоэрозионных мер // Эрозионные процессы. – М., 1984. – С. 74-84.
88. Захаров В. В. Мероприятия, улучшающие распределение снега и талых вод на полях, защищенных лесными полосами // Эрозия почв защитное лесоразведение и урожай. – Куйбышев, 1960. – Вып. 4. – С. 79-86.
89. Захаров В. В. Пути повышения продуктивности земель, мелиорируемых лесными полосами: Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук: 06.01.01. – Горький, 1977. – 24 с.
90. Зайцев Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. – М.: Наука, 1984. – 424 с.
91. Зайцев Г. Н. Преимущества полосного земледелия // Зерновое хозяйство. – 1975. – № 10.
92. Здоровцов И. П. Почвоводоохранное устройстве территории севооборотов // Науч.-техн. бюл. ВНИИЗиЗПЭ. – Курск, 1985. – Вып. 1(44)-85. – С. 3-18.
93. Здоровцов И. П., Шевцов А. Е., Ковбаса В. И. Особенности размещения и устройства территории севооборотов в условиях сложного рельефа в ЦЧО // Науч.-техн. бюл. по защите почв от эрозии. – Курск, 1976. – Вып. 8. – С. 51-59.
94. Зыков И. Г. Основные параметры комплекса лесных полос и гидротехнических сооружений на склонах // Проблемы и резервы контурного земледелия. – М., 1982. – С. 71-78.
95. Зыков И. Г., Бондаренко Ю. В., Калужский В. А. Обеспеченность слоя стока талых вод в зоне каштановых почв Нижнего Поволжья // Противоэрозионная лесомелиорация. – Волгоград, 1984. – Вып. 2(43). – С. 4-6.
96. Зыков И. Г., Ивонин В. М., Духнов В. К. Защита склонов от эрозии. – М.: Госсельхозиздат, 1985. – 174 с.
97. Зыков И. Г., Панов В. И., Борец В. П., Антонов В. И. Многолетние ряды склонового стока с зяби и угодий с плотной почвой в лесостеп-



ной и степной европейской части РСФСР // Лесомелиорация склонов. – Волгоград, 1985. – Вып. 3(86). – С. 104-109.

98. Иванов В. Д. Эффективность лункования зяби на черноземах и серых лесных почвах // Земледелие. – 1979. – № 11. – С. 28-29.

99. Иванов В. Д. Защита почв от эрозии и повышение их плодородия на основе комплекса противоэрозионных мероприятий в Центральной лесостепи (по материалам Центрально-Черноземной полосы): Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. – Минск, 1984. – 44 с.

100. Ивонин В. М. Результаты отдельного и совместного применения элементов противоэрозионного комплекса на склоновых землях в Ростовской области: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.531. – Персиановка, 1972. – 26 с.

101. Ивонин В. М. Агролесомелиорация разрушенных оврагами склонов. – М.: Колос, 1983. – 174 с.

102. Извеков А. С., Спиринов А. П., Багдасаров Н. В., Ревякин Е. А. Перспективы внедрения почвозащитных технологий // Земледелие. – 1968. – № 2. – С. 36-38.

103. Инструкция по определению расчетных гидрологических характеристик при проектировании противоэрозионных мероприятий на европейской территории СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 62 с.

104. Изучение водопоглощающего и противоэрозионного влияния защитных лесонасаждений в комплексе с другими мероприятиями: Метод. рек. / Г. П. Сурмач, А. Т. Барабанов, Е. А. Гаршинев и др. – М., 1975. – 96 с.

105. Каргов Б. А. Лесные полосы и увлажнение полей. – М.: Лесн. пром-ть, 1971. – 120 с.

106. Каулин В. Н. Приемы обработки почвы на склонах и влагонакопление // Вестн. с.-х. науки. – 1965. – № 1. – С. 123-126.

107. Каулин В. Н. Влияние агролесомелиоративных мероприятий на сток талых вод с малых водосборов // Материалы совещания по вопросам экспериментального изучения стока и водного баланса речных водосборов. – Валдай, 1965. – С. 221-229.

108. Качинский Н. А. Замерзание, размерзание и влажность почвы в зимний сезон в лесу и на полевых участках. – М.: Изд-во МГУ, 1927. – 168 с.

109. Качинский Н. А. Физика почв. – М.: Высш. шк., 1970. – Ч. II. – 358 с.

110. Каштанов А. Н. Защита почв от ветровой и водной эрозии. – М.: Россельхозиздат, 1974. – 206 с.

111. Каштанов А. Н., Заславский М. Н. Почвозащитное земледелие. – М.: Россельхозиздат, 1984. – 208 с.

112. Каштанов А. Н., Заславский М. Н. Почвоводоохранное земледелие. – М.: Россельхозиздат, 1984. – 462 с.

113. Каштанов А. Н., Мусохранов В. Е. Совместное проявление ветровой и водной эрозии почв и борьба с ней // Эрозия почв и борьба с ней. – М., 1980. – С. 97-125.

114. Коваленко А. П. Щелевая обработка почвы как прием борьбы с водной эрозией на посевах озимых: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Воронеж, 1969. – 24 с.

115. Козменко А. С. Борьба с эрозией почв. – М.: Сельхозиздат, 1949. – 160 с.

116. Козменко А. С. Борьба с эрозией почв. – М.: Сельхозгиз, 1954. – 229 с.

117. Козменко А. С., Корнев Я. В. и др. Приемы противоэрозионной мелиорации. – Курск, 1937. – 163 с.

118. Комаров М. И. Агроэкономическая оценка приемов комбинированной обработки почвы на склонах в целях защиты их от водной эрозии в ЦЧЗ // Эрозия почв и почвозащитное земледелие. – М., 1975. – С. 135-137.

119. Корзун В. И. Сток и потери талых вод на склонах полевых водосборов. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 170 с.

120. Кормициков А., Горелов З., Ильин В. Как бороться с водной эрозией // Земледелие. – 1974. – № 11.

121. Корнев Я. В. О борьбе с эрозией // Социалистическое сельское хозяйство. – 1939. – № 10. – С. 43-52.

122. Коронкевич Н. И. Преобразование водного баланса. – М.: Наука, 1973. – 117 с.

123. 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. 295-921.

124. 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.

125. Косцов Г. В., Семёнов О. П. и др. О размерах водного стока и почвенного смыва со склонов // Материалы в помощь сельскохозяйственному производству. – Воронеж: Центрально-Черноземное кн. изд-во, 1976. – Вып. 6. – С. 8-12.

126. Котлярова О. Г. Научно-экспериментальное обоснование и оптимизация почвозащитной системы в земледелии (По материалам Центрально-Черноземной зоны): Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук: – Кишинёв, 1986. – 30 с.

127. Котлярова О. Г. Противоэрозионные приемы обработки почвы на сложных склонах // Вестн. с.-х. науки. – 1974. – № 10. – С. 50-54.

128. Крупчатников А.И. Влияние некоторых приемов основной обработки почвы на сток талых вод // Науч.-техн. бюл. по проблеме Защита почв от эрозии. – Курск, 1974. – Вып. 4. – С. 24-29.

129. Крупчатников А. И. Влияние приемов основной противозэрозийной обработки на урожайность сельскохозяйственных культур // Науч.-техн. бюл. по защите почв от эрозии. – Курск, 1976. – Вып. 8. – С. 16-20.

130. Крупчатников А. И., Барабанов А. Т., Ананьев В. С., Сапрыкин Н. Г., Перелейвода Н. Г. Влияние системы лесополос в зависимости от экспозиции склона на сток талых вод и смыв почвы // Науч.-техн. бюл. – Курск, 1986. – Вып. 3(50)-86. – С. 40-44.

131. 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.

132. Крюковский Ф. В. Глубокое безотвальное рыхление и сохранение почвы // Вестн. с.-х. науки. – 1967. – № 8. – С. 17-21.

133. Кузник И. А. Агролесомелиоративные мероприятия, весенний сток и эрозия почв. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 220 с.

134. Литтл Т., Хиллз Ф. Сельскохозяйственное опытное дело. – М.: Колос, 1981. – 319 с.

135. Ломакин М. М. Водозадерживающая и почвозащитная роль мульчирования соломой серых лесных эродированных почв северной лесостепи Центрально-Черноземной зоны: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.01. – Воронеж, 1960. – 24 с.

136. Ломакин М. М. Мульчирующая обработка почвы на склонах. – М.: Агропромиздат, 1988. – 185 с.

137. Ломакин М. М., Кочедыков В. М. К вопросу создания водопоглощающих щелей на пашне // Науч.-техн. бюл. ВНИИЗиЗПЭ. – Курск, 1978. – Вып. 4(19). – С. 13-19.

138. Лопырев М. И., Рябов Е. И. Защита земель от эрозии и охрана природы. – М.: Агропромиздат, 1989. – 240 с.

139. Львович М. И. Человек и воды. – М.: Географиздат, 1963. – 567 с.

140. Лысак Г. Н., Крупчатников А. И., Гребенников Л. И. Влияние агротехнических приемов на сток воды и смыв почвы // Науч.-техн. бюл. по проблеме Защита почв от эрозии. – Курск, 1973. – Вып. 1. – С. 50-56.

141. Лысов А. В., Проездов П. Н. Формирование стока и смыва на южных черноземах Приволжской возвышенности // Почвозащитное земледелие. – Курск, 1983. – Вып. 1(36). – С. 74-80.

142. Майоров Ю. И., Солошенко В. М. Потери от водной эрозии почв в сельском хозяйстве и пути их снижения. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1991. – 199 с.

143. Мамедов М. Г. Эффективность осенней противозэрозийной агротехники на смытых дерново-подзолистых суглинистых почвах при различных гидрометеорологических условиях: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 03.00.27. – М., 1972. – 25 с.

144. Материалы наблюдений научно-исследовательской гидрометеорологической обсерватории Каменная степь. – Л.: Гидрометеоиздат, 1951-1986. – Вып. 1-23.

145. Машкин В. А. Агротехническое и противоэрозионное значение удобрений и уплотнения снега на склоновых дерново-подзолистых почвах Северо-Востока Нечерноземной зоны РСФСР: Автореф. дис. ...канд. с.-х. наук: 06.01.01. – М., 1981. – 18 с.

146. Мельников С. В., Алёшкин В. Р., Рощин П. М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. – М.: Колос, 1972. – 221 с.

147. Медведев И. В. Полосные посевы на склонах // Науч.-техн. бюл. по земледелию и защите почв от эрозии. – Курск, 1960. – Вып. 4(27). – С. 77-82.

148. Медведев И. В. Противоэрозионная роль полосного размещения сельскохозяйственных культур на склонах // Науч.-техн. бюл. по проблеме "Защита почв от эрозии". – Курск, 1980. – Вып. 1(24)-80. – С. 21-26.

149. Методические рекомендации по учету стока и смыва почв при изучении водной эрозии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 171 с.

150. Методические рекомендации по проектированию комплекса противоэрозионных мероприятий на расчетной основе / Д. Е. Ванин, Г. П. Сурмач, И. П. Здоровцов, А. Т. Барабанов и др. – Курск, 1985. – 167 с.

151. Миронченко Ф. А., Ивонин В.М. Борьба с эрозией почв и повышение плодородия эрозионных земель в Ростовской области // Ветровая эрозия и плодородие почв. – М.: Колос, 1976. – С. 176-188.

152. Мирцхулава Ц.Е. Инженерий прогноз и меры по предотвращению водной эрозии почв // Гидротехника и мелиорация. – 1978. – № 7. – С. 73-76.

153. Моргун Ф. Т., Шикула Н. К., Тарарико А. Г. Почвозащитное земледелие. – Киев: Урожай, 1988. – 256 с.

154. Мухортов Я. Н., Коваленко А. П. Влияние щелевой обработки склонов на урожай озимых культур // Вестн. с.-х. науки. – 1969. – № 12. – С. 68-72.

155. Небольсин С. И., Надеев П. А. Элементарный поверхностный сток. – М. – Л.: Гидрометеоиздат, 1937. – 64 с.

156. Никитич П. Д. Гидрологическая роль полезащитных лесных полос // Гидрологическая роль защитных лесных насаждений. – М., 1975. – С. 3-121.

157. Овчинников И. А. Противоэрозионные приемы обработки почв на склоновых землях // Вестн. с.-х. науки. – 1969. – № 9. – С. 11-15.

158. Орлов А. Д. Поверхностный сток талых вод и смыв почвы в лесостепной зоне Западной Сибири // Эродированные почвы Сибири и пути повышения их производительности. – Новосибирск, 1977. – С. 23-49.

159. Орлов А. Д. Теоретические основы создания эрозионноустойчивых ландшафтов в Сибири // Защита почв Сибири от эрозии и дефляции. – Новосибирск, 1981. – С. 23-49.

160. Пабат И. А. Противоэрозионная агротехника яровых колосовых // Земледелие. – 1983. – № 3. – С. 29-30.

161. Пабат И. А., Бенедичук Н. Ф., Круть В. М. Поверхностный сток воды и смыв почвы на склонах в зависимости от возделываемой культуры // Почвоведение. – 1976. – № 2. – С. 107-114.

162. Панов В. И. Водный баланс и эрозия на черноземах степного Поволжья: Автореф. дис. ... канд. географ. наук: 11.00.07. – М., 1975. – 31 с.

163. Панов В. И. Воднобалансовые исследования на опытных водосборах с различными ландшафтами в степной зоне Поволжья // Эрозия почв, защитное лесоразведение и урожай. – Куйбышев, 1978. – Вып 9. – С. 68-84.

164. Панов В. И., Нигматуллин И. С. Агролесомелиоративная стабилизация гидрологического режима территории // Эрозия почв, защитное лесоразведение и урожай. – Куйбышев, 1986. – С. 58-70.

165. Панов В. И., Сурмач Г. П. Повышение водорегулирующей роли лесных полос с помощью гидротехнических мероприятий // Эрозия почв, защитное лесоразведение и урожай. – Куйбышев, 1975. – С. 51-57.

166. Перегудов В. Н. Планирование многофакторных полевых опытов с удобрениями и математическая обработка их результатов. – М.: Колос, 1973. – 182 с.

167. Подгорный В. К. Почвоохранная роль валов-террас на склоновых землях центра Русской равнины: Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук: 06.01.03. – Харьков, 1988. – 32 с.

168. Подгорный В. К., Рожков А. Г., Зарудный Я. К., Бутенко Л. Г. Влияние валов-террас на сток талых вод и смыв почвы на темно-серых лесных почвах // Науч.-техн. бюл. ВНИИЗиЗПЭ. – Курск, 1978. – Вып. 4(19). – С. 26-33.

169. Полуэктов Е. В. Противоэрозионные приемы на зяби // Технологические и организационно-экономические вопросы почвозащитного земледелия. – Курск, 1981. – Вып. 3(30)-81. – С. 48-54.

170. Полуэктов Е. В. Эрозия почв на Дону и меры борьбы с ней. – Ростов-на-Дону: Изд-во РУ, 1984. – 161 с.

171. Полуэктов Е. В. Минимализация обработки почв на склонах // Земледелие. – 1987. – № 2. – С. 18-19.

172. Порядин В. А. Эффективность щелевания черноземов на склонах лесостепной зоны в целях повышения противоэрозионной устойчивости и продуктивности: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.01. – Воронеж, 1985. – 22 с.

173. Поршнева Г. А., Чернышев Е.П., Лесогорова А.И. Краткий научный отчет по проблеме защиты почв от эрозии за 1972 год. – Курск, 1973. – Вып. 1. – С. 18-20.

174. Потапенко Я. И. Мелиоративное земледелие – основа повышения урожайности сельскохозяйственных культур // Защита почв от эрозии. – М., 1971. – С. 79-95.

175. Преснякова Г.А. Борьба с эрозией дерново-подзолистых почв // Защита почв от эрозии. – М., 1964. – С. 451-465.

176. Программа и методика проведения научно-производственного эксперимента по изучению комплексов противоэрозионных мероприятий на бассейнах малых рек Курской области / Д. Е. Ванин, А. Г. Рожков, А. В. Посохов, Г. П. Сурмач, А. Т. Барабанов и др. Отв. ред. Д. Е. Ванин. – Курск, 1960. – 56 с.

177. Пружин М. К., Волобуев А. П., Мащенко С. С., Кривчиков А. Е. Методические подходы к построению эмпирико-статистических моделей взаимосвязей элементов системы земледелия // Науч.-техн. бюл. – Курск, 1986. – Вып. 3(50)-86. – С. 11-14.

178. Пружин М. К., Волобуев А. П. Особенности построения модели взаимосвязей элементов системы земледелия // Науч.-техн. бюл. – Курск, 1987. – Вып. 2(53)-87. – С. 11-18.

179. Протодьяконов М. М., Тедер Р. И. Методика рационального планирования эксперимента. – М.: Наука, 1970. – 75 с.

180. Пынзарю Н. М. К обоснованию параметров противоэрозионных лесных полос в районе Правобережья Нижней Волги // Агролесомелиоративные основы защиты почв от водной эрозии и рациональное использование эродированных почв. – Волгоград, 1980. – Вып. 3(34). – С. 17-19.

181. Раков А. Ю. Эффективность контурного размещения лесных полос при защите почв от ветровой и водной эрозии // Докл. ВАСХНИЛ. – 1986. – № 4. – С. 41-42.

182. Рекомендации по созданию комплекса агролесомелиоративных противоэрозионных мероприятий / Сурмач Г. П., Гаршинев Е. А. и др. – Волгоград, 1973. – 113 с.

183. Рекомендации по проектированию комплекса противоэрозионных мелиоративных мероприятий с контурно-полосной организацией территории колхозов, совхозов и других сельскохозяйственных предприятий в зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения / Б. А. Музыченко, Н. Р. Толоков, А. С. Чешев и др. – М.: Россельхозиздат, 1974. – 22 с.

184. Рождественский А. В., Чеботарёв А. И. Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – С. 208-219.

185. Рожков А. Г. Борьба с оврагами. – М.: Колос, 1981. – 199 с.

186. Рожков А. Г. К вопросу об учете стока воды и смыва почвы // Комплекс противозерозионных мероприятий в действии. – Ворошиловград, 1985. – Т. 2. – С. 5-6.
187. Рожков А. Г., Волковский Е. П. Агротехника в борьбе с оврагами // Земледелие. – 1988. – № 3. – С. 32-33.
188. Рожков А. Г., Подгорный В. К. Противозерозионная и агрономическая эффективность валов-террас на пашне // Вестн. с.-х. науки. – 1981. – № 7. – С. 26-31.
189. Рожков Б. Д., Максимов Ю. В. Регулирование снеготаяния на склонах Горьковской области // Совершенствование системы земледелия в Волго-Вятском районе. – Киров, 1985. – С. 39-43.
190. Романов В. М., Османов А. В. Водной эрозии – надежный заслон. – Чебоксары: Чувашское кн. изд-во, 1976. – 151 с.
191. Сильвестров С.И. Эрозия и севообороты. – М.: Сельхозгиз, 1949. – 142 с.
192. Сильченко М.И. Разработка и внедрение почвозащитного земледелия на Алтае // Ветровая эрозия и плодородие почв. – М., 1976. – С. 129-139.
193. Система земледелия Курской области / Д.Е. Ванин, А. Т. Барбанов, А. И. Барбашин и др. – Курск, 1982. – 204 с.
194. Скачков И. А., Трегубов П. С. Эффективности агротехнических приемов на склонах в системе докучаевских лесополос // Борьба с эрозией почв. – М., 1968.
195. Скородумов А. С. Земледелие на склонах. – Киев: Урожай, 1970. – 427 с.
196. 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.
197. Спирин А. П. Комплексная оценка почвозащитных агротехнических мероприятий // Земледелие. – 1987. – № 1. – С. 49-51.
198. Стариченко П. А. Противозерозионная обработка зяби серых лесных почв на склоновых землях Курской области: Автореф. дис ... канд. с.-х. наук. – М., 1969. – 24 с.
199. Сурмач Г. П. Об условиях, определяющих поглощение почвой талых вод // Земледелие. – 1955. – № 1. – С. 8-12.
200. Сурмач Г. П. Борьба с эрозией почв на основе учета поверхностного стока // Вестн. с.-х. науки. – 1962. – № 8. – С. 81-90.
201. Сурмач Г. П. О влиянии искусственного уплотнения снега на скорость снеготаяния // Сб. науч.-исслед. работ Клетского ОП. – Волгоград, 1964. – Вып. 47. – С. 45-50.
202. Сурмач Г. П. О влиянии микрорельефа поверхности и глубины зяблевой пахоты на сток талых вод // Почвоведение. – 1965. – № 6. – С. 103-113.

203. Сурмач Г. П. Методика изучения водорегулирующей и противоэрозионной эффективности лесных полос и агротехнических приемов. – Волгоград, 1967. – 39 с.

204. Сурмач Г. П. Влияние агротехники на сток талых вод и смыв светло-каштановых почв // Вестн. с.-х. науки. – 1968. – № 2. – С. 13-19.

205. Сурмач Г. П. Прогнозирование стока талых вод с черноземных и каштановых почв // Вестн. с.-х. науки. – 1969. – № 12. – С. 53-56.

206. Сурмач Г. П. О распределении влаги в светло-каштановой почве с неоднородным механическим составом при различной осенней ее обработке // Вопросы почвенной гидрологии и приемы защиты почв от водной эрозии. – Волгоград, 1970. – Вып. 1(61). – С. 14-21.

207. Сурмач Г. П. Гидрогеологический фон как основа лесорастительных условий территории и распределения лесов и степей // Вопросы почвенной гидрологии и приемы защиты почв от водной эрозии. – Волгоград, 1970. – Вып. 8(60). – С. 6-13.

208. Сурмач Г. П. Водорегулирующая и противоэрозионная роль насаждений. – М.: Лесн. пром-ть, 1971. – 109 с.

209. Сурмач Г. П. Эрозия, поверхностный сток и его регулирование агрономическими и лесомелиоративными мероприятиями в лесостепных и степных районах европейской части РСФСР: Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук: 06.532. – М., 1971. – 33 с.

210. Сурмач Г. П. К вопросу регулирования снеготаяния // Сб. работ Поволжской АГЛЮС. – Куйбышев, 1972. – Вып. 7. – С. 179-217.

211. Сурмач Г. П. Эрозия почв и лесомелиорация в борьбе с ней // Агролесомелиорация. – 4-е изд. перераб. – М., 1972. – С. 143-199.

212. Сурмач Г. П. Водная эрозия и борьба с ней. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 254 с.

213. Сурмач Г. П. К методике расчета смыва почв на склонах // Науч.-техн. бюл. по проблеме Защита почв от эрозии. – Курск, 1978. – Вып. 2(17). – С. 7-18.

214. Сурмач Г. П. Опыт составления карты с изолиниями весеннего стока с зяби для ЦЧО // Науч.-техн. бюл. по проблеме Защита почв от эрозии. – Курск, 1983. – Вып. 3(18). – С. 8-12.

215. Сурмач Г. П. Распределение поверхностного стока в лесостепных и степных районах европейской части РСФСР // Земледелие. – 1985. – № 1. – С. 22-25.

216. Сурмач Г. П., Барабанов А. Т. О противоэрозионной роли почвозащитного севооборота на серых лесных почвах в лесостепи // Эрозия почв и почвозащитное земледелие. – М., 1975. – С. 173-176.

217. Сурмач Г. П., Барабанов А. Т. Роль микрорельефа пашни на серых лесных почвах Центральной лесостепи // Водная эрозия и борьба с ней. – М., 1977. – С. 93-102.



218. Сурмач Г. П., Барабанов А. Т., Гаршинев Е. А., Ломакин М. М. К оценке методов изучения увлажнительной роли противозэрозийных приемов // Науч.-техн. бюл. по проблеме Защита почв от эрозии. – Курск, 1976. – Вып. 6. – С. 11-16.
219. Сурмач Г. П., Барабанов А. Т. Влияние зяблевой обработки светло-каштановых почв на сток, эрозию и урожай // Почвоведение. – 1968. – № 11. – С. 133-139.
220. Сурмач Г. П., Гаршинев Е. А., Барабанов А. Т. О стокорегулирующей эффективности микрорельефа зяби на черноземах Курской области // Науч.-техн. бюл. по проблеме Защита почв от эрозии. – Курск, 1977. – Вып. 1(12). – С. 32-38.
221. Сурмач Г. П., Гаршинев Е. А., Панов В. И., Котов А. В. Гидрологическая и противозэрозийная роль лесных насаждений // Гидрологическая роль защитных лесных насаждений. – М., 1975. – С. 220-299.
222. Сурмач Г. П., Ломакин М. М., Шестакова Л. П. Прогнозирование стока талых вод // Земледелие. – 1989. – № 4. – С. 29-31.
223. Сурмач Г. П., Крупчатников А. И. Противозэрозийные приемы обработки почвы // Земледелие. – 1980. – № 2. – С. 15-16.
224. Сухарев И. П. Гидрологическая и противозэрозийная роль лесных полос. – Воронеж, 1966. – 120 с.
225. Сухарев И. П. Регулирование и использование местного стока. – М.: Колос, 1976. – 272 с.
226. Сухарев И. П., Сухарева Е. М. Пруды Центрально-Черноземной полосы. – Воронеж, 1957. – 213 с.
227. Тарарико А. Г. Почвозащитные мероприятия на склоновых землях Украины // Почвозащитное земледелие на склонах. – М., 1983. – С. 189-213.
228. Тарарико А. Г., Кончаков А. В. и др. Альтернативы контурно-мелиоративной системе земледелия нет // Земледелие. – 1987. – № 8. – С. 44-46.
229. Тарарико А. Г., Предко И. Г., Кончаков А. В. Каким быть почвозащитному земледелию на Украине // Земледелие. – 1988. – № 7. – С. 34-36.
230. Ткаченко В. Г. Контурно-мелиоративное земледелие в условиях Алтайского края // Проблемы и резервы контурного земледелия. – М., 1982. – С. 24-31.
231. Глеуов С. С. Противозэрозийная эффективность основной обработки черноземов Северного Казахстана, подверженных водной эрозии: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.01. – Алма-Ата, 1988. – 23 с.
232. Трегубов П. С. Сравнительное изучение приемов обработки почвы на склонах в условиях юго-востока Воронежской области. – Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Воронеж, 1961. – 20 с.

233. Трегубов П. С., Брауде И. Д., Жилко В. В. Эрозия почв и борьба с ней в районах с преобладанием стока талых вод // Эрозия почв и борьба с ней. – М., 1980. – С. 97-125.

234. Трегубов А. И., Кончаков И. И. Влияние плоскорезной обработки почвы на сток и урожай сельскохозяйственных культур // Борьба с эрозией. Мелиорация и кормопроизводство. – Каменная степь, 1977. – Т. XIV. – Вып. 3. – С. 3-10.

235. Трегубов П. С., Зверхановский Н. В. Борьба с эрозией почв в Нечерноземье. – Л.: Колос, 1986. – 159 с.

236. Трибунская В. М. Методические указания по определению экономической эффективности фактических капитальных вложений в защитное лесоразведение и другие противоэрозионные мероприятия на эродированных землях. – М., 1984. – 91 с.

237. Тубольцев Е. Я. Противоэрозионная эффективность агрономических приемов и лесных насаждений на склонах юга Нечерноземной зоны: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.04. – Волгоград, 1989. – 24 с.

238. Тубольцев Е. Я. Влияние системы лесных насаждений и гидротехнических устройств на гидрологический режим водосбора // Лесомелиорация Центрального Нечерноземья. – Волгоград, 1991. – Вып. 3(104). – С. 25-38.

239. Уваров В. М. Физическое состояние и смыв темно-серых лесных почв Бие-Чумышской возвышенности при различных способах обработки: Автореф. дис. ... канд. биолог. наук: 06.01.03. – Новосибирск, 1981. – 22 с.

240. Уваров В. М. Стокорегулирующая и противоэрозионная роль контурных лесных полос в лесостепи Западной Сибири // Лесомелиорация при контурном земледелии. – Волгоград, 1983. – Вып. 1(93). – С. 142-147.

241. Уваров В. М., Кириченко С. Г. Влияние контурных лесных полос на увлажнение склонов // Лесомелиорация при контурном земледелии. – Волгоград, 1988. – Вып. 1(93). – С. 106-110.

242. Чеботарёв А. И., Харченко С.И. О влиянии зяблевой вспашки на сток // Труды ГГИ. – Л., 1962. – Вып. 82. – С. 34-49.

243. Черенев Г. А. Эффективность противоэрозионных обработок темно-серых лесных эродированных почв (Московская область): Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – М., 1972. – 23 с.

244. Чернышев Е. П. Поверхностный сток и смыл с различных углов Курской области // Малые реки и водоемы Курской области. – Воронеж, 1968. – С. 69-73.

245. Чернышев Е. П. Гидрологические особенности смыва почвы в Центрально-Черноземных районах // Известия ВГО. – 1972. – Т. 104, № 4. – С. 269-276.

246. Чернышев Е. П. Влияние изменения водного баланса сельскохозяйственных полей на процессы эрозии // Почвоведение. – 1973. – № 7. – С. 110-114.

247. Шабаев А. И. Краткий научный отчет по проблеме защиты почв от эрозии за 1973 год. – Курск, 1974. – Вып. 2. – С. 57-58.

248. Шабаев А. И. Совместное проявление ветровой и водной эрозии почв и меры борьбы с ней в Поволжье // Совершенствование зональных почвозащитных технологий возделывания полевых культур. – Целиноград, 1982. – С. 48-53.

249. Шабаев А. И. Почвозащитное земледелие. – Саратов: Приволж. кн. изд-во, 1985. – 96 с.

250. Шабаев А. И. Эрозия почв и совершенствование научных основ почвозащитного земледелия в Поволжье: Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук: 06.01.01. – Кишинев, 1988. – 46 с.

251. Шадрин В. И. Метод оценки стокорегулирующей роли зяби в различные по водности годы // Вопросы повышения эффективности земледелия. – Курск, 1983. – Вып. 3(38). – С. 10-14.

252. Шакиров Ф. Х., Кирисов В. П., Сулима Н. И., Хасанов К. А., Замалиев М. М. Противозерозионные, агролесомелиоративные комплексы // Комплекс противозерозионной защиты земель Татарии. – Казань, 1975. – С. 48-53.

253. Шамшин А. С. Эрозия почв и меры борьбы с ней в колхозах и совхозах Тульской области: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – М., 1961. – 18 с.

254. Шамшин А. С., Рубцов И. К. Преградить путь эрозии почв. – М.: Колос, 1968. – 95 с.

255. Швевс Г. И. Формирование водной эрозии, стока наносов и их оценка (на примере Украины и Молдавии). – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 184 с.

256. Швевс Г. И., Лисецкий Ф. Н. Проектирование контурно-мелиоративной системы почвозащитного земледелия // Земледелие. – 1989. – № 2. – С. 55-59.

257. Шевченко М. А. Влияние различных приемов обработки почвы на склонах на уменьшение стока талых вод // Метеорология и гидрология. – 1962. – № 2. – С. 32-37.

258. Шевченко М. А. Обработка почвы и сток талых вод // Вестн. с.-х. науки. – 1965. – № 9. – С. 91-99.

259. Шидула Н. К. Борьба с эрозией и земледелие на склонах. – Донецк: Донбас, 1968. – 112 с.

260. Шидула Н. К. Почвозащитная система земледелия: Справочная книга. – Харьков: Прапор, 1987. – 200 с.

261. Шишацкий Ю. П. Эффективность почвозащитных технологий возделывания сельскохозяйственных культур в северной степи УССР // Эффективность почвозащитных технологий обработки эродированных почв Украинской ССР. – Киев, 1987. – С. 45-50.

262. Фатьянов А. С., Рожков Б. Д. Краткий научный отчет по проблеме защиты почв от эрозии за 1974 год // Науч.-техн. бюл. ВНИИЗиЗПЭ. – Курск, 1975. – Вып. 3. – С. 31-32.

263. Харитонов Г. А. Водорегулирующая и противоэрозионная роль леса в условиях лесостепи. – М.: Гослесбумиздат, 1963. – 76 с.

264. Цыганов М. С., Троцкий А. И. Щелевание склонов повышает урожайность трав // Земледелие. – 1960. – № 10. – С. 61-65.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	9
<b>Глава 1. ЗАКОНОМЕРНОСТИ НОРМИРОВАНИЯ СТОКА ТАЛЫХ ВОД</b> .....	14
<b>1.1. Роль природных факторов в формировании стока</b> .....	14
1.1.1. Роль природных факторов в формировании стока на серых лесных почвах юга ЦРНЗ.....	16
1.1.2. Роль природных факторов в формировании стока на серых лесных почвах и черноземах ЦЧО.....	20
1.1.3. Роль природных факторов в формировании стока на обыкновенных черноземах, каштановых и светло-каштановых почвах Поволжья.....	26
1.1.4. Концепция лимитирующих факторов и прогноз стока талых вод.....	35
<b>1.2. Влияние антропогенных факторов на закономерности формирования стока талых вод</b> .....	37
1.2.1. Характеристика среднего и разной вероятности превышения весеннего стока на зяби и уплотненной пашне.....	37
1.2.2. Карты весеннего поверхностного стока.....	50
<b>Глава 2. РОЛЬ И МЕСТО АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ В ПОЧВОЗАЩИТНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ</b> .....	55
<b>2.1. Общая характеристика противоэрозионных приемов</b> .....	55
2.2. Противоэрозионная организация территории, размещение сельскохозяйственных культур и почвозащитных севооборотов.....	57
2.2.1. Противоэрозионная организация территории.....	57
2.2.2. Оценка роли размещения сельскохозяйственных культур и почвозащитных севооборотов.....	59
<b>2.3. Агротехнические противоэрозионные мероприятия</b> .....	64
<b>2.4. Гидротехнические мероприятия на пашне</b> .....	96
<b>2.5. Противоэрозионная лесомелиорация – важнейший антропогенный фактор почвозащитной системы земледелия</b> ... ..	99
2.5.1. Влияние контурных стокорегулирующих лесных полос на природные факторы.....	99
2.5.2. Влияние стокорегулирующих лесных полос на водопоглощение и сток талых вод.....	112

2.5.3 Новые способы размещения стокорегулирующих лесных полос и сельскохозяйственных культур с учетом их снегораспределительных и стокорегулирующих функций....	113
<b>Глава 3. СТОКОРЕГУЛИРУЮЩАЯ РОЛЬ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ДРУГИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ПОЧВОЗАЩИТНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ.....</b>	<b>119</b>
<b>3.1. Влияние лесных полос в парном сочетании с другими элементами почвозащитной системы земледелия на эрозионно-гидрологические процессы.....</b>	<b>119</b>
3.1.1. Влияние лесополос в сочетании с полевыми и почвозащитными севооборотами на эрозионно-гидрологические процессы.....	119
3.1.2. Влияние лесных полос в сочетании с обработкой почвы на эрозионно-гидрологические процессы.....	130
3.1.3. Влияние лесных полос в сочетании с простейшими гидротехническими сооружениями на эрозионно-гидрологические процессы.....	131
<b>3.2. Взаимодействие стокорегулирующих лесных полос с другими элементами почвозащитного земледелия.....</b>	<b>132</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>133</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>145</b>

---

---

**А. Т. Барабанов**

**ЭРОЗИОННО-ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ  
ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА  
ТАЛЫХ ВОД И АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ**

Волгоград\* ФНЦ агроэкологии РАН \*2017

УДК 634.0.6:634.0.266

**Барабанов А. Т.** Эрозионно-гидрологическая оценка взаимодействия природных и антропогенных факторов формирования поверхностного стока талых вод и адаптивно-ландшафтное земледелие. – Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2017. – 188 с.\*

Рассмотрены новые теоретические положения, существенно уточняющие представления о физической природе гидрологических процессов, которые позволили по-новому трактовать условия просачивания талых вод в почву, усовершенствовать существующие и разработать новые математические модели. Приведены материалы исследований, которые дают представление о закономерностях и особенностях формирования стока в разных географических зонах и методах воздействия на него. Установлено, что распределение стока талых вод по территории обусловлено зональными климатическими факторами и видом хозяйственной деятельности. Разработанные теоретические кривые вероятности превышения стока талых вод, выявленные связи его с природными факторами позволили открыть закон лимитирующих факторов поверхностного стока талых вод, разработать высокоточную методику его прогнозирования. Предложена новая технология управления эрозионно-гидрологическим процессом.

**Barabanov A. T.** Erosion-hydrologic assessment of interaction of natural and anthropogenic factors of formation of melt water surface runoff and adaptive landscape farming. – Volgograd: FSC of agroecology RAS, 2017. – 188 p.

The new theoretic propositions refining the conception of physical nature of hydrologic processes which allow a new interpretation of the conditions of melt water seepage into the soil, improvement of existing and development of new mathematic models are considered. The scientific research data providing a rough idea of the regularities and characteristics of runoff formation in different geographic zones and methods to influence it is presented. It has been concluded that the distribution of melt water runoff over the terrain is determined by zonal climatic factors and structure of economic activities. The developed theoretical curves of probability of exceeding melt water runoff, the determined relation between the said runoff and natural factors made it possible to work out the law of limiting factors of the surface melt water runoff and the high-precise methods of its prediction. A new technology of management of erosion-hydrologic process is suggested.

Рецензенты – **В. В. Бородычев**, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, профессор;

**П. Н. Проездов**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

ISBN 978-5-9909841-4-1

© А. Т. Барабанов, 2017

© ФНЦ агроэкологии РАН, 2017

---

\*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области, проект "Оптимизация регулирования весеннего паводка на основе разработки высокоточного прогноза поверхностного стока талых вод в бассейне Волжско-Камского каскада водохранилищ, способствующего снижению отрицательного экологического влияния на Волго-Ахтубинскую пойму: экологические, социальные аспекты – улучшение условий жизни людей и животных" № 16-16-34001.



## **ВВЕДЕНИЕ**

Разработка системы противоэрозионных мероприятий путем регулирования поверхностного стока талых вод должна осуществляться на основе знания закономерностей его формирования. Эта проблема является фундаментальной, очень актуальной и до сих пор нерешенной. Для ее решения необходимо выявить влияние природных и антропогенных факторов на сток талых вод и определить пути использования этих фундаментальных разработок в прикладной науке и практике.

Конкретной задачей данной работы является проведение анализа и обобщение результатов собственных исследований, литературных данных и фондовых материалов, характеризующих связь поверхностного стока с природными (снегозапасы, глубина промерзания, влажность почвы и др.) и антропогенными (обработка почвы, лесополосы, агротехнологии, гидротехника и др.) факторами. Предусматривалось построение математических моделей, обоснование и формулирование закономерностей формирования поверхностного стока талых вод. Они позволят по-новому подойти к оценке эрозионно-гидрологического процесса и осуществить важные прикладные разработки.

Теоретические исследования базировались на анализе и обобщении многолетних (60-68 лет) собственных материалов исследований и данных различных научно-исследовательских учреждений по оценке влияния природных и антропогенных факторов на формирование стока. Анализировались данные, полученные при применении самых совершенных, апробированных многими учеными и получивших широкое распространение водно-балансовых методов: стоковых площадок и репрезентативных водосборов. Использовались статистический, системный и генетический методы исследований, широко применяемые как у нас в стране, так и за рубежом. Метод стоковых площадок позволяет выявить закономерности формирования стока дифференцированно на различных разновидностях почв (тяжелые, средние, легкие, солонцеватые и др.), видах угодий (пашня, луг, залежь) и пашни (зябрь, озимые, многолетние травы и др.).

Целью работы является создание теоретических основ формирования поверхностного стока талых вод на различных видах пашни и

сельскохозяйственных угодий в лесостепной, степной и полупустынной зонах европейской части РФ, получение экспериментальных данных по влиянию природных и антропогенных факторов на характер снегоотложения, который является мощным фактором воздействия на сток и эрозию почв.

Характер снегоотложения на расчлененной территории имеет свои особенности. Необходимо было выявить закономерности снегоотложения, характер замерзания, оттаивания и увлажнения почвы и определить главные факторы, влияющие на эти процессы, выявить долю каждого из них и дать им количественную оценку. Это, в свою очередь, позволило определить, на какие природные и антропогенные факторы и чем нужно воздействовать, чтобы путем регулирования снегоотложения предотвратить глубокое промерзание почвы с целью управления эрозионно-гидрологическим процессом.

Для достижения этой цели были обобщены данные по многолетней динамике поверхностного стока талых вод на различных видах пашни и сельскохозяйственных угодий, построены кривые вероятности превышения стока, выявлены закономерности снегоотложения, замерзания, оттаивания и влажности почвы на склоновых землях и влияние этих факторов на эрозионно-гидрологические процессы, осуществлены в разных природных зонах стационарные опыты по оценке влияния антропогенных факторов на природные, выявлению роли взаимодействия природных и антропогенных факторов в формировании поверхностного стока талых вод.

Вопросами поиска эффективных мер борьбы с эрозией почв начали заниматься давно. Большую роль в познании процессов эрозии и разработке противоэрозионных мероприятий сыграли многие ученые [1-18]. Но пока не стал широко применяться водно-балансовый метод изучения стока и эрозии почв, все исследования базировались на оценке отдельных противоэрозионных приемов путем определения влажности почв термостатно-весовым методом и смыва почв методом водоройн. В связи с невысокой точностью и репрезентативностью этих методов был допущен ряд ошибок в оценке разработанных к тому времени противоэрозионных приемов. Например, очень большую роль отводили агротехническим мероприятиям. В рекомендациях и учебниках отмечалось, что они наиболее эффективны и почти не требуют дополнительных затрат. Очень большая роль отводилась искусственному микрорельефу. Переоценка значения агротехнических ме-

роприятий приводила к отрицанию необходимости применения других приемов, в т. ч. и лесомелиоративных.

С началом применения водно-балансового метода исследований стали появляться материалы по объективной оценке противоэрозионных мероприятий [19-21] и было выработано направление исследований по оценке эффективности почвозащитных мероприятий, в основном агротехнических, по природным зонам. Однако в исследованиях по-прежнему преобладали эмпирические методы. Поэтому большое значение имела разработка теоретических основ управления эрозионно-гидрологическими процессами, установление влияния на них природных и антропогенных факторов и создание моделей их взаимодействия. Важнейшими из природных факторов являются снеготопливы и характер снеготопливы, увлажнение и промерзание почвы, а из антропогенных – защитные лесонасаждения, севообороты, обработка почвы, удобрения. Они в основном и рассматриваются в данной работе. Лесомелиоративным мероприятиям, как важнейшему антропогенному фактору, с этих позиций мало уделялось внимания. Очень слабо была изучена снегораспределительная, стокорегулирующая и противоэрозионная роль ЗЛН. Не учитывался ряд важных закономерностей. Недостаточно изучен характер формирования стока и процессов эрозии на сельскохозяйственной территории, не были установлены количественные связи стока с природными факторами, упрощенно понималась роль антропогенных факторов в его формировании, не учитывалось влияние антропогенных факторов на природные, а через них и на эрозионно-гидрологические процессы.

Противоэрозионной лесомелиорации принадлежит ведущая роль в почвозащитном земледелии. Значение ее нельзя рассматривать в отрыве от других его элементов: противоэрозионной организации территории, севооборотов, обработки почвы и др. Необходимо определить ее место в почвозащитной системе земледелия во взаимодействии с другими элементами и выявить пути повышения ее эффективности. Для этого нужна объективная количественная оценка стокорегулирующей, противоэрозионной и агрономической эффективности каждого элемента почвозащитной системы земледелия в отдельности и роли лесомелиорации в этой системе как наиболее мощного антропогенного фактора, воздействующего на природные факторы (снеготопливы, увлажнение и промерзание почвы и др.).

Поэтому была поставлена задача дать теоретические основы взаимодействия стокорегулирующих лесных полос и других элементов поч-

возащитной системы земледелия путем выявления закономерностей влияния их на природные факторы и эрозионно-гидрологические процессы для дальнейшего управления ими, совершенствования и разработки новых противоэрозионных приемов.

В настоящей работе рассмотрены теоретические основы формирования стока, установлена связь поверхностного стока с природными факторами при различном антропогенном воздействии, приведена методика его прогнозирования, дана стокорегулирующая, противоэрозионная и агрономическая оценка отдельных противоэрозионных приемов и их сочетаний, определены роль и место агролесомелиорации в адаптивно-ландшафтном земледелии, предложена система эффективных мер по защите почв от эрозии и технология управления эрозионно-гидрологическим процессом.

Новые теоретические положения, существенно уточняющие представления о физической природе гидрологических процессов, позволили по-новому трактовать условия просачивания талых вод в почву, усовершенствовать существующие и разработать новые математические модели. Разработанные теоретические кривые вероятности превышения стока талых вод, выявленные связи его с природными факторами позволили открыть *закон лимитирующих факторов эрозионно-гидрологического процесса*.

В работе приведены и проанализированы многолетние результаты исследований автора за период с 1964 по 2016 г. и материалы, полученные под руководством и по разработанным автором программам и методикам в разные периоды во ВНИАЛМИ (сейчас ФНЦ агроэкологии РАН) и его опытной сети Ф. А. Абдульмановым, В. И. Антоновым, Р. Д. Балычевым, В. П. Борцом, О. В. Богачёвой, И. И. Гункиным, Т. Г. Глыбиным, С. Г. Кириченко, Ю. Н. Коблевым, Л. Я. Королёвой, М. М. Кочкарем, А. В. Кулик, А. В. Лапчуком, Г. Н. Лепилиным, М. М. Ломакиным, В. И. Пановым, Н. Е. Петелько, А. И. Петелько, В. И. Победённым, Р. Е. Смирновым, Ю. М. Суковатовым, Е. Я. Тубольцевым, В. М. Уваровым, А. И. Узолиным. Выражаю им большую благодарность. Кроме того, были проанализированы многолетние литературные данные и обобщены результаты исследований нескольких поколений ученых ВНИАЛМИ и его опытной сети на юге Центрального района нечерноземной зоны (ЦРНЗ) (Новосильская ЗАГЛОС – филиал ФНЦ агроэкологии РАН), в среднем Поволжье (ФГБНУ Поволжская АГЛОС – филиал ФНЦ агроэкологии РАН), на Среднем

Дону (Клетская НИАГЛЮС – филиал ФНЦ агроэкологии РАН) и в Нижнем Поволжье (Нижне-Волжская опытная станция по селекции древесных пород – филиал ФНЦ агроэкологии РАН – и ФГУП "Волгоградское"), полученные в стационарных многофакторных опытах с применением водно-балансового метода, являющегося ведущим в противоэрозионной мелиорации, а также генетического и статистического подходов. Были обобщены многочисленные литературные данные, полученные указанными выше методами.

Выражаю особую признательность своему учителю профессору Г. П. Сурмачу, чьи работы и многолетнее сотрудничество с которым оказали большое влияние на формирование моих взглядов и выбор направления научной деятельности. Очень полезным было для меня многолетнее общение и сотрудничество с Е. А. Гаршиным. Автор признателен также своим коллегам по совместной работе.

Монография посвящена светлой памяти учителя, ученого, педагога Георгия Пантелеймоновича Сурмача.

## **1. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **1. 1. Анализ и оценка методов исследований**

Методологической основой исследований в противоэрозионной мелиорации является система методов, заимствованных из разных наук: агролесомелиорации, земледелия, почвоведения, гидрологии, физики, химии, математики, геологии, географии и др., – модифицированных и адаптированных в соответствии с поставленными целями и задачами.

Основными показателями для оценки мелиоративной эффективности агролесомелиоративного противоэрозионного комплекса являются снегозапасы, увлажнение, замерзание и оттаивание почвы, сток, смыл, размыв и аккумуляция и др. Интегральным показателем оценки комплекса является урожайность сельскохозяйственных культур. Исходя из этого, применялись и соответствующие методы исследований. Снегоотложение характеризовалось на основе проведения снегомерных съемок, для оценки увлажнения почвы применялся термостатно-весовой метод, замерзание и оттаивание почвы определялись как непосредственно путем бурения и выкопки шурфов, так и по мерзлотомерам Данилина. Сток талых вод определялся балансовым методом на стоковых площадках и водосборах, смыл почв, размыв и аккумуляция – по мутности талой воды и по методу водороин. Урожайность сельскохозяйственных культур учитывали дифференцированно метрочками на разном удалении от лесных полос и интегрально комбайном в целом на стоковых площадках и водосборах [22-25]. При разработке методов исследований и анализе полученных материалов были использованы методики Б. А. Доспехова, Г. Н. Зайцева, С. В. Мельникова, В. Р. Алешкина, П. М. Рощина, Т. Литгла, Ф. Хиллза, В. Н. Перегудова, М. М. Протодяконова, Р. И. Тедера, Г. П. Сурмача [26-33].

В связи с тем, что методы исследований подробно изложены в вышеуказанных работах, здесь мы описания их не будем давать, а остановимся на анализе и оценке применяемых в настоящее время методов исследований агролесомелиоративного противоэрозионного

комплекса, проанализируем методы определения главных показателей оценки противозерозийного комплекса: стока талых вод, увлажнения и смыва почвы.

Для гидрологического обоснования противозерозийного комплекса необходимо изучение вопроса о влиянии его на гидрологический режим территории и в первую очередь на поверхностный сток талых вод. Гидрологическим исследованиям посвящено много работ и они имеют довольно длительную историю. Они в основном посвящены гидрологии рек. Исследованию поверхностного стока на сельскохозяйственных угодьях в связи с влиянием природных и антропогенных факторов стали уделять серьезное внимание только в 50-60 гг. XX в. Многими учеными проводились исследования с целью гидрологического обоснования различных приемов и элементов противозерозийных комплексов [6, 7, 34-44]. В дальнейшем эти исследования получили более широкое развитие и продолжаются и поныне. При этом применяют 2 основных метода: водно-балансовый, который включает и метод стоковых площадок, и метод оценки стока по влажности почвогрунтов. Эти методы до настоящего времени применяются как для характеристики поверхностного стока, так и для оценки стокорегулирующей роли отдельных противозерозийных приемов, их сочетаний и целых комплексов.

С целью оценки этих двух методов мы проанализировали литературные данные и провели специальные исследования. Большинство исследователей полагают, что применение обоих методов для указанных целей равнозначно, между тем результаты, получаемые этими методами, часто противоречивы и несопоставимы. Впервые на это обратил внимание Г. П. Сурмач [45]. Дальнейшие исследования подтвердили первые результаты [46-52]. Данные по влажности почв обычно используются для выявления эффективности различных противозерозийных приемов, для прогнозирования стока и др. Иногда делаются попытки определить на основании изменения влажности почвы показатели стока талых вод, что неправомерно. Достоверность полученных опытным путем данных тем выше, чем выше точность применяемых методов исследования. Она зависит от точности непосредственных измерений и репрезентативности (представительности) их статистических показателей, т. е. от того, насколько точно они характеризуют генеральную совокупность.

По данным Е. А. Гаршинова [53], осуществившего математическую обработку экспериментальных материалов, обычно при суще-

ствующим способам измерения различных гидрологических показателей (высота и плотность снега, напор воды на водосливе, ее объем и др.) получается довольно низкая относительная погрешность (0,2-2,0 %, редко 5-10 %), и достоверность результатов определяется в первую очередь объемом выборки. Большое количество измерений (50-300), которые обычно выполняются при определении влагозапасов в снеге и расходов воды на водосливе, обеспечивает вполне удовлетворительную точность исследования (около 2-5 %) и позволяет по разности между запасами снеговой воды и стоком довольно точно найти слой просочившейся в почву воды (испарением за период снеготаяния можно пренебречь, так как оно очень мало) и следовательно дать надежную оценку увлажнительной роли изучаемого приема [48].

Иное положение складывается при оценке увлажнения почвы с помощью термостатно-весового метода при 3-5-кратной повторности измерений. Естественная вариация влажности почвогрунта довольно велика, что наглядно показано на рис. 1.1. Здесь представлены кривые изменения влажности почвогрунта на разных видах пашни (зябь обычная и заборонованная, озимые, многолетние травы) в ФГУП "Волгоградское" (г. Волгоград). Анализ этих кривых показывает, что влага в почве распределяется крайне неравномерно. Характер ее распределения связан не с особенностями видов пашни, а с неоднородностью литологического строения почвогрунта. Наиболее равномерно влага распределяется в пахотном слое. В более глубоких слоях, сложенных чередующимися прослойками грунтов легкого (пески и супеси) и тяжелого (глины) гранулометрического состава, кривые влажности приобретают пилообразную форму. Поскольку мощность и глубина залегания разных прослоек сильно изменяется в разных, даже близко расположенных точках, то повторные бурения дают хотя и похожие, но различные кривые влажности. Иными словами, изменение формы этих кривых связано не столько с временными изменениями влажности, сколько с пространственными вариациями гранулометрического состава.

Приведенные в табл. 1.1 результаты статистической обработки данных [48] по 12 скважинам, пробуренным в ОПХ Новосильской ЗАГЛОС, показывают, что 2-5-кратная повторность бурения скважин обеспечивает хорошую точность лишь при уровне доверительной вероятности  $P = 68 \%$ , т. е. примерно в двух случаях из трех, что допустимо только в разведочных экспериментах и при ожидаемых значительных различиях во влажности изучаемых вариантов.



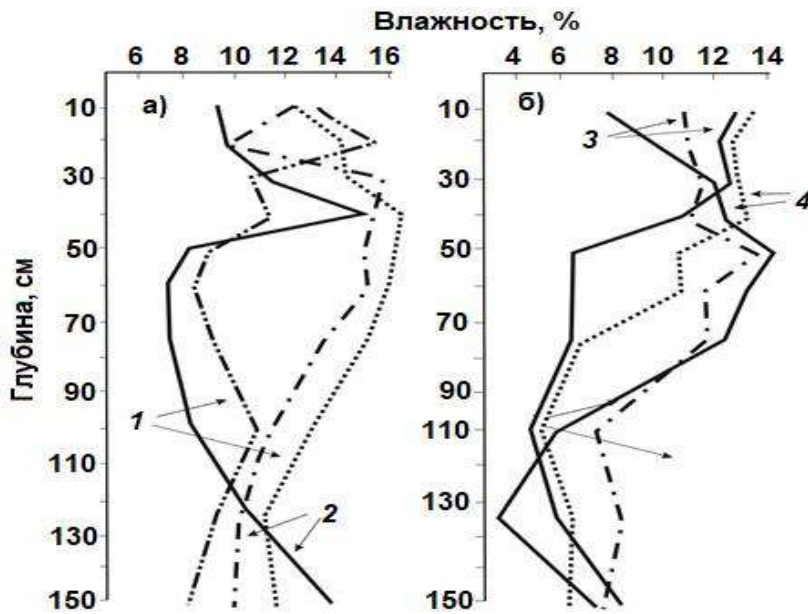


Рис. 1.1. Графики распределения влаги в почвогрунте:

а – на обычной (1) и заборонованной (2) зяби; б – на многолетних травах (3) и озимых (4) в ФГУП "Волгоградское" (сплошная линия – осенью, штриховая – весной)

Однако 4-5-кратная повторность не гарантирует от серьезных ошибок при оценке влажности отдельных слоев почвы (в рассматриваемом примере – на глубине 45-50 см осенью, 70-75 и 95-100 см весной). Достижение обычно принимаемого в полевых исследованиях уровня доверительной вероятности  $P = 95\%$  требует около 10 повторностей осенью и 20-60 весной.

Аналогичные результаты получены нами на светло-каштановой почве ФГУП "Волгоградское" на площадке с выровненной зябью, где влажность определяли в пяти точках с 3-кратной повторностью (табл. 1.2). Из анализа вариационно-статистических показателей видно, что для получения точности опыта 5% при уровне вероятности  $P = 0,95$  необходимо на площадке 0,15 га определять влажность в слое 0-50 см в одной-пяти точках, в слое 0-100 см в 11-19 точках, а в слое 0-150 см в 11-13 точках с 3-кратной повторностью в каждой. Эти же данные показывают, что прибавка влагозапасов в почве за осенне-зимне-весенний период в среднем составила в слое 0-50 см – 16 мм, в слое 0-100 см – 32, а в слое 0-150 см – всего 3 мм. При этом в 1, 3 и 5-й точках для слоя 0-150 см прибавка влагозапасов колебалась от 11 до 39 мм, а во 2 и 4-й точках отмечена их убыль на 18 и 49 мм соответственно. Между тем, при запасах снеговой воды на площадке 55 мм и слое стока 11 мм просачивание влаги в почву составило 44 мм. Таким образом, здесь налицо явное несоответствие данных об увлажнении почвы, полученных разными методами. Мы и другие сотрудники под нашим руководством (И. И. Гункин, Ф. А. Абдульманов, М. М. Ломакин, Е. Я. Тубольцев,

Таблица 1.1  
**Результаты вариационно-статистической обработки влажности почвы (%) по 12 скважинам на Новосильской ЗАГЛЮС**

Вариационно-статистические показатели	Осень												Весна															
	глубина отбора образцов, см																											
	0-5	20	50	75	100	125	150	0-5	20	50	75	100	125	150	0-5	20	50	75	100	125	150							
Значения влажности:																												
$X_{max}$	33,10	22,80	31,20	17,40	18,60	24,20	25,70	28,90	26,90	22,50	23,50	23,70	26,70	28,40	26,40	20,50	11,80	14,00	14,10	18,20	19,60	25,40	20,20	13,80	12,80	13,70	18,20	18,70
$X_{min}$	6,70	2,30	19,40	3,40	4,50	6,00	6,10	3,50	6,70	8,70	10,70	10,00	8,50	9,70														
Амплитуда значений, $X_{max} - X_{min}$	29,20	21,40	14,60	15,40	16,90	21,00	23,40	26,90	23,40	19,90	17,80	17,50	21,50	24,10														
Средняя арифметическая, $X_0$	2,18	0,81	5,51	1,09	1,33	1,65	1,50	1,29	2,41	2,78	3,66	3,06	2,22	2,50														
Основное отклонение, $\pm \sigma$	0,63	0,23	1,66	0,31	0,40	0,47	0,43	0,37	0,69	0,80	1,06	0,88	0,64	0,74														
Ошибка средней арифметической, $\pm m$	7,47	3,78	37,70	7,06	7,89	7,84	6,42	4,80	10,30	14,00	20,60	17,50	10,30	10,70														
Коэффициент вариации, $\pm V$	2,16	1,09	11,40	2,04	2,48	2,26	1,85	1,39	2,97	4,04	5,96	5,05	2,99	3,10														
Точность исследования (опыта), $\pm m\%$	2,00	1,00	57,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	4,00	8,00	17,00	12,00	4,00	5,00														
Необходимая повторность при $P = 0,68, t = 1,0$ и $m\% = 5$	9,00	2,00	228,00	8,00	10,00	10,00	7,00	4,00	17,00	31,00	67,00	48,00	17,00	18,00														
Необходимая повторность при $P = 0,95, t = 2,0$ и $m\% = 5$																												

Таблица 1.2

**Вариационно-статистические показатели точности определения запасов влаги в ОПХ ВНИАЛМИ (г. Волгоград)**

Показатель	0-50 см		0-100 см		0-150 см	
	осень	весна	осень	весна	осень	весна
Средняя арифметическая, $X$	87	103	160	192	255	258
Основное отклонение, $\pm \sigma$	4,90	11,64	34,78	31,28	43,02	46,00
Коэффициент вариации, $\pm V$	5,7	11,3	21,7	16,3	16,9	17,8
Ошибка средней арифметической, $\pm m$	2,2	5,2	15,5	14,0	19,2	20,5
Точность опыта, $\pm m \%$	2,5	5,0	9,7	7,3	7,5	7,9
Необходимое количество точек для получения точности 5 % при $P = 0,95$	1	5	19	11	11	13

Н. Е. Петелько, А. И. Петелько, Ю. И. Коблев и др.) применяли термостатно-весовой и балансовый методы для оценки увлажнительной и стокорегулирующей эффективности противозерозионных приемов в течение многих лет и выявили противоречивость и несопоставимость данных, полученных этими методами. Рассмотрим здесь часть наиболее характерных результатов. В табл. 1.3 приведены результаты исследований автора в Новосильском р-не Орловской обл. и М. М. Ломакина в Фатежском р-не Курской обл. под руководством автора. В Новосильском р-не на четырех стоковых площадках с одинаковым агрофоном (зяблевая вспашка поперек склона на глубину 25-27 см) стока талых вод не было, в почву просочилось 143-154 мм снеговой воды (балансовый метод). Прибавки же весенней влаги в слое 0-150 см, найденные термостатно-весовым методом, колебались от 83 до 161 мм.

В Фатежском р-не, по данным учета стока, в почву просочилось примерно одинаковое количество воды (19-25 мм). В то же время прибавки/дефицит запасов весенней влаги в слое 0-150 см при определении термостатно-весовым методом колебались от -31 мм до +38 мм.

Основная причина отмеченных расхождений – недостаточность 3-4-кратной повторности отбора образцов, не обеспечивающая удовлетворительную репрезентативность, а также неучет потерь почвенной влаги на испарение в период от момента прекращения стока до взятия образцов почвы на влажность.

Таблица 1.3

**Показатели просачивания снеговой воды, определенные по влажности 1,5-метрового слоя почвы и балансовым методом с учетом стока (мм)**

Метод	Новосильский р-н Орловской обл.				Фатежский р-н Курской обл.			
	зяблевая вспашка на глубину 25-27 см				обработка на глубину 20-22 см			ще- лева- ние
	повторность				ПН-4-35	ПН-4- 35А	КПГ- 250	
	1	2	3	4				
По разности во вла- гозапасах перед сне- готаянием и после стока	83	138	132	161	-31	38	-2	-21
Метод водно-балан- совых площадок	143	149	154	154	22	25	20	19

Данные о влажности почвы, полученные термостатно-весовым методом, характеризуют распределение влаги в данной точке и их трудно распространять на большую площадь. Положение осложняется тем, что, поскольку образцы отбираются не в виде сплошной колонки, а прерывисто, при неоднородном (слоистом) литологическом составе почвогрунта возможны значительные отклонения полученных показателей от истинных, что нередко наблюдается в природе. Для получения достоверной характеристики запасов влаги в почве на территории нужно большое число повторностей, однако это трудно осуществимо.

Таким образом, на основе определения влажности почвы нельзя дать оценку стокорегулирующей роли противоэрозионных приемов и тем более почвозащитной системе в целом. Для этой цели необходимо применять метод водно-балансовых (стоковых) площадок; термостатно-весовой метод должен играть вспомогательную роль для оценки общего увлажнения почв с целью прогноза стока, динамики запасов влаги за определенный период и пр.

Смыв почвы в настоящее время в основном учитывается двумя способами: по водороидам и по мутности стока. Как правило, в исследованиях используется один из этих методов. До конца 50-х гг. XX в. в основном применялся метод замера водороев. Затем, когда в эрозионных исследованиях все более широкое распространение стал получать метод стоковых площадок, смыв почвы чаще стал опреде-

ляться по мутности стока. Рассматриваемые методы не являются равноценными. Некоторые исследователи применяют их одновременно.

Оценку этим методам давали многие исследователи [48-57]. Г. П. Сурмач [58] рекомендовал применять оба метода. А. Г. Рожков [54], сравнивая их, считал, что "метод замера водороев является единственным широко доступным методом, позволяющим объективно выявить участки склонов с различной интенсивностью смыва почвы после каждого ливня или снеготаяния на зяби, парах, в садах, на пропашных культурах, а также на посевах густопокровных культур в ранней стадии их развития, т. е. на наиболее эрозионно-опасных угодьях. Но он практически неприменим на сенокосах, пастбищах и в лесах. Метод учета смыва по мутности воды на стоковых площадках позволяет получать интегральную величину смыва с любого угодья, но не пригоден для выявления участков склона с разной интенсивностью эрозии". Он считал также, что пользуясь обоими методами учета смыва, можно объективно давать относительную противозерозионную оценку изучаемых приемов, однако эти данные нельзя использовать для расчета фактического смыва с площади всего склона. Н. М. Шелякин [56], проанализировав разные методы учета смыва, рекомендует применять два метода: по мутности стока и по водороевам. При этом он считает, что учет смыва по мутности стока дает достоверные данные по величине смыва со всего склона при условии установки стокового оборудования на ложбинных водосборах. Учет же смыва по водороевам, по его мнению, желательно проводить в разных частях водосбора на вторичных склонах при отсутствии на них стоковых площадок.

В. Н. Дьяков [55], сравнивая два метода учета смыва, пришел к выводу, что "смыв, учтенный по мутности с естественных водосборов по остаточному стоку, не характеризует его величины на различных элементах рельефа, особенно при наличии лесных полос на склонах теневых экспозиций, и имеет значение в основном при учете наносов, поступающих в гидрографическую сеть". Наиболее приемлемым он считает метод учета смыва по водороевам.

Нами, начиная с 1964 г., осуществлялась сравнительная оценка двух методов учета смыва. Рассмотрим здесь часть материалов, полученных в период с 1967 по 1974 г. на Новосильской ЗАГЛОС им. А. С. Козменко, где проводилось изучение смыва почв параллельно по методу водороев и по мутности твердого стока на стоковых площадках в связи с различным характером обработки почвы (табл. 1.4).

Таблица 1.4

**Сравнительная оценка методов учета смыва почв**

Характер зяблевой обработки почвы	Год	Метод учета смыва		
		по водоройнам		по мутности стока, т/га
		м <sup>3</sup> /га	т/га	
Отвальная поперек склона на глубину 25-27 см	1967	7,2	9,4	0,42
	1968	0	0	0
	1969	0,3	0,4	0,25
	1969	0,9	1,2	0,11
	1970	1,8	2,3	0,79
	1970	3,0	3,9	0,83
	1971	5,5	7,1	1,13
	1971	4,4	5,7	0,61
	1972	0	0	0,04
	1973	3,3	4,3	0,32
	1974	4,2	5,5	0,60
То же + прерывистое бороздование поперек склона через 3-4 м	1967	12,7	16,5	0,71
	1968	0	0	0
	1969	1,7	2,2	0,53
	1970	3,2	4,2	1,02
Гребнистая поперек склона	1968	0	0	0
	1969	1,6	2,1	0,11
	1970	2,6	3,4	0,95
	1971	2,9	3,8	0,80
	1972	0	0	0,13
	1973	10,0	13,0	0,68
	1974	2,0	2,6	0,49
Лункование зяби	1969	2,0	2,5	0,33
	1969	1,5	1,9	0,12
	1970	2,9	3,8	0,82
	1970	3,3	4,5	0,76
	1971	1,0	1,3	1,01
	1972	0	0	0,06
	1973	1,3	1,7	0,76
	1974	1,8	2,3	0,27

В результате проведенных наблюдений можно сказать следующее. Замер водоройн позволяет получить интегральный показатель смыва за период, а по мутности можно проследить за динамикой выноса

почв во времени. При определении смыва по водороинам часто очень трудно учесть переотложение мелкозема, что приводит к завышению выноса почвы со склона. К ошибке при измерении водороин приводит также замер так называемой "пустоты". Дело в том, что при поверхностном стоке часто водороины приурочены к разного рода микропонижениям, образующимся при обработке почвы, к следам почвообрабатывающих орудий, т. е. общий объем водороин получается, как правило, больше объема вынесенной почвы.

Если судить о выносе почвы с поля по мутности стока, то можно также допустить ошибку. Обычно мутность определяется в замыкающем створе балки, лощины, ложбины, стоковой площадки. Однако в понижениях часто накапливается больше снега, которым кольматируется мелкозем. Иначе говоря, со склона мелкозем вынесен, но он отложился (кольматировался) выше замыкающего створа, например на берегу гидрографической сети, и не был зарегистрирован. Бывает и так, что на стоковой площадке в нижней ее части накапливается больше снега, чем в верхней, вследствие чего до водослива доходит частично отфильтрованная вода. Подобная ситуация наблюдается, когда в нижней части склона имеется прибалочная лесополоса. Если определять мутность стока в замыкающем створе ниже лесополосы, то можно сделать ошибочный вывод о том, что смыва почвы с поля не было вовсе или он был совершенно незначительным.

Оценивая эти методы в целом, следует сказать, что метод замера водороин дает завышенные результаты. Более точные результаты получаются по методу определения мутности твердого стока, хотя в ряде случаев он дает заниженные показатели смыва почвы.

Анализ всех материалов указывает на целесообразность применения обоих методов определения смыва одновременно и на необходимость совершенствования методов учета смыва.

## **1.2. Генетические и статистические методы исследований и анализа материала**

Вопрос о методах эрозионно-гидрологических исследований имеет большое значение. В гидрологии сейчас широко распространены два главных направления: статистический и генетический. Статистические методы основываются на законе больших чисел и допущении случайности проявления гидрологических процессов. Эти методы сыграли боль-

шую роль в гидрологии, особенно при недостатке исходных материалов для теоретических исследований, они имеют ряд существенных недостатков, главный из которых – невозможность познания генезиса процесса, выявления причинно-следственных связей, – а отсюда и невозможность регулирования, управления процессами. Статистические методы позволяют вести приближенные гидрологические расчеты. С их помощью в свое время удалось быстро удовлетворить запросы гидротехнического строительства. Однако они не могли удовлетворить потребности гидрологии и для решения фундаментальных проблем требовалось развитие теоретических исследований.

В 30-е гг. XX в. В. Г. Глушков выдвинул идею географо-гидрологического метода (по М. И. Львовичу [6]), базирующегося на генетической основе с учетом влияния всех факторов. Этот метод в дальнейшем получил широкое развитие и стал основным в гидрологии. Однако и статистические методы играют еще большую роль, особенно при изучении поверхностного стока с сельскохозяйственных угодий (сельскохозяйственная гидрология), оценке эффективности противоэрозионных приемов и др. В этой области гидрологии пока накоплено мало материала, поэтому регулирование стока и борьба с эрозией осуществляются либо без расчетов, либо на основе приближенных расчетов, что можно делать применяя статистические методы. Генетический подход получил пока малое распространение.

В наших исследованиях и при анализе материалов мы использовали и статистический, и генетический подходы. Статистические методы мы применяли для оценки поверхностного стока разной вероятности превышения с сельскохозяйственных угодий, выявления стокорегулирующей, противоэрозионной и агрономической эффективности различных приемов, элементов противоэрозионного комплекса и их сочетаний и др. При этом мы получаем сравнительную интегральную оценку приемов, но нам неизвестно, почему один прием эффективнее другого, как он влияет на показатели эффективности другого и на какие рычаги воздействовать, чтобы совершенствовать приемы. Статистические методы оценки эффективности противоэрозионных приемов не всегда можно применять, так как при этом требуется большая повторность вариантов, а при изучении стока на стоковых площадках больших размеров (малые делянки здесь неприемлемы) не всегда есть возможность закладывать опыты из-за недостатка подходящей площади. Поэтому наряду со статистическими мы применяли и генетические методы.



Генетический подход мы использовали и при изучении закономерности формирования стока и эрозии. Дело в том, что характер формирования стока, процессов смыва, урожая сельскохозяйственных культур – главных показателей оценки антропогенного воздействия – обусловлен многими природными факторами (снегозапасы, характер увлажнения и промерзания почвы, погодные условия и др.) и хозяйственной деятельностью людей, действующими в совокупности. Антропогенное воздействие на эрозионно-гидрологические процессы и сельскохозяйственные культуры осуществляется через эти факторы. Нам важно знать не только степень того или иного воздействия, но и как, через какие факторы и показатели оно происходит. Это позволяет научиться управлять процессами, разрабатывать новые приемы борьбы с эрозией почв. Для этого закладывались элементарные и комбинированные стоковые площадки как по всему склону, так и по отдельным его частям с охватом целых противоэрозионных комплексов и его элементов. При этом проводили снегомерные съемки, наблюдения и определения метеорологических показателей (температура, влажность воздуха, осадки, ветер, облачность и др.), промерзания, оттаивания, влажности почвы, объемной массы почвы, стока талых вод, смыва почвы, питательного режима, засоренности посевов, урожайности сельскохозяйственных культур, роста древесных пород.

### **1.3. Системный подход в исследовании взаимосвязи природных и антропогенных факторов**

К настоящему времени накоплен большой материал по противоэрозионной, стокорегулирующей и агрономической эффективности отдельных приемов: лесных полос, приемов обработки почвы, севооборотов, гидротехнических сооружений [6-8, 12, 16, 59-63]. Вопросам комплексного воздействия почвозащитных приемов посвящено мало работ и в основном они касаются совместного влияния двух элементов комплекса. Сочетание лесных полос с простейшими гидротехническими сооружениями и агротехническими мероприятиями изучали многие исследователи [5, 17, 63-67]. Получены данные по совместному влиянию сочетаний элементов комплекса на эрозионно-гидрологические показатели и влиянию их на эффективность друг друга. Полный же комплекс противоэрозионных мероприятий изучался недостаточно и почти не ставилась задача выявления роли каждого элемента во взаимосвязи.

Для оценки полного комплекса противоэрозионных мероприятий, выявления взаимосвязи его элементов мы использовали принципы системного подхода. Он заключался в проведении многофакторных опытов и корреляционно-регрессионном анализе полученных в них материалов, а также в опытах других исследователей [68]. Осуществлялся также анализ связи поверхностного стока с природными факторами: запасами воды в снеге и почве перед снеготаянием, глубиной промерзания почвы, продолжительностью снеготаяния, – что позволило выявить интересные зависимости.

Таким образом, применение статистического, генетического элементов системного подхода и проведение многофакторных исследований позволили выявить не только влияние отдельных природных и антропогенных факторов на эрозионно-гидрологические процессы, но и их взаимодействие.

## **2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Теоретические исследования осуществлялись на основе анализа и обобщения собственных и литературных данных, полученных в разных зонах европейской части Российской Федерации: юг Центрального р-на Нечерноземной зоны (ЦРНЗ), Центрально-Черноземная область (ЦЧО), Поволжье. Объекты исследований расположены в лесостепи, степи, полупустыне и охватывают широкий диапазон условий, которые отличаются многообразием природных и антропогенных факторов, обуславливающих эрозионно-гидрологические процессы. В связи с тем, что в последующих главах будет подробно рассмотрено влияние этих факторов на сток талых вод и эрозию почвы как отдельно, так и во взаимодействии, приведем здесь лишь обобщенную характеристику почв и природных факторов в разных почвенно-климатических зонах. Как видно из табл. 2.1, в которой приведена характеристика почв, исследованиями было охвачено большое разнообразие типов почв: серые лесные, черноземы (оподзоленный, типичный, выщелоченный, обыкновенный), каштановые и светло-каштановые. Анализ данных показывает, что эти почвы обладают большим разнообразием свойств. Мощность гумусового горизонта, содержание гумуса, ряд водно-физических и химических свойств в значительной степени различаются у разных типов почв. Они в свою очередь обуславливают гидрологические процессы и противоэрозионную устойчивость почв.

Серая лесная почва характеризуется малой мощностью гумусового горизонта (25-30 см) и небольшим содержанием гумуса (2,1 %); большой гидролитической кислотностью и объемной и удельной массой; низкой влагоемкостью, водопрочностью структуры и водопроницаемостью. Все это обуславливает формирование большого стока и низкую противоэрозионную устойчивость почвы.

Черноземы всех разновидностей имеют более мощный гумусовый горизонт, повышенное содержание гумуса (особенно типичный и выщелоченный), низкую объемную массу, высокую влагоемкость, водопроницаемость и водопрочность структуры.

Таблица 2.1

Общая характеристика почв на объектах исследований

Зона, область, почва	Мощность гумусового горизонта, см	Содержание гумуса, %	Обменные катионы, мг-экв. на 100 г почвы				Емкость поглощения	Гидролитическая кислотность	Валовое содержание, %			Масса, г/см <sup>3</sup>	Наименьшая влагоемкость, %		
			Ca	Mg	Na	K			сумма	NO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			K <sub>2</sub> O	объемная
Юг ЦРНЗ, Орловская, серая лесная	25-30	2,1	15,0	4,0	0,2	0,2	19,4	22,8	3,5	0,29	0,17	1,78	1,37	2,66	24
ЦЧО, Курская, типичный чернозем	70-75	5,6	35,3	4,1	0,1	0,4	39,9	40,8	3,2	0,29	0,01	2,40	1,28	2,62	35
ЦЧО, Воронежская, обыкновенный чернозем	65-75	4,7	40,3	5,5	0,9	1,0	47,7	48,4	3,1	0,30	0,15	2,20	1,10	2,44	32
Поволжье, Самарская, обыкновенный чернозем	45-65	4,6	28,2	6,3	0,6	0,1	35,2	37,1	1,1	0,20	0,14	2,21	1,17	2,67	30
Поволжье, Волгоградская, каштановая	30-40	1,1	16,8	5,5	1,0	0,9	24,2	26,5	-	0,20	6,50	3,93	1,28	2,70	24
Поволжье, Волгоградская, светло-каштановая	25-30	0,8	24,8	4,8	1,4	-	31,0	37,3	-	-	-	-	1,66	2,65	14

Поэтому у них более высокая по сравнению с серыми лесными и каштановыми почвами противозэрозийная устойчивость и формируется меньший сток.

Каштановые и светло-каштановые почвы по своим свойствам находятся ближе к серым лесным. У них мощность гумусового горизонта небольшая, содержание гумуса незначительное (около 0,8-1,1 %), плохие водно-физические свойства, что обуславливает их низкую противозэрозийную устойчивость и благоприятные условия для формирования стока.

Большим разнообразием природных факторов эрозионно-гидрологических процессов характеризуются объекты исследований. Известно, что влияние на сток и эрозию в разной степени оказывают осадки, температура воздуха, замерзание, оттаивание и увлажнение почвы, снеготопасы, характер и продолжительность снеготаяния и другие. Обобщенная характеристика их приведена в табл. 2.2 и 2.3. Они будут в основном использованы ниже при анализе связи стока талых вод с природными и антропогенными факторами. Здесь же мы остановимся кратко на общей характеристике показателей этих факторов. Не вдаваясь в характер влияния природных факторов на сток, отметим, что во всех исследуемых районах они изменяются в широком диапазоне, причем находятся, как правило, на высоком уровне. Общее закономерное изменение их происходит при движении с севера на юг. Например, снеготопасы на уровне 50 %-ной обеспеченности составляют: на юге ЦРНЗ – 119-120 мм, в ЦЧО – 68-89 и в Поволжье – 42-77 мм. Снеготопасы 10 %-ной вероятности превышения колеблются от 183-188 мм на юге ЦРНЗ до 77-116 в Поволжье. Подобным образом изменяются и влагозапасы в почве, глубина ее промерзания и продолжительность снеготаяния.

Характеризуя опытные объекты в целом, следует отметить, что природные факторы (рельеф, осадки, влагозапасы в снеге и почве, глубина ее промерзания и др.) и хозяйственная деятельность людей создают благоприятные условия для формирования стока и процессов эрозии во всех природных зонах. Наилучшие условия для стока талых вод и эрозии бывают на серых лесных почвах юга Центрального района Нечерноземной зоны. При движении с севера на юг к черноземам и каштановым почвам роль природных факторов в эрозионно-гидрологических процессах уменьшается.

Таблица 2.2

Обобщенная характеристика природных факторов эрозионно-гидрологического процесса

Зона, область	Осадки, мм			Температура воздуха, °С			Максимальная глубина промерзания, см	Снегозапасы, мм	Запас воды в почве (0-50 см) перед снеготаянием, мм	Средняя продолжительность снеготаяния, сут.	Направление метельных ветров
	всего	холодного периода	теплого периода	средняя	макс.	мин.					
Юг ЦРНЗ, Орловская	545	130	415	4,5	+38	-44	182	21-220	123-248	21-22	Не выражено
ЦЧО, Курская	500	165	335	5,1	+41	-40	> 150	25-155	158-230	20-22	Не выражено
ЦЧО, Воронежская	350	130	220	6,9	+40	-36	> 150	23-152	111-220	15-18	Слабо выражено, ЮВ и СВ
Поволжье, Самарская	400	120	280	3,7	+38	-46	144	43-147	101-177	14-15	Слабо выражено, Ю и ЮЗ
Поволжье, Волгоградская, г. Камышин	341	80	261	6,5	+37	-40	150	10-130	47-101	6-10	Слабо выражено, ЮВ
Поволжье, Волгоградская	350	93	257	7,7	+36	-40	140	15-100	52-130	5-8	Слабо выражено, СВ

Таблица 2.3  
Показатели природных факторов эрозионно-гидрологического процесса разной вероятности превышения перед снеготаянием (числитель – рыхлая, знаменатель – уплотненная пашня)

Фактор	Вероятность превышения, %														C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	X
	1	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	99					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
<i>Юг ЦРНС, Орловская обл.</i>																	
Снегозапасы, мм	239	202	189	161	146	132	120	109	96	82	62	18	0,39	0,16	122		
Влагозапасы в почве, мм*	247	207	188	164	147	132	119	106	91	74	50	18	0,45	0,02	119		
Глубина промерзания почвы, см	244	216	203	188	178	170	163	157	150	143	134	117	0,16	0,71	166		
Продолжительность снеготаяния, сут.	246	218	205	190	180	172	165	159	153	146	138	122	0,16	0,81	169		
	206	161	139	114	97	82	70	57	45	32	13	0	0,67	0,50	74		
	182	143	124	101	85	73	61	50	38	26	8	0	0,71	0,40	64		
	29	25	23	20	18	17	15	14	12	11	8	2	0,37	0,38	15		
	33	28	25	22	20	18	16	14	12	10	7	1	0,44	0,5	16		
<i>ЦЧО, Курская обл.</i>																	
Снегозапасы, мм	161	137	125	110	100	91	82	74	65	55	40	5	0,40	0,67	82		
Влагозапасы в почве, мм*	183	154	139	122	109	99	89	79	68	55	38	4	0,45	0,04	89		
Глубина промерзания почвы, см	286	250	233	214	201	191	183	175	167	158	147	128	0,18	0,84	187		
Продолжительность снеготаяния, сут.	260	234	221	205	193	183	174	165	156	144	128	90	0,20	0,94	174		
	166	140	126	110	99	89	81	72	63	53	38	7	0,42	0,20	82		
	120	109	104	98	93	89	86	82	78	74	68	53	0,16	0,37	86		
	22	18	16	14	12	11	9	8	7	5	3	1	0,57	0,05	9		
<i>ЦЧО, Воронежская обл.</i>																	
Снегозапасы, мм	166	137	122	105	92	81	71	61	51	38	22	8	0,55	0,14	72		
Влагозапасы в почве, мм*	181	146	128	107	92	80	68	57	45	31	13	13	0,64	0,90	69		
	258	234	222	208	198	189	181	173	165	154	140	107	0,18	0,83	181		
	229	204	192	177	166	157	148	140	131	120	105	70	0,23	0,63	148		

Продолжение табл. 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Глубина промерзания почвы, см	$\frac{125}{87}$	$\frac{101}{80}$	$\frac{89}{77}$	$\frac{77}{72}$	$\frac{68}{69}$	$\frac{62}{67}$	$\frac{56}{54}$	$\frac{51}{62}$	$\frac{46}{59}$	$\frac{41}{56}$	$\frac{35}{52}$	$\frac{23}{43}$	$\frac{0,37}{0,15}$	$\frac{0,90}{0,61}$	$\frac{60}{64}$
Продолжительность снеготаяния, сут.	$\frac{25}{34}$	$\frac{21}{28}$	$\frac{19}{25}$	$\frac{17}{21}$	$\frac{15}{19}$	$\frac{14}{17}$	$\frac{12}{15}$	$\frac{11}{14}$	$\frac{10}{12}$	$\frac{8}{10}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{0,44}{0,41}$	$\frac{0,28}{0,61}$	$\frac{12}{16}$
<i>Поволжье, Самарская обл.</i>															
Снегозапасы, мм	$\frac{136}{134}$	$\frac{108}{115}$	$\frac{95}{106}$	$\frac{81}{96}$	$\frac{72}{88}$	$\frac{66}{82}$	$\frac{60}{77}$	$\frac{54}{72}$	$\frac{50}{66}$	$\frac{44}{60}$	$\frac{38}{52}$	$\frac{19}{36}$	$\frac{0,36}{0,27}$	$\frac{1,13}{0,45}$	$\frac{64}{78}$
Влагозапасы в почве, мм*	$\frac{197}{279}$	$\frac{167}{242}$	$\frac{153}{223}$	$\frac{139}{281}$	$\frac{130}{185}$	$\frac{122}{171}$	$\frac{117}{158}$	$\frac{111}{145}$	$\frac{106}{132}$	$\frac{101}{115}$	$\frac{95}{93}$	$\frac{86}{40}$	$\frac{0,20}{0,32}$	$\frac{1,16}{1,68}$	$\frac{121}{158}$
Глубина промерзания почвы, см	$\frac{213}{201}$	$\frac{183}{184}$	$\frac{168}{173}$	$\frac{150}{160}$	$\frac{137}{150}$	$\frac{126}{142}$	$\frac{116}{134}$	$\frac{106}{126}$	$\frac{95}{118}$	$\frac{82}{108}$	$\frac{64}{95}$	$\frac{42}{63}$	$\frac{0,35}{0,23}$	$\frac{0,27}{1,02}$	$\frac{116}{134}$
Продолжительность снеготаяния, сут.	$\frac{32}{31}$	$\frac{26}{24}$	$\frac{22}{21}$	$\frac{19}{17}$	$\frac{16}{14}$	$\frac{14}{12}$	$\frac{12}{12}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{8}{8}$	$\frac{6}{6}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0,63}{0,55}$	$\frac{0,45}{0,87}$	$\frac{12}{12}$
<i>Поволжье, Волгоградская обл., г. Камышин</i>															
Снегозапасы, мм	$\frac{161}{156}$	$\frac{132}{129}$	$\frac{116}{115}$	$\frac{99}{99}$	$\frac{86}{87}$	$\frac{75}{77}$	$\frac{66}{68}$	$\frac{56}{59}$	$\frac{46}{49}$	$\frac{34}{37}$	$\frac{19}{21}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0,57}{0,54}$	$\frac{0,23}{0,01}$	$\frac{67}{75}$
Влагозапасы в почве, мм*	$\frac{127}{167}$	$\frac{110}{135}$	$\frac{101}{119}$	$\frac{91}{102}$	$\frac{84}{90}$	$\frac{78}{80}$	$\frac{72}{72}$	$\frac{67}{64}$	$\frac{61}{55}$	$\frac{54}{46}$	$\frac{45}{35}$	$\frac{25}{12}$	$\frac{0,30}{0,45}$	$\frac{0,15}{0,57}$	$\frac{73}{75}$
Глубина промерзания почвы, см	$\frac{235}{253}$	$\frac{189}{199}$	$\frac{167}{172}$	$\frac{139}{140}$	$\frac{119}{116}$	$\frac{102}{96}$	$\frac{87}{78}$	$\frac{71}{59}$	$\frac{54}{39}$	$\frac{34}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0,72}{0,95}$	$\frac{0,23}{0,05}$	$\frac{78}{78}$
<i>Поволжье, г. Волгоград</i>															
Снегозапасы, мм	$\frac{115}{126}$	$\frac{89}{100}$	$\frac{77}{87}$	$\frac{64}{72}$	$\frac{55}{62}$	$\frac{48}{54}$	$\frac{42}{46}$	$\frac{37}{39}$	$\frac{31}{32}$	$\frac{26}{24}$	$\frac{19}{14}$	$\frac{6}{0}$	$\frac{0,51}{0,59}$	$\frac{0,85}{0,53}$	$\frac{46}{49}$
Влагозапасы в почве, мм*	$\frac{151}{141}$	$\frac{126}{126}$	$\frac{115}{118}$	$\frac{102}{109}$	$\frac{92}{102}$	$\frac{85}{97}$	$\frac{78}{92}$	$\frac{71}{87}$	$\frac{64}{82}$	$\frac{56}{76}$	$\frac{46}{68}$	$\frac{24}{57}$	$\frac{0,34}{0,21}$	$\frac{0,36}{0,19}$	$\frac{80}{92}$
Глубина промерзания почвы, см	$\frac{249}{251}$	$\frac{189}{201}$	$\frac{159}{177}$	$\frac{124}{147}$	$\frac{100}{125}$	$\frac{80}{107}$	$\frac{62}{90}$	$\frac{45}{43}$	$\frac{27}{55}$	$\frac{8}{33}$	$\frac{0}{3}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1,04}{0,75}$	$\frac{0,43}{0,31}$	$\frac{67}{90}$

Примечание. \*Влагозапасы в слое 0-50 см перед снеготаянием.



### **3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА ТАЛЫХ ВОД**

#### **3. 1. Рельеф как фактор эрозионно-гидрологического процесса**

##### **3.1.1. Теоретические основы рельефообразования**

В силу того обстоятельства, что рельеф территории является ведущим фактором в проявлении эрозии, рельефообразованию всегда уделялось большое внимание как у нас в стране, так и за рубежом. Первые наиболее серьезные попытки исследовать склоновый сток и рельефообразование связаны с деятельностью экспедиции В. В. Докучаева в южных районах России, главным образом в Каменной степи. В. В. Докучаеву принадлежит попытка теоретического рассмотрения вопросов рельефообразования на равнине в части, касающейся генезиса гидрографической сети (переход оврагов в балки, а балок в речные долины). Однако ученым не была проведена четкая грань между древней (балочно-долинной) и современной (промоинно-овражной) гидрографической сетью [69]. Важное значение имели и работы П. А. Костычева [70] о роли естественной (целинной) травянистой растительности в образовании "настоящих" оврагов антропогенного происхождения. Ученый полагал, что на целине, в отличие от пахотных земель, овраги не образуются. Выдающийся вклад в разработку теории эрозионно-гидрологического процесса принадлежит А. С. Козменко [2] и Г. П. Сурмачу [71] в период их деятельности во Всесоюзном (затем Всероссийском) научно-исследовательском институте агролесомелиорации.

На начальном этапе исследований рельефа на первое место выдвигались вопросы эрозионного размыва – оврагообразования. Разработкой этих вопросов занимались многие ученые [71-77]. Были предложены разнообразные классификации размывов по их положению на водосборе (донные, береговые, склоновые) и стадиям развития во времени (водороины, промоины, овраги). Значительно меньшее внимание на начальном этапе исследований уделялось изучению стока талых и ливневых вод и смыва почв. Так, лишь в XX в. по материалам обследо-

ваний 1935-1940 гг. в Почвенном институте была создана первая в СССР мелкомасштабная (М 1 : 5 000 000) почвенно-эрозионная карта. Почвенно-эрозионное картографирование на Среднерусской возвышенности и в Алтайском крае выполнялось также в 50-х гг. Г. П. Сурмачем [71] в период работы комплексной экспедиции АН СССР.

С учетом исследований предыдущего периода и новейших научно-технических разработок последних десятилетий можно констатировать, что теоретической основой рельефообразования является учение об эрозионно-гидрологическом и эрозионно-аккумулятивном процессах. Гидрологический процесс как фактор эрозионно-аккумулятивного процесса определяется, главным образом, характером поступления на поверхность почвы дождевых осадков и талых вод, инфильтрационной способностью почвы и образованием поверхностного (склонового) стока – агента эрозионного процесса. Инфильтрационная способность почвы определяется в первую очередь ее структурно-агрегатным состоянием (особенно водопрочностью почвенных агрегатов), особенностями ее замерзания-оттаивания и влажности почвы. Эрозионно-аккумулятивный процесс является результатом взаимодействия стекающих осадков с почвой. Эрозионно-аккумулятивный процесс сильно зависит от наличия на поверхности растительного покрова и его остатков (стерня), а в лесных насаждениях – мощности и состояния лесной подстилки. Теоретические аспекты эрозионно-гидрологического процесса, кроме упомянутых исследований В. В. Докучаева, П. А. Костычева, рассматривались в работах других ученых [2, 69, 71-74].

Выполненные А. С. Козменко [2] исследования на Среднерусской возвышенности (территория нынешних Тульской, Орловской, частично Липецкой обл.) с составлением первых в России детальных карт овражности, водоносности, лесистости привели ученого к идеям, получившим свое выражение в стройной системе взглядов на причины эрозии и рельефообразования в равнинных условиях. Ему принадлежит обоснование необходимости различать древнюю и современную (антропогенную) эрозию, учитывать роль растительности как важнейшего биотического фактора эрозионно-гидрологического процесса, связывать течение древней эрозии с эпохами оледенения на равнине, а также обусловленности современной эрозии в первую очередь сельскохозяйственной деятельностью. А. С. Козменко впервые обратил внимание на ведущую роль смыва почвы в отличие от традиционной точки зрения об оврагообразовании как ведущего проявления эрози-

онно-гидрологического процесса. А. С. Козменко принадлежит классификация оврагов по их местоположению, предложена первая в стране классификация почв по степени их смывости. При разработке теории рельефообразования ученым впервые с высокой степенью аргументированности увязано образование лёссов с эрозионно-гидрологическим процессом, что было важным шагом вперед по сравнению с высказанными ранее гипотезами Армашевского – Павлова по поводу лёссообразования в связи с делювиальным процессом.

Дальнейшее развитие взгляды А. С. Козменко получили в работах Г. П. Сурмача [71]. Он создал схему рельефообразования и формирования лёссов в ходе четвертичных эрозионно-аккумулятивных циклов, обусловленных наступлением-таянием ледников на Русской равнине. Его логико-графическая модель формирования склонов и покровных лёссовых пород приведена на рис. 3.1. Оно проходило в 3 цикла, в каждом из которых было 2-3 стадии [71]. Модель отображает то, что образование рельефа и отложение лёсса – это результат единого эрозионно-аккумулятивного процесса. Она позволяет объяснить механизм эрозии и аккумуляции и залегание лёссовых пород на водоразделах.

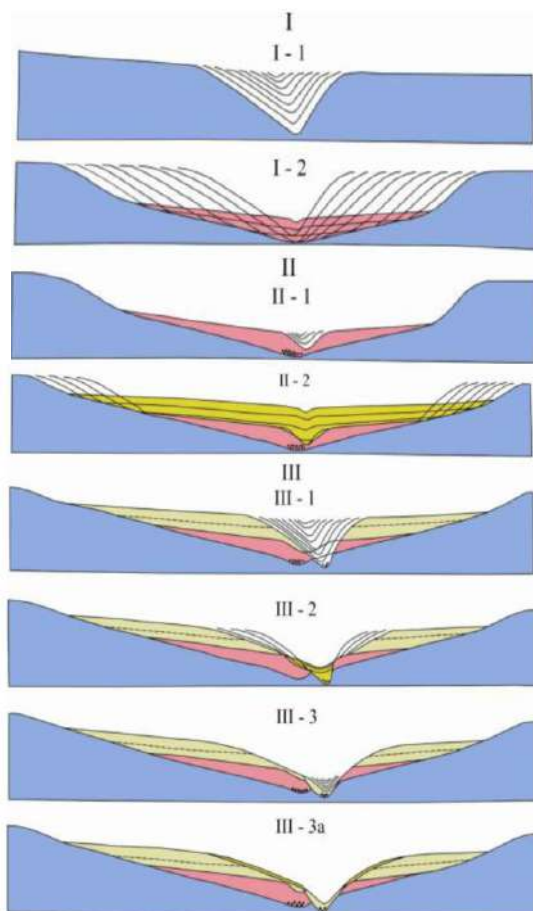


Рис. 3.1. Схема формирования склонов и покровных отложений в результате единого эрозионно-гидрологического процесса:

**I – нижнечетвертичный цикл эрозии:**

I-1 – стадия углубления русла;

I-2 – стадия сглаживания склона и образования лёссовых пород;

**II – среднечетвертичный цикл эрозии:**

II-1 – стадия размыва и подмыва инсолируемого берега;

II-2 – стадия сглаживания склонов и образования лёссов;

**III – верхнечетвертичный цикл эрозии:**

III-1 – стадия размыва и подмыва инсолируемого берега;

III-2 – стадия сглаживания и отложения делювиальных суглинков;

III-3 – размыв суходольной гидрографической сети (до формирования почв);

III-3a – современный рельеф: а – новейшие делювиальные суглинки

На основе собственных комплексных почвенно-геолого-геоморфологических исследований в Самарском Заволжье, на Среднерусской и Приволжской возвышенностях и в других регионах Г. П. Сурмач обстоятельно описал ход эрозионно-гидрологического процесса на склонах и в гидрографической сети, по-новому изложил условия формирования лёссов, увязал распространение лесной, травянистой растительности с почвообразованием в лесостепи и литологией толщи четвертичных покровных отложений. Он по сути дела решил проблему, которая в течение целого столетия не получала положительного решения.

В. В. Докучаев [1, 69, 72] связывал существование лесостепи с естественными физическими особенностями страны и отмечал нерешенность проблемы. По этой проблеме проходила дискуссия, в которой приняли участие крупнейшие ученые – почвоведы, географы, геоботаники. Е. М. Лавренко и А. В. Прозоровский [78] на основе обобщения взглядов ученых сгруппировали причины безлесья степей следующим образом:

I группа – уничтожение лесов человеком;

II – недостаток осадков при усиленном испарении;

III – засоленность степных почв и подпочв;

IV – мелкоземистость степных почв;

V – равнинный рельеф степей, их слабый дренаж, что, в свою очередь, обуславливает временное (весеннее) затопление степных почв;

VI – незакончившийся процесс облесения лесостепной полосы, в результате которого леса как "более мощные и совершенные" растительные группировки вытесняют степные фитоценозы;

VII группа – циклический характер взаимоотношения леса и степи в лесостепной полосе: дубовый лес поселяется на степных почвах, черноземах и постепенно превращает их в сильнооподзоленные лесные суглинки, малопригодные для существования леса; в связи с этим дубовый лес постепенно исчезает, заменяясь степной растительностью, которая способствует превращению лесного суглинка снова в чернозем, на последнем снова поселяется лес, вытесняя степную растительность, и т. д.

Существующие концепции и схемы развития склонов оказались не в состоянии объяснить появление лёссов на водоразделах и плато и образование разных форм склонов с лёссовым покровом. Г. П. Сурмач [71] подчеркивает, что ни одна из названных причин не раскрывает того, почему в одинаковых климатических условиях одна часть территории оказалась в прошлом занятой лесом, а другая – степью.

Он писал, что "основная причина указанного распределения лесов и степей лесостепи коренится в особенностях литологической (гидрогеологической) основы территории (литологического строения пород), которая возникла в ходе циклического развития эрозионно-аккумулятивных процессов (рельефо- и лёссовобразования) в четвертичный период геологической истории Земли. При формировании почвенно-растительных зон в голоцене леса расселились: а) на территориях с маломощным литологически неоднородным, слоистым лёссовым покровом; б) площадях с маломощным ярусом типичного лёсса, подстилаемого породами более водоупорного второго яруса на небольшой глубине или водоупорными коренными породами (например меловым мергелем); в) участках с двучленным строением профиля при залегании сверху маломощного в ряде случаев неоднородного суглинка, представляемого водоупорной, например красно-бурой, глиной; г) слоистом элювии-делювии коренных пород. Во всех случаях верхняя корнеобитаемая толща пород обладает высокой общей влагоемкостью и повышенными запасами продуктивной (легкодоступной для растений) влаги. Здесь образовались серые лесные почвы.

Степная травянистая растительность покрыла участки лесостепи с более мощной толщей однородного лёсса, отличающейся пониженными влагоемкостью и диапазоном активной влаги и, следовательно, меньшими запасами продуктивной влаги в корнеобитаемом слое, ибо просачивающаяся атмосферная влага недостаточно задерживается в этом слое, легко сбрасывается вглубь. На них сформировались черноземы. Промежуточные по характеру гидрологических условий территории стали ареной наиболее ожесточенной борьбы между лесом и степью".

Такое распределение связано с тем, что в ходе рельефообразования и отложения лёссов пониженные участки территории на равнинах, более древние эрозионные выработки и пониженные пологие склоны в пределах возвышенностей покрылись мощной толщей относительно однородных суглинистых или тяжелосуглинистых отложений. На более крутых и высоких склонах возвышенностей сформировались лёссы малой мощности, отличающиеся значительной слоистостью и неоднородностью литологического строения. Слоистые отложения с чередованием прослоек различного гранулометрического состава обладают повышенной общей влагоемкостью и значительно большим содержанием легкодоступной для растений влаги по сравнению с однородными грунтами. Слоистые грунты, ввиду действия

менисковых сил представляют собой намного большее препятствие для просачивания воды вглубь, чем однородные. К тому же под маломощным лёссовым плащом залегают слоистые песчано-глинистые отложения мощностью около 1,0-2,5 м, образовавшиеся в раннечетвертичное время, которые являются водоупором, способствующим формированию верхнего горизонта грунтовой воды или верховодки. Таким образом, возникли существенно отличающиеся между собой гидрогеологические условия, что определило соответствующее распределение древесной (лесной) и травянистой (степной и луговой) растительных формаций, а следовательно, и генезис почв.

Г. П. Сурмач считал, что главной причиной мозаичного распределения древесной и травянистой растительных формаций и соответствующих им почв является различная влагоемкость слоистых литологически неоднородных и мощных более однородных толщ. Формирование серых лесных почв обусловлено благоприятным литологическим строением корнеобитаемой и подстилающей толщи почвогрунта (активная зона водообмена), способной удерживать гравитационную влагу и обеспечивать водой лесную растительность. Как отмечали Е. А. Афанасьева [79] и А. Ф. Большаков [80] при двучленном строении верхнего яруса лёсса формируется горизонт капиллярно-подвешенной воды, что улучшает гидрологические условия местообитания растительности. Связь распространения лесов с неоднородным литологическим строением корнеобитаемой и подстилающей толщи почвогрунта, а степей – с мощной однородной толщей лёсса является всеобщей. Кроме лесостепной зоны лес продвинулся по суходольной гидрографической сети далеко в сухую степь и даже в полупустыню.

Распространение байрачных (балочных) лесов связано с особенностями литологического строения пород, а также с повышенным увлажнением берегов балок за счет снега и грунтового подтока влаги. Лес иногда выходит из балок по ложбинам на склоны, где залегают близко от поверхности или выклиниваются песчано-глинистые образования при наличии водоупоров. Однако на берегах балок, сложенных мощными лёссовыми отложениями, лес не поселялся и под луговой растительностью образовались черноземы.

Таким образом, Г. П. Сурмач доказал, что синтез взаимодействующих факторов и процессов четвертичного времени, воссоздание картины формирования рельефа и становления литогенной (гидрогеологической) основы природных ландшафтов дают ключ к лучшему

пониманию дальнейшего развития антропогенных ландшафтов и к научному обоснованию мер по охране природы, включая меры по защите почв от эрозии. Рассмотрение процесса рельефообразования и отложения лёссов как единого эрозионно-аккумулятивного процесса позволило Г. П. Сурмачу решить важную проблему распределения в лесостепи лесов и степей и образования черноземов и серых лесных почв. Эта теория также объясняет произрастание в степной зоне лесов на водоразделах и байрачных лесов в сухоходольной гидрографической сети. Она помогает теоретически осмыслить грандиозные процессы эрозионного разрушения возвышенностей и формирования лёссовых пород (коры выветривания), т. е. литогенной основы современных ландшафтов, а также более полно и правильно оценить большую роль растительности (биологический фактор) в рельефообразовании. Наиболее глубокое понимание причинно-следственных связей и результатов взаимодействия различных факторов при циклическом развитии эрозионно-аккумулятивных процессов открывает перспективу направленного регулирования этих процессов в условиях хозяйственной деятельности, более продуктивного использования земель и более правильного подхода к охране окружающей среды.

Разработки Г. П. Сурмача помогают выявить особенности формирования грунтовых вод на участках с сетью лесных полос. При гидрогеологическом обследовании территории можно прогнозировать характер формирования нового верхнего горизонта воды или устойчивой верховодки при проектировании противозэрозионного комплекса, предвидеть возможность продвижения грунтового потока вниз по склону, а также выклинивания его и использования этой воды растениями. На серых лесных почвах более благоприятные условия для продвижения грунтового потока от лесных полос вниз по склону, чем на черноземах. При наличии мощной толщи однородного лёсса вода просачивается преимущественно вертикально вниз.

### 3.1.2. Функция формы склона и смыв почвы

Развитие теории Г. П. Сурмача продолжил его ученик, доктор сельскохозяйственных наук Е. А. Гаршинев. Им уточнены условия формирования эрозионно-аккумулятивных форм рельефа, разработана логико-графическая схема эволюции склонов в ходе эрозионно-аккумулятивного процесса (рис. 3.2) [12], обосновано, что эрозионный промоинно-овражный размыв спонтанно и последовательно про-

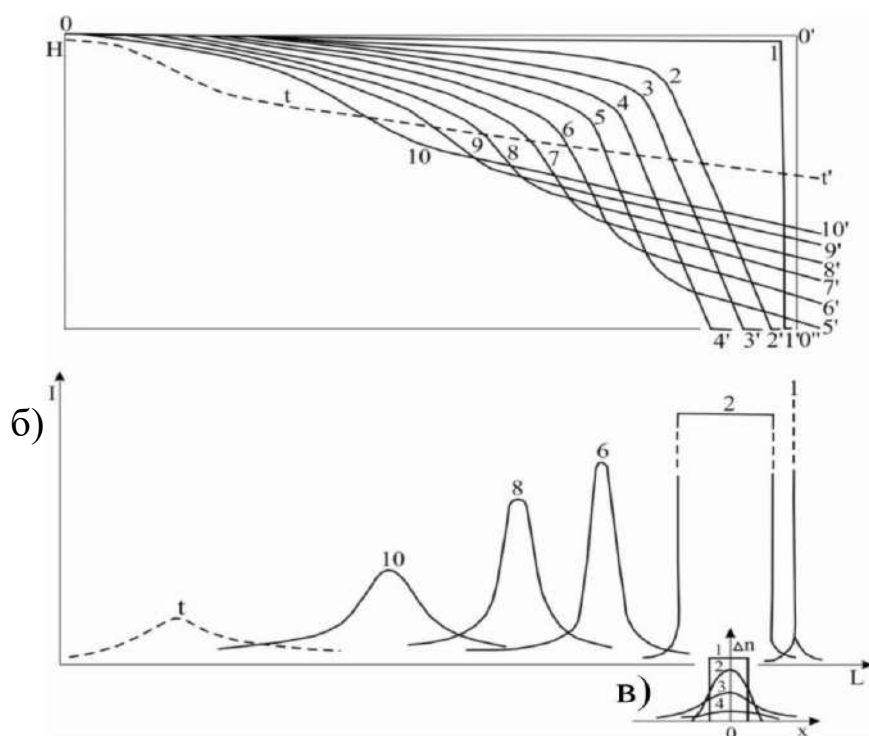


Рис. 3.2. Логико-графическая схема эволюции отметок  $H$  (а) и уклонов  $I$  (б) поверхности склона в ходе эрозионно-аккумулятивного процесса ( $L$  – длина склона). Диффузия избыточных носителей с поверхности субстрата (в)

ходит стадии от обрывистых откосов к осыпным склонам делювиального смыва и аккумуляции.

На этой основе впервые показано, что форма склонов является адекватным выражением эрозионно-аккумулятивного процесса и им предложено выражать функцию формы склона посредством логистического уравнения. Таким образом, им найдено универсальное математическое выражение для описания выпукло-вогнутых склонов как результата проявления эрозионно-гидрологического процесса, что вполне согласуется с воззрениями Д. Л. Арманды [33] и Л. Кинга [17] о всеобщности такого образования склонов на суше Земли.

Е. А. Гаршиным [12] разработана теория и созданы математические модели эрозионно-аккумулятивного процесса. Они доведены до инженерного расчета и реализованы пакетом прикладных программ. В основу разработки модели эрозионно-гидрологического процесса он положил вывод о том, что форма склона, образующегося в результате эрозионно-аккумулятивного процесса, есть тождественно-адекватный результат данного процесса, т. е. функция формы склона и функция эрозионно-аккумулятивного процесса тождественны. Смыв приводит к удалению субстрата с поверхности склона, в результате чего она понижается и склон приобретает вид кривой, форма которой в точности соответствует слою удаленного эрозией материала. Также аккумуляция



мелкозема повышает поверхность склона, и его форма в точности соответствует слою аккумулярованного наноса. Но если это так, то форма склона есть не что иное, как в неявном виде геометрический (геоморфологический) образ (модель) функции эрозии – аккумуляции. Иными словами, математическое выражение функции формы склона является адекватным выражением функции эрозионно-аккумулятивного процесса.

Им впервые установлено, что вся совокупность эрозионно-аккумулятивных склонов может быть описана универсальной функцией – логистической [12]:

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

где  $H$ ,  $H_{max}$ ,  $H_{min}$  – текущая отметка, максимальная и минимальная асимптоты поверхности склона;  $L$  – расстояние от водораздела;  $a$  и  $b$  – параметры.

Уравнение (1), описывающее форму склона, имеет широкую область практического применения и позволяет определять многие морфометрические характеристики рельефа: уклон, расстояние от водораздела до точки перегиба, расстояние до бровки и точки перехода берегового склона в днище. Последние характеристики более корректны при использовании понятия пластики рельефа для картографирования генетически однородных элементов рельефа и составления почвенных карт.

Расчеты рассмотренных морфометрических характеристик необходимы во многих областях прикладной деятельности, в т. ч. в противоэрозионной лесомелиорации при планировании и проектировании противоэрозионных насаждений, определении границ земельных фондов и укрупненных параметров систем лесополос на водосборах (их количество и протяженность, лесистость и т. п.), составлении бассейновых и иных схем противоэрозионных мероприятий, разработке нормативов, типовых проектных решений и т. д. Выражение (1), в отличие от всех известных уравнений, позволяет получать "точечные", а не интервальные (для отрезков склона) оценки смыва, строить по ним карты изолиний, а не контуры интервалов его величин.

Полученные результаты позволяют использовать логистическую функцию для решения многих задач прикладной геоморфологии, ландшафтоведения, почвоводоохранного земледелия – получать на основе расчетов геологическое строение зоны аэрации и положение уровней грунтовых вод, выполнять комплексное ландшафтное районирование территории, прогнозировать естественную и антропогенную эволюцию ландшафтов и т. п.

В связи с тем, что закон, описывающий форму склона и эрозионно-аккумулятивный процесс, един, Е. А. Гаршиным разработано уравнение для расчета смыва [12]:

$$W_m = L[K]h^s(\varphi_1 P^2)^m L^n, \quad (2)$$

где  $L$  – коэффициент, учитывающий размерность, пропорциональность и противоэрозионную стойкость агрофона;  $[K]$  – произведение коэффициентов, учитывающих почвенные условия и эффективность почвозащитных приемов;  $h$  – слой стока;  $\varphi_1 = bc\varphi/\Delta P$ ;  $\varphi = \exp(-bL)$ ;  $c = \exp(a)$ ;  $P = \Delta H \cdot P_D - \Delta H[1 - (H - H_{\min})/\Delta H] = \Delta H/(1 + c\varphi)$ ;  $\Delta H = H_{\max} - H_{\min}$ ;  $P_D = 1/(1 + c\varphi)$ ;  $m, n, s$  – параметры ( $m \approx 1 \dots 2$ ;  $n \approx 0,5 \dots 1$ ;  $s = 0,96$ ).

Использование уравнения (2) и его первых четырех производных позволяет определять аналитически геоморфологические характеристики рельефа, выполнять геоморфологическое картографирование и районирование территории, аналитически определять границы ландшафтных поясов и т. п. Использование логистической функции позволяет строить карты текущих значений уклонов и смыва почв (ранее такие карты строились только по дискретным оценкам этих характеристик), выполнять расчеты противоэрозионных рубежей (в т. ч. стокорегулирующих лесополос) и систем противоэрозионных мероприятий.

Это позволило разработать оригинальную систему автоматизированного проектирования (САПР) противоэрозионных мероприятий [81]. САПР – это совокупность технологических действий (операций) с применением ЭВМ и иных электронных средств, обеспечивающих использование баз данных, математических моделей, пакетов прикладных программ, выполнение в автоматическом и полуавтоматическом режимах инженерных расчетов, машинной графики, формирование текстовой документации по всему циклу проектной разработки систем агролесомелиоративных и иных противодеградационных мероприятий. САПР в 3-4 раза сокращает затраты на выполнение трудоемких графических работ и в 1,5-2 раза увеличивает производительность труда при проектировании.

## 3.2. Эрозионно-гидрологический процесс как фактор деградации и опустынивания

### 3.2.1. Общие положения

Выполненные во ВНИАЛМИ разработки по аспектам теории рельефообразования составляют единое целое с разработками в обла-

сти гидрологических процессов. Выдающаяся роль в этом принадлежит Г. П. Сурмачу. Он в 1958 г. организовал в лесостепной, степной и полупустынной зонах стационарные исследования в четырех пунктах опытной сети ВНИАЛМИ в Орловской, Самарской и Волгоградской обл., где исследования проводятся до настоящего времени. Особенно важны в этом отношении экспериментальные и теоретические исследования факторов просачивания и стока дождевых и талых вод в почву. Особую актуальность имеют результаты экспериментальных оценок с применением методов дождевания, водно-балансовых площадок и метода напуска. Полученные в экспериментах материалы за период свыше 60 лет вошли в "золотой фонд науки". Они позволили выдвинуть и обосновать новые теоретические положения, существенно уточняющие представления о физической природе гидрологических процессов, по-новому трактовать условия просачивания дождевых и талых вод в почву, что позволяет усовершенствовать существующие и разработать новые математические модели.

Изложенные выше теоретические основы рельефообразования, эрозионно-гидрологического и эрозионно-аккумулятивного процессов и отложения лёссов позволили определить наиболее перспективные направления, пути и средства воздействия на них и разработать высокоэффективные приемы и технологии управления эрозионно-гидрологическим процессом. Они позволяют лучше понять ландшафтные особенности территории и использовать их в практических целях.

Исследование роли взаимодействующих факторов и процессов четвертичного времени, воссоздание картины формирования рельефа и становления литогенной (гидрогеологической) основы природных ландшафтов дают ключ к лучшему пониманию дальнейшего развития антропогенных ландшафтов и к научному обоснованию мер по охране природы, включая меры по защите почв от эрозии. Наиболее глубокое понимание причинно-следственных связей и результатов взаимодействия различных факторов эрозионно-аккумулятивных процессов открывает перспективу направленного регулирования этих процессов в условиях хозяйственной деятельности, более продуктивного использования земель и более правильного подхода к охране окружающей среды.

Знание генезиса серых лесных и черноземных почв лесостепи и их приуроченности к различным территориям очень важно для развития теории почвообразовательного процесса. Поскольку корнеобитаемая толща материнских пород серых лесных почв способна содержать больше доступной для растений влаги, то на этих почвах при их окуль-

турировании и полном обеспечении растений питательными веществами можно получить такие же (или более высокие) урожаи, как и на соседних черноземных массивах.

Сравнительно небольшое варьирование в литологическом строении материнских и подстилающих пород в пределах лесостепи и степи определяет биологическую продуктивность травянистой и культурной растительности. Поэтому изучение этих свойств указанных пород будет иметь большое значение для сельскохозяйственного производства.

Теория рельефообразования позволяет глубже уяснить взаимосвязь леса с почвенно-грунтовыми условиями и более обоснованно подойти к оценке лесопригодности (лесорастительных условий) того или иного участка территории, где предполагается создание лесонасаждений. Наилучшие условия для их произрастания – это слоистые отложения с чередованием прослоев более легкого (песок, супесь) и тяжелого гранулометрического состава, а также профиль почв с двухчленным строением, когда верхний член представляет собой субстрат легкого гранулометрического состава, а нижний – средний или тяжелый суглинок или глину; наихудшие – отложения, имеющие однородный литологический состав.

### 3.2.2. Влияние природных, антропогенных факторов и их взаимодействия на формирование поверхностного стока талых вод

#### *Современное состояние оценки роли природных факторов в формировании стока талых вод*

Планирование мер борьбы с эрозией почв должно осуществляться на основе знания закономерностей формирования поверхностного стока. Известно, что важнейшими факторами, влияющими на формирование стока, являются: увлажнение почвы перед снеготаянием, величина запасов воды в снеге, глубина промерзания почвы, интенсивность и продолжительность снеготаяния. Большинство из них влияют на формирование стока комплексно, во взаимодействии. Сейчас в литературе имеется много материалов о роли различных факторов в формировании стока. Однако они, как правило, рассматриваются каждый в отдельности без учета совокупности их влияния. Причем взгляды разных исследователей в значительной степени различаются и даже бывают противоположными.

Г. Ф. Басов и М. Н. Грищенко [82], исследуя этот вопрос в Воронежской обл., пришли к выводу, что с увеличением снегозапасов коэффициент стока увеличивается. С. И. Небольсин и П. П. Надев [83], проведя многолетние исследования в Московской обл., пришли к выводу о том, что с увеличением снегозапасов коэффициент стока уменьшается. И. П. Сухарев и Е. М. Сухарева [84] считают, что в ЦЧО с увеличением снегозапасов уменьшается коэффициент стока, а в некоторых случаях и величина стока. Результаты этих исследований относятся к условиям неравномерного распределения снежного покрова под влиянием лесных полос, где в примыкающих к ним зонах откладываются мощные снежные шлейфы. А. И. Чеботарёв и С. И. Харченко [85] пришли к выводу, что снегозапасы прямо влияют на сток весеннего половодья. Г. П. Сурмач [5] отмечает, что не всегда можно выделить в чистом виде влияние снегозапасов на сток, иногда накладывается действие других факторов. Он приводит обобщенные им результаты исследований многих авторов на серых лесных и каштановых почвах, черноземах типичных, выщелоченных, обыкновенных и южных, которые указывают на то, что с увеличением запасов снеговой воды сток, как правило, возрастает. Одновременно с этим во многих случаях повышается и коэффициент стока. Им также на основании результатов исследований для района Тимашево Самарской обл. установлена математическая связь стока  $У$  со снегозапасами  $X$ , которая выражается уравнением  $У = 0,36X + 35,7$ . На основании анализа этих связей Г. П. Сурмач пришел к выводу о том, что при разнообразии гидрометеорологических условий и агротехники взаимосвязь между мощностью снежного покрова и стоком проявляется по-разному. Для черноземно-степной и каштановой зон он выделил следующие случаи.

1. Снег ложится на иссушенную или умеренно влажную почву, сильные оттепели отсутствуют. В этих условиях сток с рыхлой пашни (а в ряде случаев и с уплотненной пашни) отсутствует независимо от глубины промерзания как при малой или нормальной, так и повышенной мощности снежного покрова.

2. Почва уходит в зиму во влажном состоянии, снежный покров устойчивый и сохраняется в течение всей зимы. В этих условиях на рыхлой пашне формируется очень слабый и слабый сток. По мере увеличения мощности снежного покрова в рамках обычных снегозапасов сток повышается, а его коэффициент остается на том же уровне. На уплотненной пашне, а в более северных районах на оподзоленных черно-

земах и серых лесных почвах и на зяблевой пахоте, увеличение мощности снежного покрова в таких условиях сопровождается значительным увеличением объема стока и некоторым повышением его коэффициента.

3. Снег выпал на переувлажненную в предзимний период и замерзшую почву и сохраняется в течение всей зимы. Вследствие этого весной даже на рыхлой пашне формируется умеренный и сильный сток, не говоря уже об уплотненной пашне и выгонах. По мере увеличения снеготаяния объем и коэффициент стока с рыхлой и особенно с уплотненной пашни повышаются.

4. Почва уходит в зиму различно увлажненной, зимой бывают глубокие оттепели с дождями, вызывающие частичное или полное таяние снега. В дальнейшем почва замерзает в переувлажненном состоянии и теряет способность впитывать талую воду. В этих условиях сток и коэффициент стока с увеличением снеготаяния повышаются. В результате формируются сильные паводки. В местах, где в течение всей зимы сохраняется снежный покров мощностью не менее 20-25 см (например в приопушечной зоне лесополос), вся талая вода во время оттепелей просачивается в почву и исключается возможность образования поверхностной ледяной корки. Эти участки и в период завершающего весеннего снеготаяния могут поглощать талую воду, способствуя тем самым сокращению стока. В таких условиях слой и коэффициент стока имеют обратную связь с запасами снеговой воды.

5. Почва уходит в зиму при различном увлажнении, зимний период характеризуется неустойчивой погодой. Периоды умеренного похолодания сменяются оттепелями, осадки выпадают преимущественно в виде снега и дождя, почва слабо замерзает и вновь оттаивает, снежный покров неустойчивый. Весенний сток с зяби в такие годы отсутствует или бывает очень слабый, а с других сельскохозяйственных угодий – очень слабый и слабый до умеренного.

Таким образом, Г. П. Сурмачем проанализирована связь стока и коэффициента стока со снеготаянием в различных гидрометеорологических условиях, что позволило ему разработать схему прогнозирования стока [86] на качественном уровне – слабый, умеренный и т. д.

Е. В. Полуэктов [87-89] провел подобный анализ для условий североприазовских черноземов Ростовской обл. и сгруппировал различные сочетания факторов следующим образом:

I группа – почва с осени иссушена. В течение зимы несколько раз выпадает снег, который в результате непродолжительных оттепелей та-

ет без образования стока. Почва промерзает на незначительную глубину. К весне снег в основном сосредоточен в ложбинах, лощинах, балках и лесных полосах. На рыхлой и уплотненной пашне сток отсутствует.

II – почва уходит в зиму различно увлажненной. Умеренно холодная, с частыми снегопадами зима прерывается оттепелями. Происходит частичное или полное стаивание снега с образованием небольшого стока. В дальнейшем почва замерзает в переувлажненном состоянии, водопроницаемость ее резко снижается. Большая часть выпадающих потом осадков стекает со склонов.

III – осенью и в первой половине зимы наблюдаются обильные дожди иногда со снегом, которые сильно увлажняют почву. Похолодание во второй половине зимы сопровождается кратковременными оттепелями. Весной количество осадков ниже нормы. В этих условиях весенний сток небольших объемов формируется на рыхлой и значительно больших – на уплотненной пашне.

IV группа – почва уходит в зиму при различном увлажнении. Зима характеризуется неустойчивой погодой, умеренное похолодание сменяется оттепелями, осадки выпадают в виде снега и дождя. Почва промерзает на небольшую глубину и вновь оттаивает, снежный покров неустойчив. На уплотненной пашне возможно образование ледяной корки. При таком сочетании условий сток талых вод на рыхлой пашне отсутствует или бывает очень слабым, на уплотненной пашне он слабый и умеренный.

Группирование природных факторов по влиянию их на сток талых вод также позволило ему предложить метод прогноза стока с рыхлой и уплотненной пашни на качественном уровне.

Обоим ученым удалось глубоко и всесторонне проанализировать связь стока талых вод с природными и антропогенными факторами, но к сожалению прогноз стока не был формализован.

Г. П. Сурмач [86] писал, что "прогнозирование стока талых вод, основанное на учете степени увлажнения почвы и погодных условий осенне-зимнего периода (температура воздуха, осадки, наличие оттепелей), не имеет строгой расчетной основы, и поэтому точность этого способа не высока".

В формализованном виде метод прогноза стока рек за период половодья, который можно использовать с определенными допущениями для прогноза поверхностного стока, предложили Б. А. Аполлов, Г. П. Калинин, В. Д. Комаров [90] на основе анализа связи водопоглотительной

способности почвы бассейна перед началом снеготаяния с природными факторами. Ими предложено следующее выражение для определения стока рек за период половодья:

$$Y = S - P_o(1 - e^{s/p}), \quad (3)$$

где  $Y$  – речной сток в период половодья, мм;  $S$  – запасы воды в снеге и ледяной корке, мм;  $P_o$  – параметр, характеризующий водопоглотительную способность бассейна перед началом снеготаяния и представляющий собой максимально возможные потери талых вод при таянии снежного покрова с большим, практически бесконечно большим, запасом воды, мм.

Для рек центральной части степной и лесостепной зон европейской территории СССР ими была установлена зависимость параметра  $P_o$  от глубины промерзания  $L$  и льдистости слоя почвы 0-100 см или влажности ее в мерзлом состоянии  $W$ . На основе анализа многолетних наблюдений за стоком, снежным покровом, промерзанием почвы, ее влажностью и другими факторами половодья получена эмпирическая формула

$$P_o = 750e^{-0,051wl} - 0,051WL. \quad (4)$$

Глубина промерзания в этой формуле ограничена 60 см, т. е. все большие величины приравнены к 60 см.

Этот подход обладает следующими недостатками:

1. Его можно использовать для расчета поверхностного стока с некоторыми допущениями, так как он разрабатывался для речного стока.

2. Формула (4) показывает, что водопоглотительная способность почвы зависит от глубины ее промерзания, начиная с любой величины больше нуля. Это не так. Экспериментальные данные свидетельствуют (что будет показано ниже) о том, что при глубине промерзания почвы до 50 см сток талых вод отсутствует при любом уровне снегозапасов и увлажнения почвы.

3. Для установления связи стока с льдистостью достаточно иметь влажность мерзлого слоя почвы 0-50 см, а не 0-100 см, как принято у авторов. Дело в том, что за период снеготаяния впитывание талой воды в почву происходит только до 25-30 см, т. е. в процесс водопоглощения вовлечен небольшой слой почвы и его достаточно для оценки влажности как природного фактора стока. Вовлечение более глубоких слоев почвы в расчеты приводит к увеличению ошибки прогноза.

4. Влажность почвы определяется перед началом зимы и делается поправка на увлажнение во время зимних оттепелей. Это тоже приводит к ошибке. Лучше это делать непосредственно перед снеготаянием.



В. Д. Комаров [91, 92] выявил важную роль теплофизического взаимодействия талой воды с мерзлой почвой. Последующие исследования этого вопроса углубили понимание сути процесса впитывания талой воды в мерзлую почву [93-95]. Наибольший интерес представляют исследования И. Л. Калюжного, К. К. Павловой и С. А. Лаврова [96], которые разработали концепцию формирования в мерзлой почве "запирающего слоя", суть которой заключается в том, что при некотором соотношении влажности и температуры мерзлой почвы в ней формируется водонепроницаемый слой. Отмечая большую роль промерзания и влажности почвы в формировании поверхностного стока талых вод и важность концепции "запирающего слоя" для понимания процесса взаимодействия талой воды с мерзлой почвой, следует отметить несогласованность результатов расчетов "запирающего слоя" с данными экспериментов авторов концепции. Выявлены случаи больших различий в стоке при равных мощностях "запирающего слоя", что не позволяет использовать эти результаты при прогнозировании стока.

Е. А. Гаршиневым [40] выдвинута и обоснована концепция "ледяного экрана", формирующегося на границе талого и мерзлого слоев почвы. Ее суть состоит в том, что при оттаивании верхнего слоя почвы по границе с мерзлым слоем происходит полное перекрытие всех пор почвы льдом и инфильтрация влаги в обычном ее понимании замещается процессом "термоинфильтрации" – протаиванием почвы в результате ее теплообмена за счет притока тепла извне. Формирование "ледяного экрана" и обуславливает сток талых вод даже в условиях, когда верхний мерзлый слой почвы не насыщен полностью.

Н. И. Алексеевский, Н. П. Фролова, М. М. Антонова, М. И. Иголина [97], проанализировав очень большой материал, характеризующий связь речного стока Волги с обуславливающими его факторами, пришли к выводу, что в лесной зоне годовой сток почти линейно связан с суммой годовых осадков, в лесостепной зоне эта связь ослабевает, а в южной части бассейна Волги годовой сток в большей степени зависит от количества осадков за холодный период, т. е. от снеготаяния.

В. В. Демидов [98] выявил связь стока  $C$  со снеготаянием  $S$ , интенсивностью таяния снега  $X$ , временем полного оттаивания мерзлого слоя почвы  $r_x$ , параметром, характеризующим долю водонепроницаемого слоя почвы, приходящуюся на единичную высоту снежного покрова  $K$ , суммой положительных температур за период стока  $\sum t$  и продолжительностью снеготаяния  $T$ . Она выражается уравнением

$$C = 3,23 \cdot 10^{-2} \cdot S^{0,85} \cdot X^{0,7} \cdot r_x^{0,58} \cdot K^{1,15} \cdot \sum t \cdot T^{0,25} \quad (5)$$

В уравнении (5) придается большое значение факторам, которые не играют существенной роли в формировании стока (интенсивность снеготаяния, время полного оттаивания мерзлого слоя почвы, соотношение мощности водонепроницаемого слоя почвы и высоты снега, сумма положительных температур и продолжительность снеготаяния), малая роль отводится снегозапасам и совсем не учитываются такие мощные природные факторы, как увлажнение почвы и глубина ее промерзания.

Г. П. Сурмач, М. М. Ломакин, А. П. Шестакова [99] разработали прогноз коэффициентов стока. Они предложили рассчитывать их по уравнению

$$K_{np} = (\alpha X^n - vX - cH + d)x(1 + 0,0000055P_{oc}^2), \quad (6)$$

где  $K_{np}$  – прогнозируемый коэффициент стока;  $X$  – средняя влажность почвы в мерзлом слое, %;  $H$  – глубина мерзлого слоя, см;  $P_{oc}$  – влагозапасы в снеге и ледяной корке, мм;  $\alpha, v, c, d, n$  – параметры уравнения, зависящие от типа и уплотненности почв (для зяби черноземов и каштановых почв соответственно 0,000185; 0,0025; 0,0125; 0,03; 1,25; для рыхлой и уплотненной пашни серых лесных почв, уплотненной пашни черноземов и каштановых почв соответственно 0,000398; 0,0039; 0,0101; 0,075; 1,10).

Как видно из уравнения (6) коэффициент стока талых вод в сильной степени зависит от снегозапасов, влажности мерзлого слоя почвы и его глубины. Это уравнение также имеет ряд недостатков. Во-первых, при отсутствии снега возможен сток. Это противоречит здравому смыслу. Во-вторых, по уравнению получается, что чем больше глубина промерзания, тем больше сток. Это не так, на что указывается в работах А. Т. Барабанова, Б. А. Апполова, В. Д. Комарова [38, 90]. И в-третьих, влажность почвы определяется в слое, равном глубине ее промерзания. В этом нет необходимости, достаточно определить ее до глубины 30-50 см. Вовлечение большей глубины (а глубина промерзания почвы бывает до 150-200 см) приводит к сильному варьированию влажности почвы и к большой ошибке при выявлении связи стока талых вод с природными факторами и его прогнозировании.

В. Е. Водогрецкий с соавторами [100] предлагает оценку изменения поверхностной составляющей речного стока осуществлять на основании зависимости

$$\alpha = f(U_t, I), \quad (7)$$

где  $\alpha$  – коэффициент склонового весеннего стока;  $U_t$  – показатель, характеризующий степень увлажненности в метровом слое и промерзаемости почвогрунтов в период, предшествующий стоку;  $I$  – уклон склона.

В качестве значения  $U_t$  приняты произведения суммарных влагозапасов  $U$  в слое 100 см на сумму отрицательных значений температуры воздуха  $\sum(-t)$  за период от начала устойчивого перехода температуры воздуха через  $0^\circ\text{C}$  до 1 января.

Зависимость (7) не может правильно отражать связь поверхностного стока с природными факторами по следующим причинам. Во-первых, в уравнении не учитываются снегозапасы, хотя известно, что они сильно влияют на сток и коэффициент стока. Во-вторых, произведение влагозапасов на сумму отрицательных температур (индекс  $U_t$ ) не может отражать уровень водопроницаемости почв. Известно, что снег хорошо изолирует почву и состояние ее часто не зависит от температуры воздуха, т. е. при большой сумме отрицательных температур воздуха почва может остаться талой и сохранить впитывающую способность на высоком уровне. В-третьих, от уклона поверхностный сток талых вод почти не зависит [5, 6, 101]. Г. П. Сурмач [5] писал, что "в отношении влияния уклона на сток талых вод мы, как и М. И. Львович и др., считаем, что оно весьма незначительно или вовсе отсутствует. Такой вывод обосновывается следующими соображениями: во-первых, интенсивность впитывания талых вод почвой мало зависит от нанорельефа поверхности, наличия травостоя и других вышеуказанных факторов, так как роль основного фактора, обеспечивающего контакт воды с почвой (ее затопление), выполняет снежный покров; во-вторых, при отсутствии снежного покрова вследствие пониженной инфильтрационной способности мерзлой почвы уклон также очень слабо влияет на величину стока".

П. А. Шеппель [102] на основании математической обработки 25-летнего ряда наблюдений получил следующие уравнения расчета притока паводковых вод  $W_n$  к каскаду водохранилищ Волжско-Камского бассейна в зависимости от максимальных снегозапасов  $h$ :

$$W_n = 14,7 \sqrt{h}, \text{ км}^3; \quad (8)$$

$$W_n = 0,94h + 54, \text{ км}^3. \quad (9)$$

Из уравнений (8), (9) видно, что поверхностный сток с бассейна Волги находится в прямой связи со снегозапасами, т. е. чем больше снега, тем больше сток. Это противоречит многочисленным данным. Сток зависит не только от снегозапасов, но и от других факторов, которые находятся в сложном взаимодействии.

Д. А. Бураков и О. С. Литвинова [103], анализируя роль факторов в формировании речного стока, отмечают, что в районах с глубоким промерзанием почвы влияние многолетней изменчивости глуби-

ны промерзания не сказывается на колебаниях потерь стока весеннего половодья по годам. Важным фактором формирования талого стока в этих районах является осеннее увлажнение бассейнов.

О. Н. Урбанова и Д. А. Семанов [104], разрабатывая прогноз притока воды в пруды Татарии, отмечают, что часто при высоких снегозапасах сток половодья может быть низким и, наоборот, при небольших – очень высоким. Причинами такого несоответствия они считают сложившуюся к началу снеготаяния метеорологическую обстановку и различные по величине потери воды на испарение и фильтрацию. Поэтому при прогнозировании стока, по мнению авторов этого прогноза, кроме данных о снегозапасах на водосборе, необходимо учитывать сведения о ходе среднесуточных температур воздуха, об осеннем и весеннем (перед паводком) увлажнении почвы, об осадках, выпадающих в период снеготаяния, о промерзаемости почвы для определения потерь на фильтрацию.

С. А. Двинских, А. Б. Китаев, А. В. Михайлов [105], изучая многолетнюю динамику изменения климатических факторов, выявили, что наиболее отдаленным признаком высокого половодья является необычно теплая и дождливая осень и запас снеговой воды. Однако, как отмечают авторы, в 1979 г. запас воды в снеге в 1,5 раза превышал норму, а наводнения не произошло. Они считают, что анализ всех факторов, вызывающих наводнения, пока не позволяет построить модель их формирования из-за противоречивости результатов.

О. В. Гагаринова [106] исповедует ландшафтно-гидрологический подход к исследованию природных факторов, оказывающих влияние на формирование речного стока. Она использует целый ряд физико-географических параметров: геологическое строение, экспозицию склонов, средний уклон водосбора, густоту речной сети, лесистость территории, заболоченность и т. д.

На подходах Гидрометцентра России к прогнозам стока остановимся подробнее, так как по его прогнозам осуществляется попуск весеннего паводка на Волжско-Камском каскаде водохранилищ.

По В. М. Мухину [107], "объем весеннего половодья (притока воды в водохранилище) определяется по многим постоянным и переменным факторам. В основе методов прогноза объема воды за половодье лежат различные формы его зависимостей от стокоформирующих факторов, одна часть из которых непосредственно измеряется, другая – рассчитывается и еще часть служит лишь косвенными характеристиками

первых. К первым относятся запасы воды в снежном покрове и ледяной корке на почве, влажность того или иного слоя почвы и ее глубина промерзания, осадки, характеристики почвы – прежде всего ее водопроницаемость, температура и дефицит влажности воздуха, которые определяют интенсивность таяния снега и испарение как с его поверхности, так и с поверхности почвы, освободившейся от снега. Ко вторым относятся постоянные характеристики водосборов: размеры, конфигурация бассейна, уклоны его поверхности, рельеф, почвенный состав и растительный покров (залесенность), озерность и заболоченность". Косвенными показателями стокоформирующих факторов, определяющих объем половодья, могут служить те или иные характеристики циркуляции атмосферы, температура поверхности океанов в энергоактивных районах, временные автокорреляционные функции многолетнего ряда наблюдений за объемами половодий и др.

В основу долгосрочных прогнозов и расчетов стока равнинных рек В. М. Мухиным положены 3 основных метода: водно-балансовый, физико-статистический и метод, основанный на математических моделях формирования талого стока на равнинах. Такие модели включают расчет накопления запасов воды в снежном покрове и процесса его таяния, расчет влажности, глубины промерзания почвы, а также процесса стекания воды по одному или нескольким относительным водоупорам.

Важнейшим фактором весеннего половодья, по его мнению, является снежный покров, характеризуемый величиной запасов воды в нем, величиной покрытой им площади (%) и его распределением по территории.

"Другим важнейшим фактором формирования половодья на реках, – пишет В. М. Мухин, – является водопоглотительная способность почвы, которая зависит от глубины промерзания почвы, ее влажности и температуры, интенсивности поступления талой воды на поверхность почвы, которая, в свою очередь, зависит от дружности весны. Чем медленнее при прочих равных условиях происходит таяние снега, тем больше почва может впитать и профильтровать талой воды, и наоборот".

Глубина промерзания  $l_i$  зависит от зимней температуры воздуха и толщины снежного покрова и выражается через сумму средних декадных значений температуры воздуха  $\Theta$  и высоту снега  $h$  по уравнению

$$l_i = f(\sum_{i=1}^{i=n} \alpha_i (h)\Theta_i) \alpha_i (h)\Theta_i, \quad (10)$$

где  $\alpha_i = \exp(-0,39h_i)$ ;  $h$  – толщина снежного покрова, см;  $\Theta$  – сумма

средних декадных значений температуры воздуха;  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от толщины снежного покрова;  $i$  – номер точки бассейна или его части.

Уравнение (10) не может характеризовать глубину промерзания почвы, а тем более нельзя рассчитывать ее. Снег хорошо изолирует почву и состояние ее часто не зависит от температуры воздуха, т. е. при большой сумме отрицательных температур почва может остаться талой и сохранить впитывающую способность на высоком уровне.

Как считает В. И. Мухин, "влажность почвы нередко является более сильным фактором формирования половодья, чем глубина промерзания. На влажность же почвы приходится больший процент потерь стока, так как при переувлажненной почве величина глубины промерзания практически теряет свое влияние на формирование объема половодья при одном и том же запасе воды в снежном покрове. Наибольшее значение для точности гидрологических прогнозов имеют запасы влаги в почве перед началом снеготаяния. Однако наибольшая часть наблюдений за ней проводится на агрометеорологических станциях в зависимости от посевных площадей. В связи с этим гидрологи используют осеннюю влажность почвы и косвенные показатели влагоемкости всего бассейна, приуроченные, как правило, к осеннему периоду".

Учет такого большого количества факторов, одни из которых не играют существенной роли в формировании стока, а другие (глубина промерзания, влажность почвы и т. д.) рассчитываются по косвенным показателям, приводит к большим ошибкам.

В. М. Мухин также отмечает, что "учесть все факторы, определяющие величину влажности почвы в данный момент для точки, практически невозможно". В связи с этим в основном используются методы расчетов косвенных показателей влажности почвы к осени, а затем производятся вычисления прибавки к ней в период оттепелей по уравнению

$$W = X_n + (X - Z)_k + W_o, \quad (11)$$

где  $W$  – увлажнение почвы;  $X$  – осадки;  $Z$  – испарение;  $n$  – количество суток, за которые суммируются осадки до даты наступления морозов;  $k$  – количество суток, за которые вычислена разность между осадками и испарением (обычно 2-4 месяца);  $W_o$  – начальное значение увлажнения почвы.

Это приводит к значительному снижению точности прогноза, так как расчеты основаны на косвенных показателях, а не непосредственных определениях влажности почвы.

Он пишет, что "известно довольно большое число способов реализации уравнения водного баланса бассейна реки. Выбор способа зависит от ряда обстоятельств, определяемых наличием тех или иных данных наблюдений, их количеством, длиной их ряда. На выборе способа также сказываются физико-географические условия в бассейне и, в конечном счете, концептуальные оценки исследователя соотношений между факторами стока и степенью их воздействия на элементы половодья".

Для прогноза стока талых вод В. М. Мухин использует следующее уравнение:

$$Y(j) = S(j) - P(j)th[S(j)/P(j)], \quad (12)$$

где  $th$  – гиперболический тангенс;  $S(j)$  – запасы воды в снежном покрове на момент составления прогноза в  $j$ -м году, равный  $\alpha_1 S(j) \alpha_2 X(j, k) \exp(-\alpha_3 k)$ ,  $X(j, k)$  – количество осадков в  $k$ -м отрезке времени, на который разделен период от даты составления прогноза до конца второго квартала;  $P(j)$  – характеристика потерь стока, равная  $\alpha_4 \exp\{-\alpha_5 W(j)[1 + \alpha_6 L(j)]\}$ ,  $W(j)$  – характеристика влагозапасов в бассейне накануне составления прогноза,  $L(j)$  – глубина промерзания почвы,  $\alpha_1, \dots, \alpha_6$  – параметры, величины которых определяются путем применения оптимизационных процедур.

В этих подходах применен балансовый метод. Величина стока равна разнице между запасами воды в снеге и потерями ее на впитывание  $P(j)$  (объем воды, просочившейся в почву). Самым сложным является определение потерь воды на впитывание. По уравнению (12) они зависят от запасов воды в почве и глубины ее промерзания. При этом, чем больше запасы влаги в почве, тем больше сток, и чем больше глубина промерзания, тем больше сток.

Недостатки подхода Гидрометцентра к расчету стока следующие:

используется очень много факторов, часть из которых не играют существенной роли в формировании стока, но способствуют значительному увеличению ошибки его расчета;

часть факторов стока (глубина промерзания, влажность почвы и др.) рассчитываются по косвенным показателям, а не определяются непосредственно в поле. Например, глубина промерзания определяется по сумме отрицательных температур и высоте снега. Это может приводить к большим ошибкам. Если снежный покров установился на талой почве, то она останется талой, какой бы ни была сумма отрицательных температур. Для расчета стока берется предзимняя влажность почвы и затем делается расчетным путем поправки на ее изменение в течение зимы за счет оттепелей. Это тоже приводит к большим ошибкам;

увлажнение почвы также рассчитывается по косвенным показателям.

Г. П. Калинин и З. С. Дарман (по А. Н. Гельфану [108]) предложено определять величины максимального расхода стока весеннего половодья разной вероятности превышения по уравнению

$$Q_{max} = Q_0 + A \frac{S}{\tau}, \quad (13)$$

где  $Q_{max}$  – максимальный расход стока весеннего половодья,  $Q_0$  – средний расход грунтового питания в весенний период,  $A$  – площадь водосбора,  $S$  – максимальные запасы воды в снеге,  $\tau$  – продолжительность половодья.

Из уравнения (13) видно, что максимальный расход стока весеннего половодья прямо пропорционален запасам воды в снеге и обратно пропорционален продолжительности половодья, т. е. чем снеготпасы больше, тем больше сток, и чем больше продолжительность половодья, тем меньше максимальный расход стока весеннего половодья. Это не так. На самом деле связь стока с запасами воды в снеге более сложная, а с продолжительностью половодья ее совсем нет, что будет показано ниже.

Анализ уравнений (3), (13) прогноза стока талых вод показал, что при разработке прогноза по применяемым в настоящее время методикам либо используется один фактор (например снеготпасы), либо десяток и более факторов. Ни то, ни другое неприемлемо. Из этих уравнений видно, что сток в основном зависит от снеготпасов, хотя в них и учитывается водопоглотительная способность почвы через глубину промерзания, ее увлажнение и другие факторы, но, судя по коэффициентам, эти показатели либо играют незначительную роль, либо очень большую.

Таким образом, в литературе много данных по влиянию природных факторов на сток талых вод. Однако эти факторы рассматриваются в основном без учета совокупности их влияния. Причем взгляды разных исследователей в значительной степени различаются и даже бывают противоположными. Это объясняется тем, что ими использовались разные подходы, концепции и, главное, разные методы исследований. Все имеющиеся в литературе результаты исследований, обобщения и анализа связи стока талых вод с природными факторами, а также методы его прогнозирования в настоящее время не дают возможности однозначно определить роль тех или иных факторов в формировании стока, дать точный его прогноз и выявить пути его регулирования эрозионно-гидрологических процессов. Нужен новый методический подход к анализу имеющегося материала и получению дополнительных данных.



Во ВНИАЛМИ (сейчас ФНЦ агроэкологии РАН) имеется очень большой уникальный экспериментальный материал, которого нет ни у одного научного учреждения в стране и в мире. Начиная с 1958 г. в институте и его опытной сети были организованы обширные исследования по изучению процессов формирования стока талых вод с целью разработки противоэрозионных мероприятий. Эти работы проводились в разных природных зонах: лесостепи, степи, полупустыне. Исследования проводились и проводятся до настоящего времени в Орловской, Самарской и Волгоградской обл. Анализ и обобщение результатов исследований ВНИАЛМИ, а также материалов других научных учреждений позволили получить новые важные теоретические и практические выводы. В результате теоретических и экспериментальных исследований впервые в мире нами был сформулирован и обоснован *закон лимитирующих факторов поверхностного стока* и разработана методика его высокоточного прогноза. Анализ данных показал, что на величину поверхностного стока существенно влияют только 3 фактора: снеготаяния, влажность почвы и глубина ее промерзания. Всеми остальными факторами можно пренебречь. Даже продолжительность (интенсивность) снеготаяния не влияет на величину стока. Рассмотрим эти материалы более подробно.

*Влияние природных факторов на формирование стока  
на серых лесных почвах лесостепи ЦРНЗ*

В этой зоне для анализа использовались материалы Е. А. Гаршичева (1959, 1960, 1964 и 1966 гг.); А. Т. Барабанова, М. М. Ломакина, Е. Я. Тубольцева (1967-1975 гг.); Н. Е. Петелько (1976-1979 гг.); В. П. Борца (1980 г.); А. И. Петелько (1981-2016 гг.), В. П. Борца (1981-1984 гг.); А. Т. Барабанова, Ю. Н. Коблева, А. И. Петелько, В. А. Ивановой (1985-2016 гг.), полученные за 57 лет наблюдений на Новосильской ЗАГЛОС им. А. С. Козменко – филиале ФНЦ агроэкологии РАН (Орловская обл.). Наиболее мощное воздействие на формирование стока оказывали снеготаяния, глубина промерзания и влажность почвы. Рассмотрим их влияние.

*Запасы воды в снеге.* Очень часто объем поверхностного стока связывают с запасами воды в снеге на водосборе (со снеготаяниями). Чем больше снега, тем больший ожидается сток. Создаются противоаварийные комиссии, они осуществляют большие подготовительные работы и расходуют впустую очень много средств – материальных и финансовых.

Прямой зависимости поверхностного стока талых вод от снеготпасов, т. е. больше снега – больше сток, нет (табл. 3.1). В многоснежные зимы (снеготпасы свыше 100 мм) сток на рыхлой пашне в отдельные годы (1959, 1967) формировался очень большой – 108 и 146 мм при снеготпасах 146 и 186 мм, а в другие годы (1968, 1981) при снеготпасах 162 и 169 мм стока совсем не было. Так, из 25 многоснежных зим 11 лет сток не сформировался, а в остальные годы он был средний и очень большой. В малоснежные зимы при снеготпасах меньше 100 мм сток не сформировался 13 лет из 32, три года он был незначительный, а в остальные годы величина его была на среднем уровне при снеготпасах, варьирующих от 22 до 97 мм. Так, при запасах воды в снеге 86 и 91 мм сток не сформировался, а при снеготпасах 70 и 96 мм он был соответственно 51 и 96 мм. На уплотненной пашне величина стока также по годам колебалась независимо от снеготпасов. В многоснежные зимы, например, в 1959 г. при запасах воды в снеге 135 мм сток был 106 мм, в 1979 г. при таких же снеготпасах он был лишь 45 мм, в 1960 г. при снеготпасах в 150 мм величина стока составила 117 мм, а при снеготпасах 102-115 мм (2005, 2006, 2009 гг.) сток вообще не сформировался. В малоснежные зимы при запасах воды в снеге 91 и 97 мм стока не было, а при снеготпасах 49 мм сформировался сток 44 мм. В многоснежные годы сток отсутствовал 3 года из 24, а в малоснежные – 7 лет из 21.

Парный корреляционный анализ связи стока со снеготпасами показал отсутствие прямой зависимости его от запасов воды в снеге. Коэффициент корреляции на рыхлой пашне составил 0,13, стандартная ошибка 38,4. На уплотненной пашне эти показатели были соответственно 0,43 и 35,4. Однако это не значит, что от снеготпасов величина стока не зависит. Средняя величина стока в многоснежные и малоснежные годы сильно различается. На рыхлой пашне в многоснежные годы она была 30 мм, а в малоснежные – 11 мм. На уплотненной пашне эти показатели были соответственно 45 и 20 мм, т. е. снеготпасы влияют на сток в значительной степени, но во взаимодействии с другими факторами – влажностью почвы и глубиной ее промерзания. Это будет рассмотрено ниже.

*Глубина промерзания почвы.* Связь стока с глубиной промерзания почвы следующая. Если почва талая или она промерзла не глубже 50 см (табл. 3.2), сток не формируется независимо от уровня увлажнения почвы, снеготпасов и продолжительности снеготтаяния. С такими условиями промерзания почвы были 34 года из 52 (1966, 1968, 1975, 1977, 1978, 1980, 1981-1983, 1985, 1989, 1992, 1995, 1997-2002, 2004-2016). Другие

факторы изменялись в широком диапазоне. Запасы воды в почве (в слое 0-50 см) в эти годы колебались от 123 до 248 мм, в снеге – от 35 до 177 мм, а продолжительность снеготаяния – от 6 до 29 дней, т. е. при варьировании всех факторов в широком диапазоне сток талых вод при глубине промерзания меньше 50 см не формируется. При промерзании почвы свыше 50 см формируется сток разной величины, он зависит не от дальнейшего увеличения глубины промерзания почвы, а от уровня ее увлажнения и запасов воды в снеге.

Таблица 3.1

**Снегозапасы и поверхностный сток талых вод  
на серых лесных почвах лесостепи, Орловская обл.**

Год	Снегозапасы, мм	Сток, мм	Год	Снегозапасы, мм	Сток, мм
рыхлая пашня			уплотненная пашня		
1	2	3	4	5	6
<i>Многоснежная зима</i>					
1959	146	108	1959	135	106
1960	136	81	1960	150	117
1963	116	61	1963	115	71
1964	121	58	1964	113	91
1967	186	146	1966	105	3
1968	169	0	1967	186	186
1970	192	83	1968	145	26
1971	154	52	1970	221	94
1976	137	0	1977	149	20
1977	138	12	1978	177	20
1979	128	37	1979	135	45
1980	135	29	1980	153	42
1981	162	0	1981	132	15
1982	100	2	1982	100	5
1985	128	0	1985	119	2
1987	149	27	1986	175	36
1988	118	21	1987	160	40
1994	139	40	1988	123	42
1995	114	0	1994	142	50
1999	144	0	1995	118	4
2005	115	0	2003	152	71
2006	137	0	2005	115	0
2010	106	0	2006	111	0

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5	6
2011	122	0	2009	102	0
2013	122	0			
Среднее	137	30	Среднее	139	45
<i>Малоснежная зима</i>					
1961	32	7	1961	22	12
1962	22	13	1962	23	21
1965	70	51	1965	60	46
1966	77	4	1969	80	51
1969	66	24	1971	81	39
1972	56	15	1972	56	15
1973	62	29	1973	53	31
1974	50	29	1974	49	44
1975	86	0	1975	89	0
1978	91	0	1976	89	0
1983	97	2	1983	91	27
1984	41	12	1984	67	18
1986	77	33	1989	52	0
1989	55	0	1990	49	25
1990	44	23	1991	89	52
1991	84	34	1992	85	0
1992	88	0	1993	45	14
1993	42	17	1996	89	26
1996	81	29	2004	97	0
1997	56	1	2007	62	0
1998	48	0	2008	83	0
2000	57	0	-	-	-
2001	81	0	-	-	-
2002	58	0	-	-	-
2003	96	46	-	-	-
2004	86	0	-	-	-
2007	79	0	-	-	-
2008	76	0	-	-	-
2009	97	0	-	-	-
2012	86	0	-	-	-
2014	35	0	-	-	-
2015	58	0	-	-	-
Среднее	67	11	Среднее	67	20

Таблица 3.2

**Показатели стока талых вод и факторов, обуславливающих его формирование на серых лесных почвах лесостепи, Орловская обл.**

Год	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промер- зания почвы, см	Продол- житель- ность снеготая- ния, сут.	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промер- зания почвы, см	Продол- житель- ность снеготая- ния, сут.
		в поч- ве	в сне- ге				в поч- ве	в сне- ге		
рыхлая пашня						уплотненная пашня				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Годы без стока</i>										
1966	0	157	108	0	18	1	189	101	0-10	20
1968	0	123	150	29	11	0	124	161	0-8	11
1975	0	154	86	30	14	-	-	-	-	14
1976	0	123	113	130	8	-	-	-	-	-
1977	2	132	114	30	22	0	172	174	45	22
1978	0	201	177	45	29	0	163	194	50	29
1980	0	153	158	30	13	0	152	153	35	13
1981	0	172	104	38	18	0	233	122	0	18
1982	0	184	101	50	23	-	-	-	-	-
1983	0	166	111	40	13	-	-	-	-	-
1984	3	129	51	120	18	-	-	-	-	-
1985	0	173	120	10	10	2	166	113	10	10
1989	0	168	41	0	11	-	-	-	-	-
1992	0	169	88	17	14	0	167	85	0-17	14
1995	0	240	114	25	20	0	165	121	25	20
1997	1	247	55	45	8	-	-	-	-	-
1998	0	197	48	20	10	-	-	-	-	-
1999	0	178	144	0	28	-	-	-	-	-
2000	0	166	57	20	21	-	-	-	-	-
2001	0	210	80	0-5	24	-	-	-	-	-
2002	0	185	58	8	26	-	-	-	-	-
2004	0	220	86	5-20	6	0	258	97	15-20	6
2005	0	166	115	1-12	15	0	196	115	26	15
2006	0	205	137	51	8	-	-	-	-	-
2007	0	201	79	0	15	-	-	-	-	-
2008	0	184	76	25	9	-	-	-	-	-
2009	0	209	97	22	-	-	-	-	-	-
2010	0	192	89	35	35	-	-	-	-	-
2011	0	156	122	0	15	-	-	-	-	-
2012	0	160	86	18	9	-	-	-	-	-
2013	0	171	123	22	10	-	-	-	-	-

Продолжение табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2014	0	203	35	0-19	5	-	-	-	-	-
2015	0	172	58	18		-	-	-	-	-
<i>Годы со стоком</i>										
1964	52	151	211	60	10	-	-	-	-	-
1967	150	248	196	76	20	55	156	127	80	20
1969	22	175	52	182	23	46	173	77	165	23
1970	82	183	191	137	23	96	171	203	75	23
1971	52	165	154	100	18	42	188	74	100	18
1972	22	166	60	160	22	15	157	37	100	22
1973	31	190	70	97	11	38	168	63	100	11
1974	50	193	64	124	3	44	216	49	104	3
1979	41	174	137	68	23	64	167	132	80	23
1986	32	175	80	110	11	25	180	77	110	11
1987	33	152	153	69	14	42	118	149	69	14
1988	21	137	118	60	10	29	161	132	60	10
1990	21	190	44	68	5	-	-	-	-	-
1991	34	172	84	84	13	52	214	90	84	13
1993	17	174	42	83	12	14	151	45	83	12
1994	37	156	136	68	14	50	269	142	68	14
1996	29	164	81	80	15	25	153	89	80	15
2003	26	208	96	52	17	71	230	152	110	17

В годы с промерзанием почвы на глубину 52-182 см (1964, 1967, 1969-1974, 1979, 1986-1988, 1990, 1991, 1994, 1996, 2003 гг.) всегда формировался сток и величина его колебалась от 17 до 150 мм вне зависимости от глубины промерзания почвы. При глубине ее промерзания 182 см сток был 22 мм, при промерзании на 76 см сформировался сток 150 мм, при промерзании на глубину 165 см сток составил 46 мм, при глубине 80 см – 55 мм и т. д. (см. табл. 3.2). Парный коэффициент корреляции связи стока с глубиной промерзания составил всего 0,04, а стандартная ошибка – 32,2. В условиях глубокого промерзания почвы сток формируется в зависимости от запасов воды в почве и снеге. В почве запасы воды в эти годы колебались от 151 до 248, а в снеге – от 42 до 211 мм.

*Влажность почвы.* Влагозапасы в почве как фактор стока следующим образом воздействуют на него при глубине ее промерзания свыше 50 см. В годы, когда запасы воды в слое почвы 0-50 см менее 123-129 мм (1968, 1976, 1984 гг.), стока не было независимо от снего-

запасов и глубины промерзания почвы. Запасы воды в снеге изменялись в широком диапазоне (51-113 мм), а глубина промерзания была большая (120-130 см). То есть, если в почве перед снеготаянием запасы влаги низкие, то даже при очень глубоком промерзании и больших снеготаяниях она сохраняет высокую впитывающую способность и сток не формируется. Таким образом, лимитирующим фактором формирования стока в эти годы был уровень увлажнения почвы. А в 1968 г. при низком уровне увлажнения (123 мм) почва была еще и талая и лишь местами промерзала до 20-30 см. В том году лимитирующими были два фактора: увлажнение почвы и глубина промерзания. Поэтому сток также не формировался.

Множественный корреляционно-регрессионный анализ связи стока на рыхлой пашне  $U_3$  с запасами влаги в почве  $W_n$  и снеге перед снеготаянием  $W_c$  при промерзании почвы на глубину свыше 50 см позволил получить следующее уравнение регрессии ( $R = 0,93$ ,  $M_{yx} = 12,4$ ):

$$U_3 = -141 + 0,80W_n + 0,38W_c. \quad (14)$$

Коэффициенты уравнения и график на рис. 3.3а показывают, что сток в большей степени зависит от увлажнения мерзлой почвы, чем от запасов воды в снеге.

Анализ связи стока на уплотненной пашне с указанными природными факторами показал, что при глубине промерзания почвы до 50 см сток обычно не формируется. Таких лет было 11 из 27 исследуемых. Запасы воды в почве в эти годы колебались от 124 до 269 мм, а снеготаяния – от 97 до 194 мм.

В годы с глубиной промерзания почвы свыше 50 см и запасами воды в ней (в слое 0-50 см) более 156 мм величина стока колебалась от 10 до 96 мм. Связь стока с глубиной промерзания почвы в эти годы также отсутствует. Парный коэффициент корреляции составляет всего 0,13, а стандартная ошибка 42,5.

Для выявления связи стока  $U_n$  с запасами воды в почве  $W_n$  и снеге  $W_c$  был применен множественный корреляционно-регрессионный анализ и получено уравнение регрессии ( $R = 0,81$ ,  $M_{yx} = 13,3$ )

$$U_n = -16,3 + 0,15W_n + 0,34W_c. \quad (15)$$

Значение коэффициентов уравнений (14), (15) и рис. 3.3б свидетельствуют о том, что более важную роль в формировании стока играют запасы воды в снеге, чем увлажнение мерзлой почвы.

Расчет стока по уравнениям (14), (15) дает довольно близкую сходимость с экспериментальными данными (табл. 3.3).

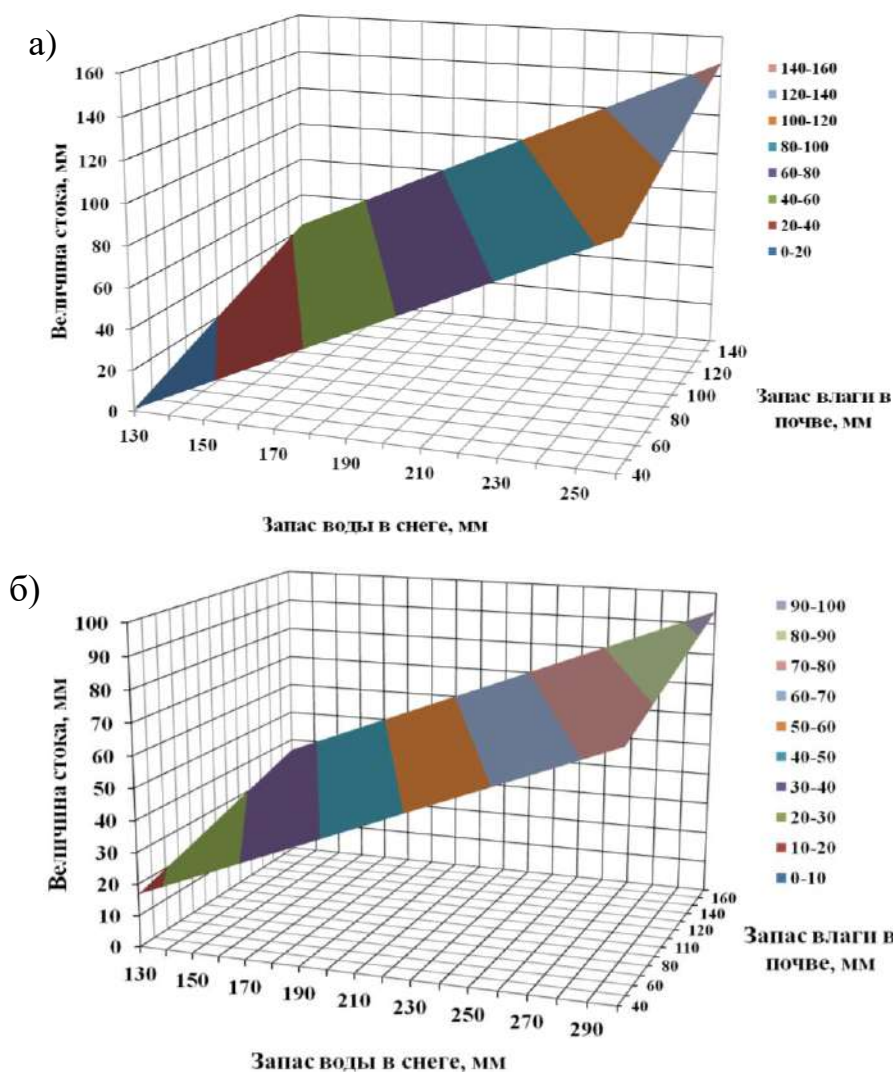


Рис. 3.3. Трехмерная модель связи стока талых вод с запасами воды в почве и снеге в лесостепи (а – на рыхлой, б – на уплотненной пашне)

Таким образом, обобщение и анализ материалов по влиянию на сток талых вод природных факторов в лесостепи Центрального района Нечерноземной зоны показали, что важнейшими факторами формирования стока являются снеготаяния, увлажнение и глубина промерзания почвы перед снеготаянием. Влияние этих факторов на сток происходит в сложном взаимодействии. Снеготаяния напрямую не влияют на сток, но от их количества зависит его величина и связано это с глубиной промерзания и увлажнением почвы. Глубина промерзания специфически влияет на формирование стока. Если почва талая или она промерзла на глубину не более 50 см, то сток не формируется, так как она обладает высокой впитывающей способностью, обеспечивающей поглощение всей снеговой воды. При промерзании почвы свыше 50 см сток совсем не зависит от его глубины, он формируется в зависимости от запасов влаги в верхнем (0-50 см) слое почвы и запасов воды в снеге.



Таблица 3.3

**Экспериментальные и рассчитанные по уравнениям (14), (15)  
величины стока на серых лесных почвах лесостепи, мм**

Год	Экспери- ментальные	Рас- четные	Отклонения		Год	Экспери- ментальные	Рас- четные	Отклонения	
			мм	%				мм	%
рыхлая пашня					уплотненная пашня				
1964	52	60	8	15	1964	-	-	-	-
1967	150	131	-19	13	1967	55	50	-5	9
1969	22	19	-3	14	1969	46	36	-10	22
1970	82	78	-4	5	1970	96	79	-17	18
1971	52	49	-3	6	1971	-	-	-	-
1972	22	15	-7	32	1972	15	20	5	33
1973	31	38	7	22	1973	38	30	-8	21
1974	50	37	13	26	1974	-	-	-	-
1979	41	50	9	22	1979	64	54	-10	16
1986	32	29	-3	9	1986	-	-	-	-
1987	33	39	6	18	1987	-	-	-	-
1988	21	14	-7	33	1988	29	53	24	83
1990	21	28	7	33	1990	-	-	-	-
1991	34	29	5	15	1991	52	47	-5	10
1993	17	14	-3	18	1993	14	22	8	57
1994	37	36	-1	3	1994	50	72	22	44
1996	29	22	-7	24	1996	25	37	12	48
2003	46	61	15	33	2003	71	70	-1	1

*Влияние природных факторов на формирование стока  
на серых лесных почвах и черноземах ЦЧО*

Для анализа связи стока талых вод с природными факторами (запасы воды в снеге и почве в слое 0-50 см перед снеготаянием, глубина промерзания почвы и продолжительность снеготаяния) на серых лесных почвах и черноземах ЦЧО были использованы материалы М. М. Ломакина [109]; Н. Ф. Гончарова; В. А. Порядина [110]; А. И. Крупчатникова, А. Т. Барабанова, В. С. Ананьева, Н. Г. Сапрыкина, Н. Г. Перелейводы [111], Е. А. Гаршинева, Т. Я. Зарудной [65] (табл. 3.4, 3.5). К сожалению, в этой зоне не удалось увеличить ряды наблюдений за стоком, так как были прекращены регулярные исследования закономерностей его формирования. Полученные материалы были опубликованы автором [63]. В настоящую работу мы включаем их для того, чтобы у читателя сложилось более полное представление о влиянии природных

факторов на сток талых вод во всех зонах Русской равнины европейской части Российской Федерации. Множественный корреляционно-регрессионный анализ связи стока с рыхлой и уплотненной пашни с перечисленными выше факторами как на черноземах, так и на серых лесных почвах показал, что с продолжительностью снеготаяния она слабая (парные коэффициенты корреляции колеблются от  $-0,40$  до  $0,64$ ). Причины этого были проанализированы выше.

Таблица 3.4

**Показатели стока с зяби и факторов, обуславливающих его на серых лесных почвах Курской обл.**

Год	Сток, мм	Фактор			
		запас воды, мм		глубина промерзания, см	продолжительность снеготаяния, сут.
		в почве (0-50 см)	в снеге		
1972	4	167	16	156	3
1973	22	231	44	95	5
1974	24	197	76	100	9
1975	0	220	48	35	15
1977	25	216	130	35	15
1978	81	221	100	100	16
1980	38	189	101	92	4

С глубиной промерзания почвы связь стока сложная. При отсутствии или небольшом промерзании серой лесной почвы сток отсутствует. При глубине замерзания почвы до 35 см и небольших снегозапасах (48 мм) стока с зяби в 1975 г. не было, а при такой же глубине промерзания и снегозапасах 130 мм в 1977 г. величина его составила 25 мм. Связь стока с глубиной промерзания в диапазоне 47-156 см слабая (коэффициенты корреляции колебались от  $0,22$  до  $-0,57$ ), т. е. связь даже была отрицательной, хотя по существу, если она есть, то она должна быть только положительной.

Таким образом, более мощное воздействие на формирование стока  $U$  оказывало увлажнение почвы в слое 0-50 см  $W_n$  и снегозапасы  $W_c$  перед снеготаянием. Поэтому мы провели корреляционно-регрессионный анализ связи стока с этими факторами и получили следующие уравнения связи:

на серой лесной почве (рис. 3.4а)

$$U_3 = -57 + 0,34W_n + 0,26W_c, (R = 0,61; M_{yx} = 0,26); \quad (16)$$

на типичном черноземе (рис. 3.4б, в)

$$Y_3 = -50 + 0,25W_n + 0,25W_c, (R = 0,92; M_{yx} = 0,05), \quad (17)$$

$$Y_n = -116 + 0,71W_n + 0,41W_c, (R = 0,74, M_{yx} = \pm 0,08), \quad (18)$$

где  $Y_3$  и  $Y_n$  соответственно сток с рыхлой и уплотненной пашни.

Таблица 3.5

**Показатели стока с рыхлой и уплотненной пашни  
и обуславливающих его факторов на черноземах Курской обл.**

Год	Сток, мм	Фактор			
		запас воды, мм		глубина про- мерзания, см	продолжительность снеготаяния, сут.
		в почве (0-50 см)	в снеге		
<i>Рыхлая пашня, склон южной экспозиции</i>					
1981	22	184	104	47	5
1982	33	246	80	76	12
1983	19	169	87	53	3
1984	0	180	28	106	16
1985	15	158	113	127	11
<i>Рыхлая пашня, склон северной экспозиции</i>					
1981	21	208	98	63	7
1982	20	186	75	78	4
1983	10	170	60	67	6
1984	2	172	57	119	18
1985	14	226	148	111	11
<i>Уплотненная пашня, склон южной экспозиции</i>					
1976*	3	106	128	92	3
1978	17	182	33	105	11
1979	58	212	75	81	14
1979*	73	187	140	86	10
1980	44	172	69	89	9
1981	55	188	87	62	8
<i>Уплотненная пашня, склон северной экспозиции</i>					
1979	77	182	89	77	9
1980	70	192	89	79	5
1981	52	202	88	50	7
1982	39	194	93	52	12

\*Данные получены на серых лесных почвах.

Графическая аппроксимация уравнений (16)-(18) приведена на рис. 3.4.

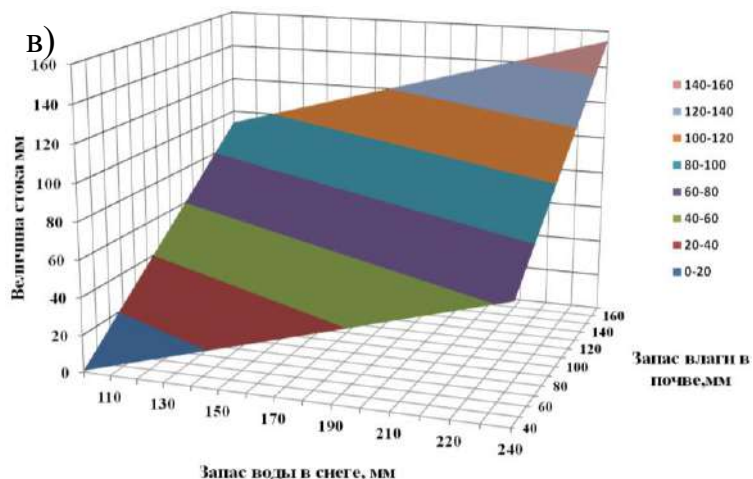
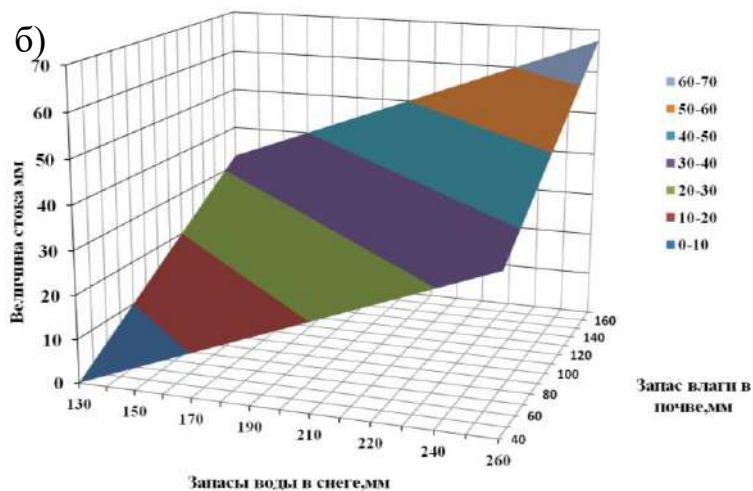
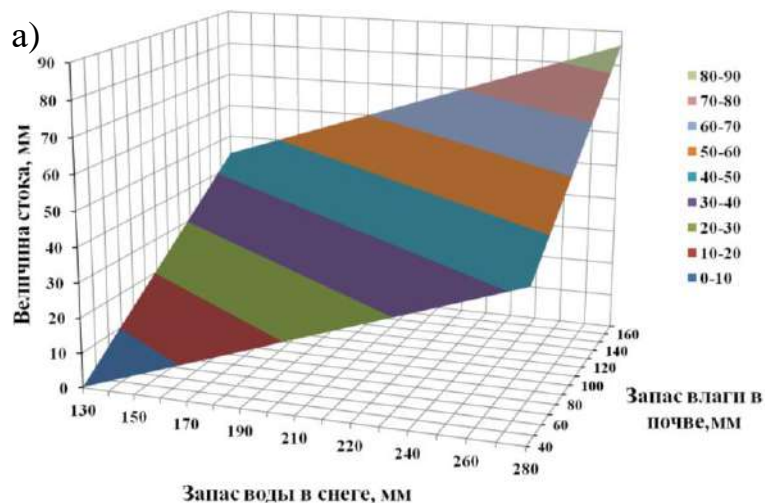


Рис. 3.4. Трехмерная модель связи стока талых вод с запасами воды в почве и снеге (а – на рыхлой пашне серых лесных почв ЦЧО; б – на рыхлой, в – на уплотненной пашне типичного чернозема ЦЧО)

Расчет стока по уравнениям регрессии (16)-(18) дает неплохую сходимость с экспериментальными данными (табл. 3.6).

Имеющиеся некоторые большие расхождения видимо связаны с относительно небольшими рядами наблюдений. Итак, важнейшими

природными факторами формирования поверхностного стока талых вод являются увлажнение почвы и снеготаяние перед снеготаянием.

Таблица 3.6

**Экспериментальные и рассчитанные по уравнениям регрессии (16)-(18) величины стока (мм) с рыхлой и уплотненной пашни на серых лесных почвах и типичных черноземах ЦЧО**

Год	Рыхлая пашня		Отклонение		Год	Уплотненная пашня		Отклонение	
	эксперимент.	расчетные	мм	%		эксперимент.	расчетные	мм	%
<i>Серая лесная почва, склон южной экспозиции</i>									
1972	4	4	0	0	1972	Не определяли			
1973	22	34	12	54	1973				
1974	24	30	6	25	1974				
1977	25	36	11	44	1977				
1978	81	44	-37	-46	1978				
1980	38	34	-4	-10	1980				
<i>Типичный чернозем, склон южной экспозиции</i>									
1981	22	22	0	0	1976*	3	12	9	300
1982	33	32	-1	-3	1978	17	27	10	58
1983	19	14	-5	-26	1979	58	65	7	12
1984	0	2	2	-	1979*	73	74	1	1
1985	15	18	3	20	1980	44	34	-10	-22
					1981	55	53	-1	-2
<i>Типичный чернозем, склон северной экспозиции</i>									
1981	21	26	4	19	1979	77	50	-27	-35
1982	20	15	-5	-25	1980	70	57	-13	-18
1983	10	8	2	20	1981	52	63	11	21
1984	2	7	5	250	1982	39	60	21	54

\*Данные получены на темно-серых лесных почвах.

В табл. 3.7 приведены материалы наблюдений научно-исследовательской гидрометеорологической обсерватории Каменная степь (вып. 1-23 за 1951-1986 гг.) в условиях обыкновенных черноземов Воронежской обл.

Корреляционно-регрессионный анализ связи стока талых вод с природными факторами (запасы воды в снеге и почве, глубина промерзания почвы, продолжительность снеготаяния) также показал слабую связь его с продолжительностью снеготаяния (коэффициенты корреляции  $R = 0,21$ ,  $M_{yx} = \pm 0,22$ ) и глубиной промерзания свыше 40 см

( $R = -0,01$ ,  $M_{yx} = 0,005$ ). Если почва талая, то сток не формируется. Связь же стока  $Y_3$  и  $Y_n$  с увлажнением верхнего 50-сантиметрового слоя почвы  $W_n$  и снегозапасами перед снеготаянием  $W_c$  выражается следующими уравнениями:

$$Y_3 = -40 + 0,19W_n + 0,38W_c, \quad (R_{W_nW_c} = 0,54, M_{yx} = \pm 0,21), \quad (19)$$

$$Y_n = -12 + 0,06W_n + 0,69W_c, \quad (R_{W_nW_c} = 0,91, M_{yx} = \pm 0,06). \quad (20)$$

Графическая аппроксимация уравнений (19), (20) приведена на рис. 3.5.

Расчет стока по уравнениям регрессии (19), (20) дает неплохую сходимость с экспериментальными данными (табл. 3.8).

Таблица 3.7

**Показатели стока с рыхлой и уплотненной пашни и обуславливающих его факторов на обыкновенных черноземах Воронежской обл.**

Год	Сток, мм	Фактор			
		запас воды, мм		глубина промерзания, см	продолжительность снеготаяния, сут.
		в почве (0-50 см)	в снеге		
<i>Рыхлая пашня</i>					
1952	68	166	81	70	21
1953	58	195	109	60	15
1954	4	188	27	100	16
1956	6	111	130	60	16
1968	35	143	120	50	12
1969	9	188	26	100	17
1981	11	188	78	40	7
1982	2	213	34	42	3
1983	9	175	42	46	5
1984	9	218	41	50	12
1985	24	211	101	40	12
<i>Уплотненная пашня</i>					
1953	92	178	112	80	13
1954	3	101	18	50	16
1956	70	94	133	60	20
1959	46	148	56	55	17
1964	84	169	116	64	15
1965	30	168	36	64	11
1969	15	149	23	72	29
1980	44	181	64	70	7

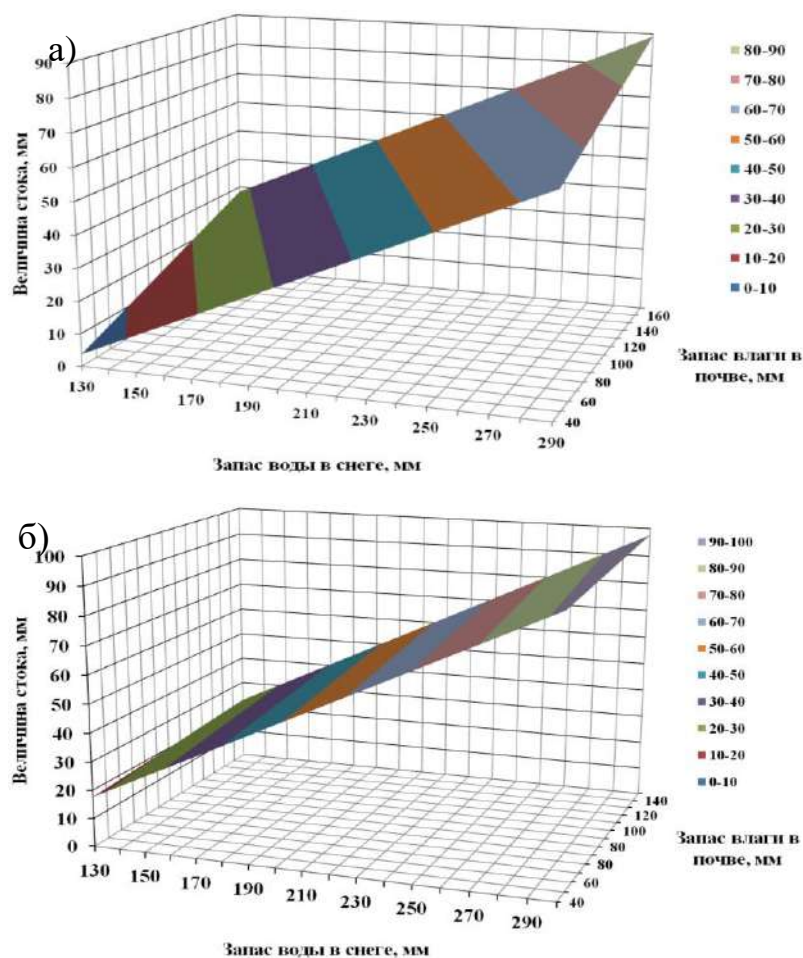


Рис. 3.5. Трехмерная модель связи стока талых вод с запасами воды в почве и снеге (а – на рыхлой, б – на уплотненной пашне обыкновенного чернозема ЦЧО)

Таблица 3.8  
**Экспериментальные и рассчитанные по уравнениям регрессии (19), (20) величины стока (мм) с рыхлой и уплотненной пашни на обыкновенных черноземах ЦЧО**

Год	Экспериментальные	Расчетные	Отклонения		Год	Экспериментальные	Расчетные	Отклонения	
			мм	%				мм	%
рыхлая пашня					уплотненная пашня				
1952	68	22	-46	-68	1953	92	84,0	-8,0	-9
1953	58	39	-19	-32	1954	3	0,4	-2,6	-87
1954	4	6	2	50	1956	70	74,0	4,0	6
1956	6	30	24	400	1959	46	39,0	-7,0	-15
1968	35	33	-2	-6	1964	84	84,0	0	0
1969	9	6	-3	-33	1965	30	31,0	1,0	3
1981	11	25	14	127	1969	15	17,0	2,0	13
1982	2	14	12	600	1980	44	53,0	9,0	20
1983	9	9	0	0					
1984	9	17	8	89					
1985	24	38	14	58					

*Влияние природных факторов на формирование стока  
на обыкновенных черноземах, каштановых  
и светло-каштановых почвах Поволжья*

На обыкновенных черноземах Поволжья при анализе роли природных факторов в формировании стока талых вод использованы материалы исследований И. И. Гункина, Ф. А. Абдульманова, А. В. Лапчука, полученные под руководством автора, данные Г. С. Боброва, В. И. Панова, полученные под руководством Г. П. Сурмача и автора.

Здесь мы рассматриваем влияние на формирование стока талых вод тех же факторов, что и в лесостепи Нечерноземья: снегозапасов, глубины промерзания и влажности почвы.

*Снегозапасы.* Роли снегозапасов в формировании стока мы уделяем больше внимания потому, что она часто переоценивается и прогнозы получаются ошибочные. На обыкновенных черноземах Самарской обл. также прямой зависимости поверхностного стока талых вод от снегозапасов нет (табл. 3.9). В многоснежные зимы (при снегозапасах больше 100 мм) часто сток отсутствовал либо был очень большим. В малоснежные зимы (при снегозапасах меньше 100 мм) также сток часто формировался вне зависимости от снегозапасов. Так, на рыхлой пашне в многоснежные зимы сток в отдельные годы (1985, 1988) сформировался относительно большой – 52 и 54 мм при снегозапасах 167 и 181 мм соответственно, а в другие годы (1989, 1998) при снегозапасах 192 и 207 мм стока совсем не было. И таких лет с отсутствием стока при больших снегозапасах (104-207 мм) было 23 из 41. В малоснежные зимы сток не сформировался 11 лет из 17, три года он был незначительный. При запасах воды в снеге 98 мм сток в 2015 г. не сформировался, а в 1970 г. величина его составила 16 мм. На уплотненной пашне сток также по годам колебался независимо от снегозапасов. В многоснежную зиму 1979 г. при запасах воды в снеге 164 мм сток был 127 мм, в 2016 г. при снегозапасах 174 мм он отсутствовал. Такие годы с отсутствием стока повторялись 11 лет из 41. В малоснежные зимы при запасах воды в снеге 63 мм стока не было, а при снегозапасах 74 мм величина его составила 44 мм.

Парный корреляционный анализ связи стока со снегозапасами показал отсутствие прямой зависимости его от запасов воды в снеге. Коэффициент корреляции на рыхлой пашне составил 0,13, стандартная ошибка 38,4. На уплотненной пашне эти показатели были соответственно 0,43



Таблица 3.9

**Снегозапасы и поверхностный сток талых вод  
на обыкновенных черноземах степи, Самарская обл.**

Год	Снегозапасы, мм	Сток, мм	Год	Снегозапасы, мм	Сток, мм
рыхлая пашня			уплотненная пашня		
1	2	3	4	5	6
<i>Многоснежная зима</i>					
1963	104	0	1959	278	32
1964	170	34	1960	137	53
1966	136	27	1961	120	27
1968	109	24	1963	138	12
1972	123	1	1964	140	58
1974	106	12	1965	135	49
1976	114	0	1966	188	50
1978	112	11	1967	110	18
1979	199	32	1968	189	81
1980	165	17	1970	117	86
1981	154	9	1973	111	54
1983	110	8	1974	103	65
1984	114	0	1977	139	43
1985	167	52	1978	145	30
1986	154	13	1979	164	127
1987	228	3	1980	142	56
1988	181	54	1981	123	50
1989	192	0	1983	103	55
1990	131	14	1985	123	88
1991	113	12	1986	112	75
1992	141	0	1987	214	42
1993	118	0	1988	116	98
1994	115	4	1989	185	17
1995	128	0	1990	137	54
1996	131	0	1991	118	60
1997	195	40	1992	137	23
1998	207	0	1993	110	7
1999	157	0	1994	138	27
2000	154	0	2001	142	30
2001	134	0	2002	117	0
2002	128	0	2003	0	0
2003	134	0	2004	102	0
2004	124	0	2005	154	41
2005	112	12	2007	109	0

Продолжение табл. 3.9

1	2	3	4	5	6
2008	121	0	2008	139	0
2010	112	0	2011	126	0
2011	128	0	2012	137	0
2012	148	0	2013	138	0
2013	129	0	2014	182	0
2014	115	0	2015	162	0
2016	105	0	2016	174	0
Среднее	140	9	Среднее	138	37
<i>Малоснежная зима</i>					
1959	65	0	1962	65	11
1960	78	0	1969	74	6
1961	68	0	1971	74	44
1962	51	0	1972	98	26
1965	93	2	1975	81	37
1967	51	0	1976	79	15
1969	58	0	1982	103	55
1970	98	16	1984	97	26
1971	45	5	2006	84	19
1973	52	8	2009	63	0
1975	66	0			
1977	70	1			
1982	57	3			
2006	78	0			
2007	91	0			
2009	50	0			
2015	98	0			
Среднее	69	2	Среднее	82	24

и 35,4. Однако это не значит, что от снегозапасов величина стока не зависит. Средняя величина стока в многоснежные и малоснежные годы сильно различается. На рыхлой пашне в многоснежные годы она была 30 мм, а в малоснежные – 11 мм. На уплотненной пашне эти показатели были соответственно 45 и 20 мм, т. е. снегозапасы влияют на сток в значительной степени, но во взаимодействии с другими факторами – влажностью почвы и глубиной ее промерзания. Это будет рассмотрено ниже.

*Глубина промерзания и увлажнение почвы* в этой зоне также являются важнейшим природными факторами формирования стока. Показатели стока талых вод и факторов, обуславливающих его формирова-

ние на обыкновенных черноземах Самарской обл. приведены в табл. 3.10. Анализ этих данных показывает, что на зяби в большинстве случаев стока нет или он незначительный. Решающую роль в его отсутствии играют глубина промерзания и увлажнение почвы перед снеготаянием. Сток отсутствовал в годы, когда глубина промерзания почвы была мень-

Таблица 3.10

**Показатели стока с рыхлой пашни и факторов, обуславливающих его формирование на обыкновенных черноземах, Самарская обл.**

Год	Сток, мм	Фактор		
		запасы воды, мм		глубина промерзания почвы, см
		в почве (0-50 см)	в снеге	
<i>Годы без стока</i>				
1960	0	177	57	-
1961	0	124	62	60
1962	0	147	30	70
1969	0	101	49	150
1972	0	96	124	150
1975	0	107	73	87
2000	0	99	154	31
2001	0	108	134	25
2002	0	116	128	15
2003	0	107	134	37
2004	0	-	124	28
2006	0	104	78	75
2007	0	77	91	34
2008	0	105	121	24
2009	0	108	50	48
2010	0	130	112	63
2011	0	152	128	0
2012	0	187	148	29
2013	0	195	129	42
2014	0	170	115	43
2015	0	166	98	27
2016	0	193	105	38
<i>Годы со стоком</i>				
1968	22	111	70	150
1970	8	120	73	150
1971	5	116	48	150
1973	6	113	54	80

ше 50 см – 1969, 1972, 1975, 2000, 2001-2003, 2007-2009, 2011-2016. Сток также отсутствовал и в годы с низкими запасами влаги в почве – 1961, 1962, 1969, 1972, 1975 и др. В некоторые годы сток отсутствовал под влиянием двух факторов одновременно: глубины промерзания и запасов влаги в верхнем (0-50 см) слое почвы. Это были годы 2000-2003, 2007 и др. В годы, когда формировался сток (1968, 1970, 1971, 1973) глубина промерзания была большая – 80-150 см.

Таким образом, в степной зоне на обыкновенных черноземах Самарского Заволжья природными факторами, которые необходимо учитывать при прогнозе величины (объема) поверхностного стока талых вод, являются только глубина промерзания, увлажнение почвы и снегозапасы. Все остальные факторы можно не учитывать.

К сожалению, по Самарскому Заволжью количество лет со стоком было малым, всего 4. Регрессионный анализ связи стока талых вод  $Y_p$  с увлажнением верхнего полуметрового слоя почвы  $W_n$  и снегозапасами  $W_c$  перед снеготаянием показал, что коэффициент множественной корреляции очень низкий – 0,48. Эта связь выражается следующим уравнением:

$$Y_p = -53 + 0,51W_n + 0,04W_c. \quad (21)$$

На каштановых почвах Поволжья исследования проводились на Нижневолжской станции по селекции древесных пород и Клетской НИАГЛОС – филиалах ФНЦ агроэкологии РАН. При анализе роли природных факторов в формировании стока талых вод использованы материалы исследований автора, В. И. Антонова, А. И. Узолина, полученные под руководством автора, данные В. П. Борца, Н. М. Пынзарю, полученные под руководством и с участием Г. П. Сурмача.

Показатели стока и обуславливающих его факторов на рыхлой и уплотненной пашне на каштановых почвах Волгоградской обл. приведены в табл. 3.11. На рыхлой пашне 12 лет из 24 стока не было. Десять лет из них он не сформировался, потому что почва была либо талая, либо промерзала на небольшую глубину – до 42 см. Два года (1972 и 1973) почва промерзала глубоко (до 150 см), но в связи с тем, что она была сухая, сток талых вод тоже не сформировался. Остальные 12 лет формировался сток разной величины. При этом 10 лет лимитирующим фактором его формирования была глубина промерзания почвы. Она колебалась от 65 до 150 см.

Регрессионный анализ данных за годы с глубоким промерзанием почвы (56-150 см) позволил получить следующее уравнение связи стока с природными факторами:

$$U_p = -41 + 0,44W_n + 0,39W_c + 0,02H, \quad (22)$$

где  $H$  – глубина промерзания почвы, см.

Таблица 3.11

**Показатели стока талых вод и факторов, обуславливающих его формирование на каштановых почвах степи, Волгоградская обл.**

Год	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, см	Продолжительность снеготаяния, сут.	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, см	Продолжительность снеготаяния, сут.
		в почве	в снеге				в почве	в снеге		
рыхлая пашня						уплотненная пашня				
<i>Годы без стока</i>										
1967	0	61	108	0	-	0	49	99	0	-
1968	0	47	124	5	15	0	46	111	5	15
1972	0	77	14	150	-	0	85	21	150	-
1973	0	50	44	83	-	-	-	-	-	-
1984	0	66	17	-	-	-	-	-	-	-
1987	0	70	141	33	15	-	-	-	-	-
2001	0	89	17	26	6	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	0	51	29	20	9
2005	0	75	28	42	15	-	-	-	-	-
2006	-	-	-	-	-	0	181	43	33	12
2007	0	95	91	30	14	-	-	-	-	-
2008	-	-	-	-	-	0	91	22	24	9
2010	-	-	-	-	-	0	230	14	50	14
2011	0	219	10	37	8	-	-	-	-	-
2012	-	-	-	-	-	0	250	55	15	13
2013	0	216	14	22	10	-	-	-	-	-
2014	-	-	-	-	-	0	219	25	38	17
2015	0	230	21	25	4	-	-	-	-	-
2016	-	-	-	-	-	0	224	10	24	6
<i>Годы со стоком</i>										
1969	17	74	52	150	-	31	67	48	150	-
1971	31	101	73	110	-	45	128	61	83	-
1982	5	87	55	-	-	-	-	-	-	-
1983	15	83	40	-	-	-	-	-	-	-
1985	20	71	66	-	-	-	-	-	-	-
1986	36	-	71	-	26	-	-	-	-	-
1988	21	88	47	56	31	-	-	-	-	-
1989	4	-	47	65	12	-	-	-	-	-
1990	19	92	40	57	3	-	-	-	-	-
2003	25	119	80	65	13	-	-	-	-	-

Парные коэффициенты корреляции соответственно равны 0,87; 0,81 и –0,08; множественный –0,98.

Парные коэффициенты корреляции показывают, что связи стока с глубиной промерзания в диапазоне 65-150 см нет, с увлажнением почвы и снегозапасами она высокая.

Проведя регрессионный анализ с двумя факторами, получили следующее уравнение (коэффициенты корреляции: парные 0,87 и 0,81; множественный 0,96):

$$Y_p = -27 + 0,38W_n + 0,29W_c. \quad (23)$$

Аппроксимация этой связи приведена на рис. 3.6.

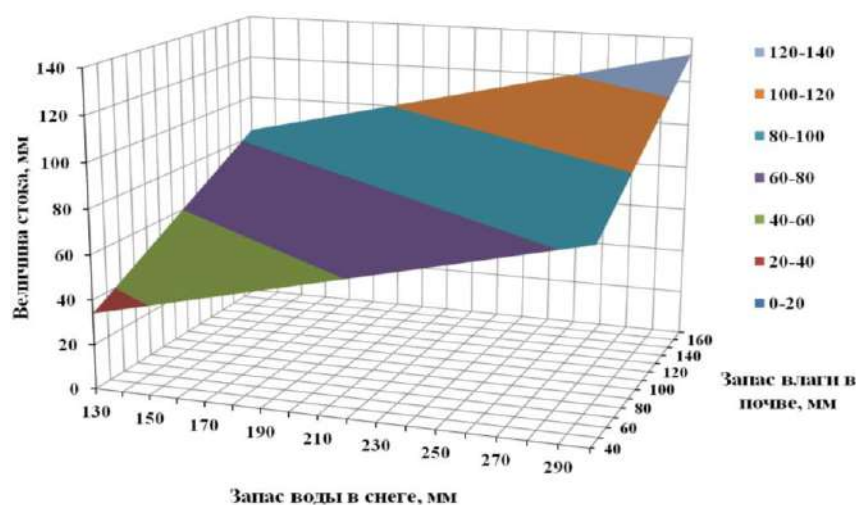


Рис. 3.6. Трехмерная модель связи стока талых вод с запасами воды в почве и снеге на рыхлой пашне каштановых почв Волгоградской обл.

На уплотненной пашне сток отсутствовал 9 лет по причине слабого промерзания почвы (до 55 см), а один год (1972) при глубине ее промерзания 150 см он не сформировался из-за низких запасов влаги в ней. Расчет стока по уравнениям (22), (23) позволяет с высокой точностью определять его величину (табл. 3.12).

Таблица 3.12

**Экспериментальные и рассчитанные по уравнениям регрессии (22), (23) величины стока с рыхлой пашни на каштановых почвах, мм, Волгоградская обл.**

Год	Экспериментальные	Расчетные	Отклонение	
			мм	%
1969	17	16	-1	6
1971	31	32	1	3
1983	15	16	1	7
1985	20	19	-1	5
1988	21	20	-1	5
1990	19	20	1	5

На светло-каштановых почвах Поволжья при анализе роли природных факторов в формировании стока талых вод использованы материалы исследований автора, М. М. Кочкаря, Р. Д. Балычева, А. В. Кулик, Р. Е. Смирнова, полученные под руководством автора, В. Е. Величкина, Е. И. Куницкого, В. П. Борца, полученные под руководством и с участием Г. П. Сурмача, а также данные Ю. В. Бондаренко.

Показатели стока и снеготаяния перед снеготаянием приведены в табл. 3.13. Они показывают, что и в этих условиях величина стока на-

Таблица 3.13

**Снеготаяния и поверхностный сток талых вод на светло-каштановых почвах степи, Волгоградская обл.**

Год	Снеготаяния, мм	Сток, мм	Год	Снеготаяния, мм	Сток, мм
рыхлая пашня			уплотненная пашня		
1	2	3	4	5	6
<i>Многоснежная зима</i>					
1952	101	4	1959	92	51
1954	55	0	1962	77	34
1956	55	26	1963	137	76
1959	93	0	1964	74	27
1962	74	1	1967	189	0
1963	92	36	1968	150	30
1964	61	2	1970	136	36
1967	143	0	1971	85	33
1970	129	7	1973	96	2
1971	75	1	1977	154	43
1973	89	0	1978	73	35
1979	147	45	1979	164	58
1987	99	0	1980	63	10
1994	55	13	1987	98	0
1995	52	0	1994	64	58
1996	79	0	1995	58	0
1997	60	0	1996	70	0
2003	50	3	1997	60	0
2006	78	0	2010	58	2
2010	89	0	2011	70	23
2012	70	0	2012	108	0
2014	88	0	2013	69	0
			2014	101	0
Среднее	83	6	Среднее	98	23
<i>Малоснежная зима</i>					
1950	35	0	1950	45	12
1951	31	22	1958	40	25

1	2	3	4	5	6
1953	28	0	1960	16	10
1955	22	0	1961	18	13
1957	26	4	1965	41	25
1958	47	8	1966	15	7
1960	15	0	1969	17	3
1961	21	0	1972	23	0
1965	31	4	1974	49	5
1966	15	0	1975	27	7
1968	44	16	1976	36	7
1969	11	0	1981	0	0
1972	22	0	1983	0	0
1974	41	0	1984	0	0
1975	20	1	1986	32	7
1976	26	0	1988	27	21
1977	54	5	1989	45	39
1978	17	13	1990	47	5
1980	41	0	1991	17	0
1981	0	0	1992	42	1
1982	17	0	1993	14	1
1983	0	0	1998	37	0
1984	0	0	1999	27	10
1985	39	0	2000	24	0
1986	30	6	2003	35	11
1988	44	5	2004	32	12
1989	25	3	2005	19	0
1990	38	0	2009	31	0
1991	22	0	-	-	-
1992	39	0	-	-	-
1993	17	0	-	-	-
1998	10	0	-	-	-
2000	21	0	-	-	-
2001	14	0	-	-	-
2002	0	0	-	-	-
2004	26	1	-	-	-
2005	18	0	-	-	-
2007	5	0	-	-	-
2008	31	0	-	-	-
2009	44	0	-	-	-
2011	15	0	-	-	-
2013	41	0	-	-	-
2015	43	0	-	-	-
Среднее	25	2	Среднее	27	8



прямую не связана с запасами воды в снеге. Часто при больших снегозапасах стока нет, а при малых он формируется, и наоборот. Так, при снегозапасах 143 мм в 1967 г. сток на рыхлой пашне отсутствовал, а в 1979 г. при снегозапасах 147 мм величина его была 45 мм, в 1959 г. при снегозапасах 93 мм стока не было, в 1994 г. при снегозапасах 55 мм величина его составила 13 мм, а в 1951 г. при запасах воды в снеге 31 мм сток составил 22 мм. Подобные данные получены и по другим годам. В многоснежные зимы количество лет с отсутствием стока на рыхлой пашне было 12 из 22 при большом варьировании снегозапасов – от 55 до 143 мм. В малоснежные зимы сток не сформировался 7 лет из 12, также и при большой вариации снегозапасов от 11 до 47 мм.

На уплотненной пашне сток формируется чаще и больше, чем на рыхлой. В многоснежные зимы сток не сформировался 7 лет из 19 при снегозапасах 58-189 мм, 2 года он был незначительный (2 мм при снегозапасах 58 и 96 мм), а в остальные годы величина его колебалась от 10 до 76 мм вне зависимости от запасов воды в снеге.

Парный корреляционный анализ связи стока со снегозапасами показал отсутствие прямой зависимости его от запасов воды в снеге. Коэффициент корреляции на рыхлой пашне составил 0,36, а стандартная ошибка 7,9. На уплотненной пашне эти показатели были соответственно 0,50 и 16,3. Средние показатели стока в много- и малоснежные годы сильно различаются. На рыхлой пашне в многоснежные годы сток был 9 мм, а в малоснежные 2 мм. На уплотненной пашне эти показатели были соответственно 37 и 24 мм, т. е. снегозапасы влияют на сток, но во взаимодействии с другими факторами – влажностью почвы и глубиной ее промерзания.

*Глубина промерзания и увлажнение почвы* в зоне светло-каштановых почв Волгоградской обл. также являются важнейшими природными факторами формирования стока. Показатели стока талых вод и факторов, обуславливающих его формирование, приведены в табл. 3.14. Анализ этих данных показывает, что на рыхлой пашне в большинстве случаев стока нет или он незначительный. Решающую роль в его отсутствии играет глубина промерзания и увлажнение почвы перед снеготаянием. Сток в 38 из 48 лет отсутствовал. Главная причина его отсутствия – это небольшая глубина промерзания почвы. Он отсутствовал 30 лет из 38 в годы, когда глубина промерзания почвы была меньше 50 см, 8 лет – в годы с низкими запасами воды в почве (1964, 1969, 1971, 1972, 1993, 1998, 2004, 2006) при глубоком ее промерзании (55-189 см). В некоторые годы сток отсутствовал под влиянием двух факторов одновременно: глубины

промерзания и запасов влаги в верхнем (0-50 см) слое почвы. Это были годы 1973, 1974, 1984, 1987 и др. В годы, когда формировался сток (1965, 1968, 1994, 2003, 2011), глубина промерзания была всегда большая – 52-112 см. На уплотненной пашне сток отсутствовал 17 лет из 26. Причем 15 лет из 17 он отсутствовал в годы, когда почва была талая или промерзала на небольшую глубину – до 30 см и только 2 года (1972 и 1993) сток отсутствовал при большой глубине промерзания – 80 и 160 см. В эти годы лимитирующим фактором формирования стока был низкий уровень увлажнения верхнего (0-50 см) слоя почвы. Он составлял соответственно 83 и 73 мм. В эти годы были также и небольшие снегозапасы – 23 и 14 мм. В годы, когда формировался сток, глубина промерзания почвы была большой, она колебалась от 55 до 150 см.

Таблица 3.14

**Показатели стока талых вод и факторов, обуславливающих его формирование на светло-каштановых почвах степи, Волгоградская обл.**

Год	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, см	Продолжительность снеготаяния, сут.	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, см	Продолжительность снеготаяния, сут.
		в почве	в снеге				в почве	в снеге		
	рыхлая пашня					уплотненная пашня				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Годы без стока</i>										
1966	0	57	7	0	12	-	-	-	-	-
1967	0	119	155	0	20	0	98	189	15	20
1969	0	99	15	189	2	-	-	-	-	-
1971	0	71	76	100	8	-	-	-	-	-
1972	0	94	28	160	3	0	83	23	160	3
1973	0	66	45	0	12	0	74	90	0	12
1974	0	70	48	0	6	-	-	-	-	-
1981	0	-	0	20	0	-	-	-	-	-
1982	0	90	17	0	2	-	-	-	-	-
1983	0	87	0	30	0	-	-	-	-	-
1984	0	64	0	40	0	-	-	-	-	-
1985	0	205	39	20	12	0	-	39	17	12
1986	0	223	31	30	15	0	-	32	30	15
1987	0	73	99	10	2	0	87	96	20	20
1988	0	115	44	40	8	-	-	-	-	-
1989	0	213	25	40	5	-	-	-	-	-
1990	0	64	31	35	8	-	-	-	-	-
1991	0	105	22	42	4	-	-	-	-	-
1992	0	73	39	10	2	0	104	41	20	2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1993	0	120	17	80	5	0	73	14	80	5
1995	0	120	70	10	5	0	91	75	10	5
1996	0	131	54	20	4	0	86	59	20	4
1997	0	111	90	0	7	-	-	-	-	-
1998	0	140	10	55	3	-	-	-	-	-
2000	0	78	21	0	2	0	75	24	0	2
2001	0	86	14	0	2	-	-	-	-	-
2002	0	59	0	0	7	-	-	-	-	-
2005	0	81	18	12	6	0	85	19	12	6
2006	0	78	78	100	8	-	-	-	-	-
2007	0	98	5	35	2	-	-	-	-	-
2008	0	127	31	15	4	-	-	-	-	-
2009	0	124	44	10	9	0	104	31	15	9
2010	0	150	89	20	12	0	245	72	20	12
2012	0	91	70	12	6	0	105	108	5	6
2013	0	114	41	20	3	0	112	69	10	3
2014	0	168	88	25	3	0	127	101	20	3
<i>Годы со стоком</i>										
1964	1	52	32	70	10	-	-	-	-	-
1965	4	46	31	52	5	-	-	-	-	-
1968	16	122	60	100	8	35	124	151	100	8
1969	-	-	-	-	-	3	72	19	150	2
1971	-	-	-	-	-	33	120	85	115	8
1991	-	-	-	-	-	4	89	17	61	4
1994	13	159	55	60	6	58	159	64	70	6
1999						10	115	25	55	7
2003	3	145	50	90	16	11	148	35	95	16
2004	1	160	26	60	4	12	131	32	60	4
2011	15	112	42	112	4	23	77	70	75	4

Связи величины стока с продолжительностью периода снеготаяния как на рыхлой, так и на уплотненной пашне нет. Коэффициент корреляции составляет всего 0,53 и 0,10.

Таким образом, на светло-каштановых почвах Волгоградской обл. природными факторами, которые необходимо учитывать при прогнозе величины (объема) поверхностного стока талых вод, являются только глубина промерзания, увлажнение почвы и снеготаяния. Все остальные факторы можно не учитывать.

При промерзании почвы свыше 50 см формируется сток разной величины и он не зависит от дальнейшего увеличения ее глубины. Он полностью зависит от запасов воды в почве и снеге.

Регрессионный анализ данных в годы со стоком на рыхлой пашне показал, что эта связь выражается следующим уравнением (коэффициенты корреляции: парные 0,32 и 0,42; множественный 0,57):

$$Y_p = -5,2 + 0,04W_n + 0,44W_c. \quad (34)$$

Коэффициент корреляции стока с глубиной промерзания равен  $-0,49$ . Анализ данных на уплотненной пашне за годы с глубиной промерзания 55-115 см показал, что связь стока с запасами воды в почве и снеге выражается следующим уравнением (коэффициенты корреляции: парные 0,61 и 0,48, множественный 0,78):

$$Y_n = -22,1 + 0,26W_n + 0,23W_c. \quad (35)$$

Коэффициент корреляции стока с глубиной промерзания почвы  $-0,55$ . Аппроксимация связи стока талых вод с запасами воды в почве и снеге приведена на рис. 3.7.

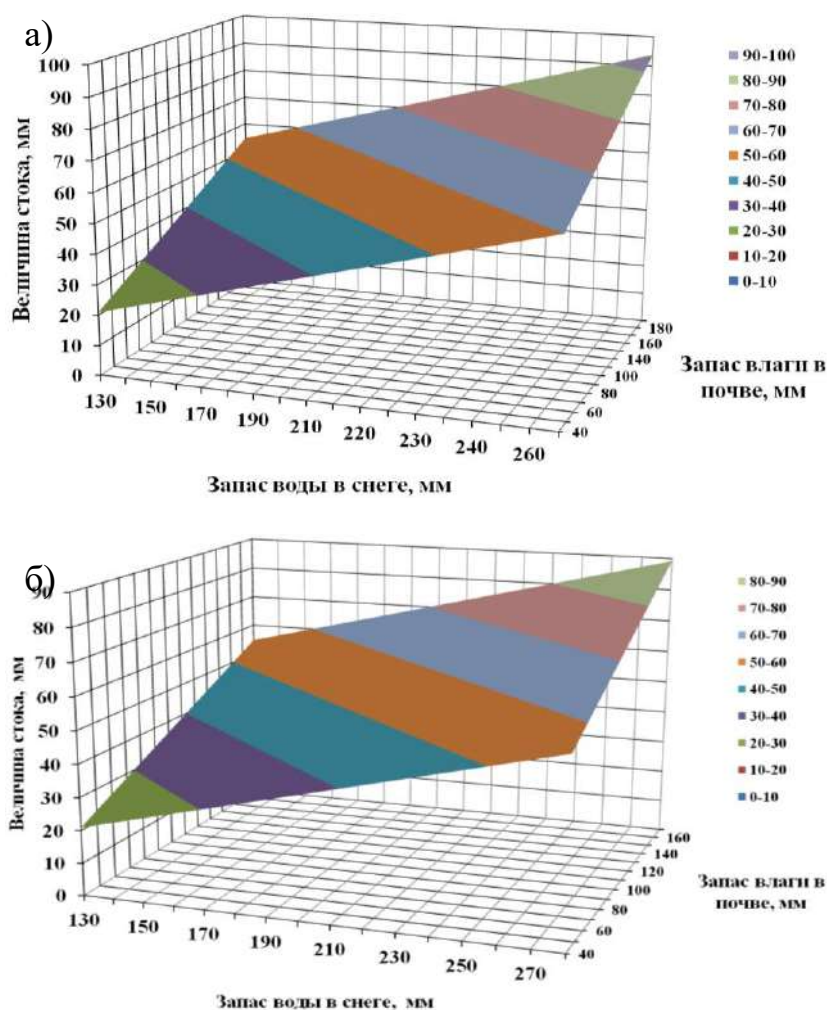


Рис. 3.7. Трехмерная модель связи стока талых вод с запасами воды в почве и снеге на рыхлой (а) и уплотненной пашне (б) светло-каштановых почв Волгоградской обл.

Сравнительные показатели экспериментальных и рассчитанных по уравнениям регрессии (34), (35) величин стока с рыхлой и уплотненной пашни на светло-каштановых почвах Волгоградской обл. приведены в табл. 3.15.

Таблица 3.15

**Экспериментальные и рассчитанные по уравнениям регрессии (34), (35) величины стока с рыхлой и уплотненной пашни на светло-каштановых почвах Волгоградской обл., мм**

Год	Экспериментальные	Расчетные	Отклонения		Год	Экспериментальные	Расчетные	Отклонения	
			мм	%				мм	%
рыхлая пашня					уплотненная пашня				
1964	1	7	6	600	1968	35	43	0	0
1965	4	7	3		1969	3	1	-2	66
1968	16	16	0	0	1971	33	28	-5	15
1994	13	25	12	92	1991	4	5	1	25
1999	-	-	-	-	1994	58	33	-25	43
2003	3	23	20	667	1999	10	13	3	30
2004	1	12	11	1100	2003	11	24	13	118
2011	15	18	3	20	2004	12	19	7	58
					2011	23	13	-10	43
1964	1	7	6	600	1968	35	43	0	0
1965	4	7	3		1969	3	1	-2	66

**3.3. Закон лимитирующих факторов поверхностного стока талых вод, его прогноз и методика расчета**

**3.3.1. Закон лимитирующих факторов поверхностного стока талых вод**

В результате теоретических и экспериментальных исследований, а также на основе обобщения имеющихся материалов автором впервые был сформулирован и обоснован закон лимитирующих факторов поверхностного стока талых вод [33, 34] и разработана методика высокоточного (80-90 и иногда 100 %), заблаговременного (1,5-2 месяца) прогноза стока [112]. Установлено, что главными природными факторами, обуславливающими формирование стока, являются только глубина промерзания, влажность почвы и снеготаяния. Другие факторы на общую величину стока талых вод за период весеннего снеготаяния практически не влияют. Они могут повлиять на интенсивность стока.

Суть закона заключается в том, что *при некотором минимальном значении одного из трех лимитирующих факторов (снегозапасы, глубина промерзания и влажность почвы) поверхностный сток не формируется независимо от уровня двух других.*

Определены максимальные значения факторов, при которых сток не формируется. На юге ЦРНЗ, в ЦЧО и Поволжье, если почва талая или промерзла до глубины не более 50 см, стока не бывает независимо от уровня ее увлажнения и снегозапасов. Дальнейшее увеличение глубины промерзания почвы выше лимитирующего уровня не влияет на величину стока, т. е. при любой глубине промерзания почвы выше лимитирующей он формируется одинаковый при одинаковых уровнях других факторов. Решающее влияние на него в этом случае оказывают влагозапасы в почве и снеге. При увлажнении верхнего (0-50 см) слоя почвы до уровня менее 120-130 мм на юге ЦРНЗ и 70-95 мм в Нижнем Поволжье сток не формируется независимо от глубины промерзания почвы и снегозапасов, т. е. в данном случае лимитирующим фактором является увлажнение почвы. При запасах воды в снеге меньше объема микрорельефа пашни сток также не формируется.

При уровнях факторов выше лимитирующих, т. е. глубине промерзания почвы свыше 50 см, запасах воды в ней больше 70-120 мм и снегозапасах, превышающих емкость микрорельефа, сток формируется на всех угодьях и величина (объем) его зависит только от запасов воды в снеге и почве.

На основе математического анализа результатов исследований разработаны модели формирования поверхностного стока талых вод на разных типах почв (серые лесные, черноземы, каштановые и светло-каштановые), видах угодий (пашня, луг, залежь) и пашни (зябрь, озимые, многолетние травы и др.). Уравнения связи стока с природными факторами приведены в табл. 3.16. В зональном плане эта связь проявляется по-разному. На юге ЦРНЗ и севере ЦЧО наиболее мощным фактором формирования стока как на рыхлой, так и на уплотненной пашне является увлажнение почвы; на юге ЦЧО на рыхлой и уплотненной пашне на величину стока сильнее влияют снегозапасы; в Поволжье на рыхлой пашне наиболее мощным фактором является увлажнение почвы, а на уплотненной пашне – снегозапасы.

Расчет стока по уравнениям (36)-(48) дает довольно близкую сходимость расчетных данных с экспериментальными.

Таблица 3.16

Уравнения связи стока талых вод на рыхлой  $Y_p$  и уплотненной пашне  $Y_n$  с запасами воды в почве  $W_n$  и снеге  $W_c$ , мм

Зона, область, почва	Рыхлая пашня	Уплотненная пашня
Лесостепь, Орловская, серая лесная	$Y_p = -141 + 0,08W_n + 0,38W_c$ (36) $R_{Y_p W_n W_c} = 0,93; M_{yx} = 12,4$	$Y_n = -16,4 - 0,15W_n + 0,34W_c$ (37) $R_{Y_n W_n W_c} = 0,81; M_{yx} = 13,3$
Лесостепь, Курская, серая лесная, типичный чернозем	$Y_p = -57 + 0,34W_n + 0,26W_c$ (38) $R_{Y_p W_n W_c} = 0,61; M_{yx} = 26,8$ $Y_p = -50 + 0,25W_n + 0,25W_c$ (39) $R_{Y_p W_n W_c} = 0,92; M_{yx} = 4,5$	Нет данных $Y_n = -116 + 0,71W_n + 0,41W_c$ (40) $R_{Y_n W_n W_c} = 0,74; M_{yx} = 16,0$
Степь, Воронежская, обыкновенный чернозем	$Y_p = -40 + 0,19W_n + 0,38W_c$ (41) $R_{Y_p W_n W_c} = 0,54; M_{yx} = 21,5$	$Y_n = -12 + 0,06W_n + 0,69W_c$ (42) $R_{Y_n W_n W_c} = 0,91; M_{yx} = 6,8$
Степь, Самарская, обыкновенный чернозем	$Y_p = -53 + 0,51W_n + 0,04W_c$ (43) $R_{Y_p W_n W_c} = 0,48; M_{yx} = 8,4$	$Y_n = -24 + 0,17W_n + 0,40W_c$ (44) $R_{Y_n W_n W_c} = 0,92; M_{yx} = 7,0$
Полупустыня, Волгоградская, каштановая, светло-каштановая	$Y_p = -27 + 0,38W_n + 0,29W_c$ (45) $R_{Y_p W_n W_c} = 0,96; M_{yx} = 7,1$ $Y_p = -5,2 - 0,04W_n + 0,44W_c$ (46) $R_{Y_p W_n W_c} = 0,64; M_{yx} = 6,3$	$Y_n = -4 + 0,19W_n + 1,14W_c$ (47) $R_{Y_n W_n W_c} = 0,92; M_{yx} = 9,2$ $Y_n = -21,9 + 0,26W_n + 0,22W_c$ (48) $R_{Y_n W_n W_c} = 0,84; M_{yx} = 13,1$

Таким образом, обобщение и анализ материалов по влиянию на сток талых вод природных факторов в лесостепной, степной и полупустынной зонах показали, что важнейшими факторами формирования поверхностного стока талых вод являются снеготаяние, увлажнение и глубина промерзания почвы перед снеготаянием. Многие другие факторы при прогнозировании стока можно не учитывать. Они играют несущественную роль.

### 3.3.2. Методика прогноза и расчета стока

В настоящее время в стране нет надежной методики прогноза поверхностного стока талых вод с водосборных бассейнов. Ошибка прогноза стока в бассейнах Волги и Дона очень высокая. В среднем она составляет 35 %, а бывает и 100 %. Часто прогнозируется очень большой сток, а он не формируется совсем или бывает очень слабый. При разработке прогноза по существующим методикам либо используется один фактор, либо десятки и даже сотни факторов. Чаще всего прогнозируют по снегозапасам. Ни то, ни другое неприемлемо. Нами доказано, что по двум-трем ведущим факторам можно делать долгосрочный (2-3 месяца) высокоточный (80-100 %) прогноз. Зарубежный опыт нам не подходит, так как в большинстве стран формируется преимущественно ливневый сток, а в странах, где есть сток талых вод (США, Канада и др.) условия сильно отличаются от наших. Опыт прогноза стока для бассейнов Волги и Дона нельзя переносить, например, на сибирские реки или реки европейской части РФ, впадающие в северные моря. Отсутствие надежного прогноза связано с тем, что не было хорошей теоретической основы для него. Не были выявлены закономерности формирования поверхностного стока. По итогам теоретических и экспериментальных исследований, выполненных во ВНИАЛМИ, можно выделить следующие наиболее важные новые результаты, которые нашли применение при разработке методики:

закон лимитирующих факторов поверхностного стока талых вод, позволяющий по-новому рассматривать закономерности его формирования;

положение о том, что почва как саморегулирующая система способна поглотить и удержать определенное количество воды, равное дефициту влажности, максимальная величина которого в мерзлом состоянии может достигать полной влагоемкости;

математические модели формирования поверхностного стока талых вод;

концепция формирования "ледяного экрана";

концепция образования сплошной менисковой пленки.

Для малых водосборов прогноз стока талых вод дается на основе учета ведущих природных факторов, влияющих на его формирование и соотношения площадей, находящихся под рыхлой (отвальная зябь) и уплотненной пашней (озимые, многолетние травы, залежь и



др.). Для расчета стока на бассейнах рек также учитываются эти природные факторы, а соотношение площадей под рыхлой и уплотненной пашней определяется по регионам в пределах водосборов рек.

Положения настоящей методики основаны на оригинальном подходе и по ним можно давать высокоточный (80-100 %) прогноз величины поверхностного стока талых вод. Если почва талая, то точность прогноза 100 %, а при глубине ее промерзания свыше 50 см точность прогноза зависит от точности определения запасов воды в снеге и почве и составляет 80-90 %.

Для расчета величины поверхностного стока талых вод необходимы следующие характеристики: запасы воды в снеге, мм; глубина промерзания почвы, см; запасы воды в слое 0-50 см, мм; общая площадь водосбора, га ( $\text{км}^2$ ); площадь водосбора под рыхлой пашней (зять), га ( $\text{км}^2$ ); площадь водосбора под уплотненной пашней (озимые, многолетние травы, залежь), га ( $\text{км}^2$ ); площадь лесных угодий, га ( $\text{км}^2$ ).

Запасы воды в снеге определяются по данным наблюдений Гидрометслужбы на метеостанциях и постах, на основе аэрокосмического мониторинга и уточняются в результате проведения снегомерных съемок на водосборах.

Формирование снежного покрова происходит под влиянием таких факторов, как ветер, расчлененность территории, экспозиция, крутизна и протяженность склонов, вид угодий, наличие защитных лесных насаждений и др. Снегомерные съемки, проводимые на водосборах, имеют целью определить влагозапасы в снеге на всех водосборах, установить закономерность и особенности снегораспределения на разных угодьях в зависимости от рельефа и экспозиции склонов, выявить снегонакопительную и снегораспределительную роль защитных лесных и других насаждений. На водосборах проводят разовые снегомерные съемки за 15-20 дней до снеготаяния по заранее намеченным постоянным маршрутам, которые наносят на план водосбора, нумеруют и закрепляют в натуре.

На простых водосборах с одним видом угодий (выгон, пашня, сад, лес и др.) намечается 3 маршрута поперек склона на одном расстоянии друг от друга, причем суммарное расстояние между крайними маршрутами в верхней и нижней границах водосбора должно составлять  $2/3$  расстояния между соседними маршрутами. Они пересекают водосбор от одного до другого водораздела. Здесь преобладают маршруты прямолинейного направления. Общая протяженность всех маршрутов близка к

3-5-кратной средней ширине водосбора. На больших комплексных опытных водосборах число маршрутов может доходить до пяти-шести, причем они должны располагаться как поперек водосбора, так и вдоль него с охватом всех основных угодий, лесных полос и других элементов, сильно влияющих на снегораспределение. Измерения в маршрутах проводятся в точках, расположенных через 5-25 м. Плотность снега на каждой угодии измеряется весовым снегомером ВС-43 в пяти точках и, кроме того, в пунктах с характерным залеганием снега. На водосборе с лесополосами снегомерные маршруты должны проходить перпендикулярно к направлениям полосы.

Средний запас воды в снеге (мм) на каждом виде угодий определяется путем перемножения средней высоты снега (мм) и его средней плотности ( $\text{г/см}^3$ ). На всем комплексном водосборе запас воды в снеге  $X$  определяется как средневзвешенная величина через площадь отдельных угодий  $S_i$  и всю площадь  $S$ :

$$X = \frac{\sum X \cdot S_i}{S}. \quad (49)$$

Осадки, выпавшие в период после проведения снегомерной съемки до снеготаяния, добавляются к запасам воды в снеге.

Глубина промерзания почвы определяется в те же сроки, что и снегозапасы. При этом применяется копка шурфов в мерзлой земле, бурение и другие способы. Основным признаком мерзлой почвы является наличие в ней кристалликов льда и механическое сопротивление при разломе и разминании кусочков почвы, и ее влажность. Динамику промерзания и оттаивания почвы изучают при помощи мерзлотомера Данилина МД-2, проводя наблюдения 3 раза в месяц. Одновременно проводят замеры высоты снежного покрова. Следует иметь в виду, что МД-2 фактически показывает глубину проникновения отрицательных температур и поэтому преувеличивает показатели глубины промерзания почвы, а в весенний период занижает скорость ее оттаивания снизу и сверху. Поэтому данный метод определения промерзания почвы нужно применять в сочетании с другими методами.

Для оценки глубины промерзания почвы можно использовать данные Гидрометслужбы, но только те, которые определялись по кристалликам льда непосредственным бурением почвы на различных видах угодий водосборов. Почва бывает талая или глубоко промерзает обычно на больших территориях, охватывающих сотни и тысячи квадратных километров. Важно определить границу между талой и

глубоко промерзшей почвой, если она не выходит за пределы исследуемого водосбора.

Влажность мерзлой почвы определяется в 3-кратной повторности до глубины 50 см. Образцы берутся со следующих глубин: 0, 10, 20, 30, 40 и 50 см. Влажность почвы выражается в процентах, а запасы влаги – в миллиметрах послойно и суммарно для всей толщи. Запасы влаги вычисляются по формуле Н. А. Качинского

$$W = \frac{M \cdot V \cdot K}{10}, \quad (50)$$

где  $M$  – мощность слоя почвы, см;  $V$  – объемная масса почвы, г/см<sup>3</sup>;  $K$  – влажность данного слоя почвы, %.

Объемная масса почвы определяется путем отбора образцов с ненарушенным сложением с различных глубин (0, 10, 20, 30, 40, 50 см) при помощи прибора Качинского в 3-кратной повторности с последующим высушиванием и взвешиванием. Если почва на водосборе талая или промерзла на глубину до 50 см, то запасы воды в почве можно не определять.

Алгоритм прогноза поверхностного стока талых вод в зависимости от уровня природных факторов приведен в табл. 3.17. Сначала анализируются данные по глубине промерзания почвы на водосборе. Если почва талая или промерзла на глубину до 50 см, то поверхностный сток талых вод на сельскохозяйственных и лесных угодьях не сформируется. Если почва промерзла на глубину свыше 50 см, то сток сформируется обязательно и величина его будет зависеть от запасов воды в снеге и почве (в слое 0-50 см). Уровень глубины промерзания почвы свыше лимитирующего на величину стока не влияет. При глубине промерзания почвы свыше 50 см анализируются данные по запасам влаги в верхнем (0-50 см) слое почвы. Если они в лесостепной зоне ниже 120 мм, а в степной и полупустынной зонах ниже 70 мм, то сток не формируется. Затем анализируются запасы воды в снеге. Если они меньше объема микрорельефа поверхности водосбора, то сток не формируется.

При уровнях факторов выше лимитирующих, т. е. при глубине промерзания почвы свыше 50 см, запасах влаги в слое почвы 0-50 см выше 70-120 мм (по зонам), а в снеге – выше емкости микрорельефа сток сформируется и величина (объем) его будет зависеть только от запасов воды в снеге и почве.

При этих условиях величина поверхностного стока талых вод с водосбора ( $U$ , мм) рассчитывается по выражению

$$Y = \left( \sum_1^n Y_i \cdot S_i / \sum_1^n S_i \right) - Y_{пэм}, \quad (51)$$

где  $Y_i$  – сток с  $i$ -того агрофона, мм, рассчитывается по уравнениям (36)-(48);  $S_i$  – площадь  $i$ -того агрофона, га;  $Y_{пэм}$  – стокорегулирующий эффект от применения системы противоэрозионных мероприятий: противоэрозионная организация территории, лесомелиоративные, агротехнические и гидротехнические приемы, мм (этот параметр применяется только в том случае, если на водосборе осуществлена полная система мероприятий).

Таблица 3.17

**Алгоритм прогноза поверхностного стока талых вод  
в зависимости от уровня природных факторов**

Уровень факторов			Характер формирования стока
глубина промерзания почвы, см	запас воды в почве (слой 0-50 см), мм	снегозапасы, мм	
Менее 50	Любой	Любой	Сток не формируется
Более 50	Менее 70-120 (по зонам)	Любой	Сток не формируется
	Более 70-120 (по зонам)	Меньше объема микрорельефа	Сток не формируется
		Больше объема микрорельефа	Сток формируется, величина его зависит от уровня запасов воды в снеге и почве

В связи с тем, что в настоящее время нет многолетних экспериментальных данных, характеризующих влияние природных факторов на формирование поверхностного стока в лесной зоне на дерново-подзолистых и других почвах, для расчета стока в бассейнах верхней Волги, Вятки и Камы можно использовать уравнения (36), (37), рекомендованные для серых лесных почв лесостепной зоны. Это допущение приведет к снижению точности, но не в сильной степени. В будущем необходимо провести экспериментальные исследования в этой зоне и получить научно обоснованные уравнения.

Настоящая методика может применяться проектными, сельско- и водохозяйственными организациями для составления прогноза величины поверхностного стока талых вод с целью установления оптимального режима весеннего паводка и предотвращения чрезвычайных ситуаций.

### **3.4. Влияние антропогенных факторов на формирование поверхностного стока талых вод**

#### **3.4.1. Характеристика поверхностного стока талых вод на землях, не подверженных антропогенному воздействию**

В. В. Докучаев в своей работе "Наши степи прежде и теперь" отмечал: "... если желают поставить русское сельское хозяйство на твердые ноги, ... чтобы оно было приноровлено к местным физико-географическим (равно как историческим и экономическим) условиям страны, ... необходимо, чтобы эти условия, – все естественные факторы (почва, климат с водой и организмы) были исследованы, ... всесторонне и непременно во взаимной их связи" [1]. Это замечательное выражение В. В. Докучаева по сути является квинтэссенцией того, что в настоящее время называется системным подходом в исследовании конкретного объекта и идеологией выработки адаптированных к местным условиям систем ведения сельского хозяйства и в целом природопользования. Теперь это называется адаптивно-ландшафтная система земледелия, ведущую роль в которой играет агролесомелиоративное адаптивно-ландшафтное обустройство территории.

Блестящий анализ причин постигшего Россию в 1891 г. недорода привел В. В. Докучаева к следующим главнейшим выводам: ведущей причиной неурожая 1891 г. (и других лет) была не только и не столько жестокая засуха ("здесь не собрано и семян, а в соседнем поле получено 80-100 пудов (13-16 ц) с десятины"), но общее расстройство сельского и водного хозяйства России, обусловленное нерациональным истощительным использованием почв, в т. ч. вследствие социально-экономических факторов; для "реставрации степей" необходим комплекс мероприятий (агротехнических, гидротехнических, облесительных) с выработкой норм соотношения площади пашни, лугов, леса и вод, а также организация специальных научно-исследовательских учреждений. Все эти положения нашли свое воплощение в работе Особой экспедиции Лесного департамента (1892-1897 гг.) "по испытанию и учету различных способов и приемов лесного и водного хозяйства в степях России" [1].

В. В. Докучаевым была внесена ясность в причины "недородов" вследствие не только климатических засух и в саму постановку вопроса о связи неурожая и проявлений засухи (в первую очередь,

почвенной) с деградацией почв, утерей ими вследствие распашки благоприятных водно-физических свойств и изменении водного баланса естественных ландшафтов степи. Подчеркивая особое значение лесной подстилки и степного войлока для формирования "крупитчатой" структуры черноземов, их способности в девственном состоянии хорошо поглощать влагу, В. В. Докучаев упоминает о наблюдениях Игнатьева, отметившего, что при снеготаянии "на целинной степи не видно больших потоков, тогда как на старопашных полях они бегут по всем направлениям" [1]. Позднее А. С. Козменко также отмечал, что распашка территории и уничтожение лесов "повели за собой увеличение интенсивности стока" и "энергии размыва" [2].

Количественные оценки гидрологического режима девственных территорий и его изменений под влиянием скотоводства и земледелия до сих пор крайне малочисленны. Полученные в ОПХ НИИСХ ЦЧП им. В. В. Докучаева в Каменной степи на элементарных стоковых площадках данные позволяют оценить эволюцию водного баланса территории при ее хозяйственном освоении (табл. 3.18).

Они показывают, что запасы снеговой воды на сельскохозяйственной территории сильно (на 20-40 %) уменьшаются вследствие уничтожения пышной целинной растительности с большой долей высокостебельных растений и мощной рыхло сложенной "подушки" отмирающих на зиму трав целины, препятствующих сдуванию снега.

Таблица 3.18

**Водный баланс талых вод на склонах в Каменной степи  
в среднем за 1950-1958 гг. [84]**

Экосистема, угодье, агрофон	Водный баланс, мм			
	снегозапасы, мм	водопогло- щение, мм	сток, мм	коэффици- ент стока
<i>Заповедная территория</i>				
Степь некосимая (целина)	128	128	0	0
<i>Территория, измененная скотоводством</i>				
Степь выпасаемая	98	42	56	0,57
Степь косимая	80	41	39	0,49
<i>Территория, измененная земледелием</i>				
Стерня	103	43	60	0,58
Многолетние травы (люцерна)	98	40	58	0,59
Озимые	102	17	85	0,83
Зябь (вспашка)	78	47	31	0,40

На травянистой целине вся влага зимних осадков (в среднем 128 мм) без остатка поглощается почвой, т. е. поверхностный сток отсутствует полностью. Сенокосение и особенно выпас скота резко (в 3 раза) уменьшают просачивание влаги и увеличивают сток до 39-56 мм. На пашне (стерня и озимые) снеготопасы почти такие же как на сенокосах и пастбищах, а уменьшение просачивания влаги до 43-17 мм увеличивает сток до 58-85 мм (58-83 % от осадков).

Таким образом, скотоводство и земледелие привели к резкому ухудшению водного режима девственной территории. Если на целине все осадки холодного периода поглощались почвой и поверхностный сток отсутствовал, то в агроландшафтах потери зимних осадков за счет снеготопереноса и сублимации (испарение) увеличились на 25-50 мм, просачивание уменьшилось на 80-110 мм и сток возрос до 30-85 мм. Уменьшение поступления влаги в почву, таким образом, обусловлено в меньшей степени потерями осадков при снеготопереносе и в большей (главной) – снижением инфильтрационной способности почвы.

Уникальные материалы комплексных исследований водного баланса получены на Курском стационаре Института географии РАН, расположенном на территории Центрально-Черноземного государственного заповедника им. проф. В. В. Алехина (табл. 3.19) [113]. В целом они аналогичны данным, полученным в Каменной степи. Кроме того, следует отметить, что с выгонов (выпасаемая степь) в логах (лощинах) при запасах снеговой воды 365 мм средний сток талых вод достигал 240 (!) мм при коэффициенте стока 0,66. Повышенный сток с выгонов наблюдался также на водосборе балки Озерки (Каменная степь), составляя 10-54 (в среднем 33) мм при коэффициенте стока в среднем 0,20 (наши расчеты по публикации И. П. Сухарева [84]).

Оценки современного стока талых вод с пашни на европейской территории РФ, выполненные за 68 лет в 1948-2016 гг. ВНИАЛМИ, ИГ АН РАН, ВНИИЗиЗПЭ, Курской ЗОМС, НИИСХ ЦЧП им. В. В. Докучаева и другими научно-исследовательскими учреждениями РФ, обобщенные нами с использованием материалов Г. П. Сурмача [3, 7, 19], свидетельствуют о значительной разнице в стоке талых вод между естественными (лес, целина) и сельскохозяйственными угодьями (зять, озимые, многолетние травы и др.).

Отсутствие эрозии (или ничтожный смыл) на естественных угодьях, о котором писали В. В. Докучаев, П. А. Костычев, А. С. Козменко, Г. П. Сурмач и другие исследователи, подтверждается как данными

табл. 3.19, так и обобщением Е. А. Гаршинова [12]. На пахотных угодьях и при интенсивном выпасе скота на выгонах смыв достигает на Русской равнине в среднем 8-10 т/га и более, а в отдельные годы за один ливень может быть смыт весь пахотный горизонт (около 2000 т/га). Появляются и интенсивно растут овраги. Таким образом, антропогенный эрозионно-гидрологический процесс приобретает часто катастрофический характер, приводящий к сильнейшей деградации почвенного покрова и в целом среды обитания живого. Требуется неотложная разработка системы противоэрозионных мероприятий.

Таблица 3.19

**Весенний водный баланс разных угодий и смыв почвы на Курском стационаре ИГ АН СССР**

Угодье, агрофон	Водный баланс, мм			Коэффициент стока	Смыв почвы, мм
	снегозапасы	водопоглощение	сток		
Дубовый лес	160	157	3,3	0,019	0
Целина	140	130	10,0	0,071	0
Степь выпасаемая	120	74	46,0	0,380	0
Стерня	125	44	81,0	0,360	210
Озимые	110	29	81,0	0,740	430
Зябь (отвальная вспашка)	105	69	36,0	0,340	790

*Примечание. Водный баланс в среднем за 1962-1971 гг., смыв почвы – за 1962-1970 гг.*

### 3.4.2. Закономерности формирования поверхностного стока талых вод с сельскохозяйственных угодий на разных видах пашни

Вероятностная оценка речного стока в гидрологии применяется давно. Методы расчета поверхностного стока талых вод с сельхозугодий разной вероятности превышения из-за отсутствия рядов длительных наблюдений за ним не находили широкого применения. Ряды наблюдений за стоком были короткие (9-21 год), поэтому на основе статистического анализа не было возможности рассчитывать теоретические кривые вероятности превышения. Кривые обеспеченности, как правило, строились по эмпирическим точкам, что затрудняло осуществление их экстраполяции. Автором [63] был обобщен большой материал по поверхностному стоку талых вод с рыхлой и уплотненной пашни в зональном плане (лесостепь Западной Сибири, юг ЦРНЗ, ЦЧО, Поволжье и Северный Кавказ) и построены теоретические кривые обеспеченности



ности за период 30-35 лет. При этом были использованы материалы многих ученых страны, в т. ч. результаты исследований нескольких поколений ученых ВНИАЛМИ и его опытной сети, полученные под руководством Г. П. Сурмача, Е. А. Гаршинева и А. Т. Барабанова.

К сожалению, в последние примерно два десятилетия резко сократилось количество пунктов, на которых проводятся исследования поверхностного стока талых вод на сельскохозяйственных угодьях. В этой связи особую ценность представляют сохранившиеся водно-балансовые стационары с длительными периодами репрезентативных наблюдений в опытной сети ФНЦ агроэкологии РАН (бывший ВНИАЛМИ) в лесостепной, степной и полупустынной зонах европейской части РФ.

Мы дополнительно обобщили материалы, полученные за последние 26 лет (1991-2016) с учетом прежних обобщений автора. Сейчас имеются длительные ряды наблюдений (60-68 лет) за поверхностным стоком, которые позволяют осуществлять статистическую обработку полученных данных и строить теоретические кривые вероятности превышения стока. Необходимость дополнительного обобщения продиктована тем, что в предыдущих работах длина рядов наблюдений была недостаточной для характеристики поверхностного стока и его вероятностной оценки. Тем более в последние десятилетия произошли существенные изменения как климатические (наступил маловодный период, поверхностный сток практически отсутствовал), так и в хозяйственной деятельности (сокращение площади пашни, изменение структуры посевных площадей, применение новых агротехнологий, снижение общего уровня культуры земледелия и т. д.), что сильно повлияло на его формирование и статистические параметры. Эти данные позволили точнее подойти к оценке поверхностного стока талых вод и роли природных и антропогенных факторов в его формировании.

Особенностью рядов наблюдений за поверхностным стоком является наличие в них нулевых значений. Для математической обработки таких неоднородных совокупностей был применен способ, изложенный А. В. Рождественским [114]. Этот способ предусматривает построение кривой обеспеченности по ряду наблюдений без нулевых значений на основе определения показателей средней величины стока, коэффициента вариации и коэффициента асимметрии с использованием таблицы Фостера-Рыбкина [36]. Для перехода к кривой обеспеченности, соответствующей совокупности с нулевыми значениями, используется формула [114]

$$P_{(x)} = \frac{P_1(x) \cdot n_1}{n_1 + n_2}, \quad (52)$$

где  $P_{(x)}$ ,  $P_{1(x)}$  – вероятности превышения, соответствующие суммарной совокупности с нулевыми значениями и без них;  $n_1$ ,  $n_2$  – объем совокупности без нулевых и с нулевыми значениями.

Такой способ обработки данных позволил построить теоретические кривые вероятности превышения стока, которые хорошо аппроксимируют эмпирические точки исследуемых рядов (см. рис. 3.5), и вычислить показатели стока разной вероятности превышения (см. табл. 3.16).

В ФНЦ агроэкологии РАН в результате многолетних (60-68 лет) исследований элементов водного баланса по трем опытными эрозионным объектам, расположенным в трех географических зонах (лесостепная с серыми почвами, степная с обыкновенными черноземами и каштановыми почвами и полупустынная со светло-каштановыми почвами), получен уникальный материал, позволяющий дать характеристику поверхностного стока талых вод с разных видов пашни и оценку стокорегулирующей роли зяблевой обработки почвы.

*Юг ЦРНЗ, Орловская обл.* Поверхностный сток талых вод в лесостепной зоне на серых лесных почвах Орловской обл. начали изучать еще в 1923 г. под руководством А. С. Козменко, а затем работы были прекращены из-за начала Великой Отечественной войны и возобновлены в 1958 г. по инициативе профессора Г. П. Сурмача. Наблюдения за стоком талых вод в период с 1923 по 1941 г. проводили на водосборах площадью от 50 до 500 га. По данным А. С. Козменко и А. Д. Ивановского [3], показатели стока с водосборов в среднем составляли 70-80 мм при максимуме 100 мм. Коэффициент стока колебался от 0,70 до 0,93, в среднем составлял 0,85. Максимальный модуль стока достигал 11 л/с с 1 га, а средняя его величина составляла 3 л/с. На основании этих данных не представляется возможным охарактеризовать весенний сток с различных видов пашни.

Исследования после 1958 г. позволили дифференцировать данные по стоку на разных видах пашни – рыхлой и уплотненной, что очень важно знать при разработке систем адаптивно-ландшафтного земледелия на расчетной основе. Рассмотрим фактические данные по стоку с различных видов пашни за период 1959-2016 гг. Исследования проводили Г. П. Сурмач, В. Н. Дьяков, В. Л. Сухов, Л. Я. Королева, Е. А. Гаршинев, А. Т. Барабанов, Н. Е. Петелько, А. И. Петелько, В. П. Борец, Е. Я. Тубольцев, В. А. Иванова, О. В. Богачева и др. Све-

дения о весеннем поверхностном стоке и влагозапасах в снеге приведены в табл. 3.20.

Таблица 3.20

**Средние показатели поверхностного стока талых вод и запасов снеговой воды на серых лесных почвах лесостепи, Орловская обл.**

Год	Сток, мм	Запас снеговой воды, мм	Коэффициент стока	Сток, мм	Запас снеговой воды, мм	Коэффициент стока
	рыхлая пашня			уплотненная пашня		
1	2	3	4	5	6	7
1959	108	146	0,74	106	135	0,78
1960	81	136	0,60	117	150	0,78
1961	7	32	0,22	12	22	0,54
1962	13	22	0,59	21	23	0,91
1963	61	116	0,53	71	115	0,62
1964	58	121	0,48	91	113	0,80
1965	51	70	0,73	46	60	0,77
1966	4	77	0,05	3	105	0,03
1967	146	186	0,78	186	186	1,00
1968	0	169	0	26	145	0,18
1969	24	66	0,36	51	80	0,64
1970	83	192	0,43	94	221	0,42
1971	79	129	0,61	39	81	0,48
1972	15	56	0,27	15	56	0,27
1973	29	62	0,47	31	53	0,59
1974	29	50	0,58	44	49	0,89
1975	0	86	0	0	89	0
1976	0	137	0	3	160	0,02
1977	12	138	0,09	20	149	0,41
1978	0	91	0	20	177	0,11
1979	37	128	0,29	45	135	0,33
1980	29	135	0,21	42	153	0,27
1981	0	162	0	15	132	0,11
1982	2	100	0,02	5	100	0,05
1983	2	97	0,02	27	91	0,29
1984	12	41	0,29	18	67	0,27
1985	0	128	0	2	119	0,02
1986	33	77	0,43	36	175	0,48
1987	27	149	0,18	40	160	0,25
1988	21	118	0,18	42	123	0,34
1989	0	55	0	0	52	0
1990	23	44	0,51	25	49	0,51

Продолжение табл. 3.20

1	2	3	4	5	6	7
1991	34	84	0,40	52	89	0,58
1992	0	88	0	0	85	0
1993	17	42	0,40	14	45	0,31
1994	40	139	0,29	50	142	0,35
1995	0	114	0	4	118	0,03
1996	29	81	0,36	26	89	0,29
1997	1	56	0,02	26	71	0,37
1998	0	48	0	-	-	-
1999	0	144	0	-	-	-
2000	0	57	0	-	-	-
2001	0	81	0	-	-	-
2002	0	58	0	-	-	-
2003	46	96	0,48	71	152	0,47
2004	0	86	0	0	97	0
2005	0	115	0	0	115	0
2006	0	137	0	0	111	0
2007	0	79	0	0	62	0
2008	0	76	0	0	83	0
2009	0	97	0	0	102	0
2010	0	106	0	0	100	0
2011	0	122	0	0	107	0
2012	0	86	0	0	78	0
2013	0	122	0	0	144	0
2014	0	26	0	0	25	0
2015	0	43	0	0	42	0
2016	0	53	0	0	65	0
Среднее	20	96	0,21	30	103	0,29

*Примечание. При обобщении использовались данные, приведенные в работах Г. П. Сурмача, Е. А. Гаршинева, А. Т. Барабанова, Н. Е. Петелько, А. И. Петелько, Е. Я. Тубольцева, В. А. Ивановой, О. В. Богачёвой, В. П. Борца.*

Обобщенные данные за многолетний период показали, что очень сильный сток талых вод (по шкале интенсивности Г. П. Сурмача) на рыхлой пашне (зябь отвальная) был 3 года из 58, сильный – 5 лет, умеренный – 14, слабый – 5, очень слабый – 4 года, а 27 лет сток отсутствовал. На уплотненной пашне (многолетние травы, озимые и др.) за указанный период 10 лет поверхностного стока не было. В остальные годы величина стока была разной интенсивности. За 58 лет средняя величина поверхностного стока с рыхлой пашни составила 20 мм, коэффициент

стока 0,21, запасы снеговой воды 96 мм. Эти показатели на уплотненной пашне, в сравнении с отвальной зябью, были несколько выше и равнялись соответственно 30 мм; 0,29; 103 мм. Сток с уплотненной пашни, по сравнению с зяблевой вспашкой, был выше всего на 10 мм. Гидрологическая роль зяби здесь значительно ниже, чем в степной и полупустынной зонах. Даже в годы низкой вероятности превышения ( $p = 0,01 \%$ ) различие в величине стока не превышает 50 мм. Это соответствует ранее установленной учеными Института географии РАН зональной зависимости стока в лесной зоне [113].

Ход динамики весеннего стока на рыхлой и уплотненной пашне представлен на рис. 3.8. По нему видно, что поверхностный сток в значительной степени колеблется по годам и явно наблюдается тенденция его устойчивого снижения от 1959 к 2016 г., особенно в последние почти 20 лет.

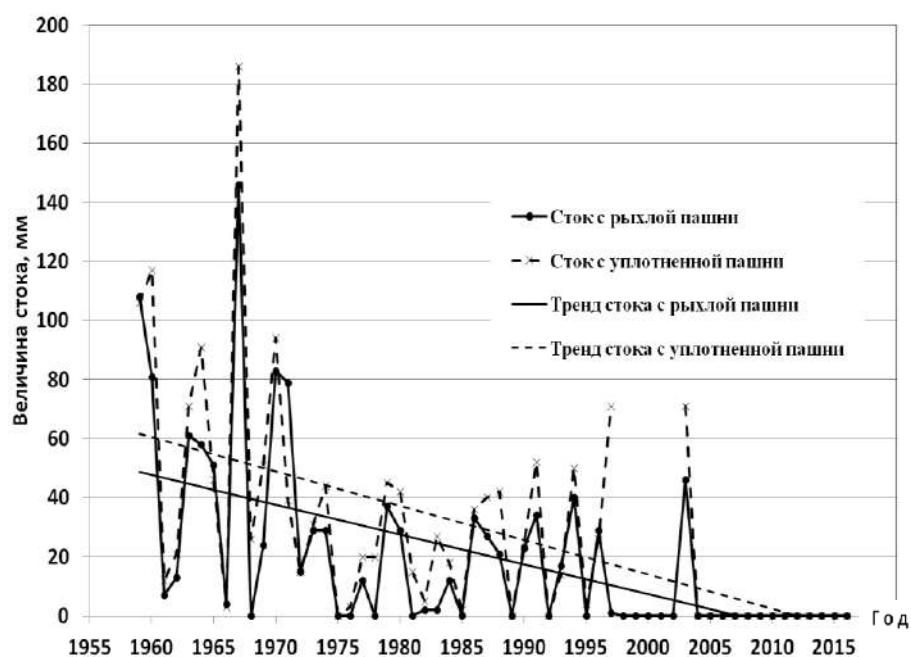


Рис. 3.8. Динамика поверхностного стока талых вод на серых лесных почвах лесостепи

По полученным многолетним данным нами рассчитаны и построены теоретические кривые вероятности превышения склонового стока для центральной лесостепи на серых лесных почвах с рыхлой и уплотненной пашни (рис. 3.9).

На графике видно, что на рыхлой пашне сток 20 %-ной вероятности превышения составляет 39 мм, а 70 %-ной обеспеченности — около 1 мм. На уплотненной пашне сток 70 %-ной обеспеченности превышает 7 мм, 20 %-ной — больше 50 мм. Отсюда следует, что

уплотненная пашня способствует незначительному увеличению стока талых вод по сравнению с рыхлой пашней.

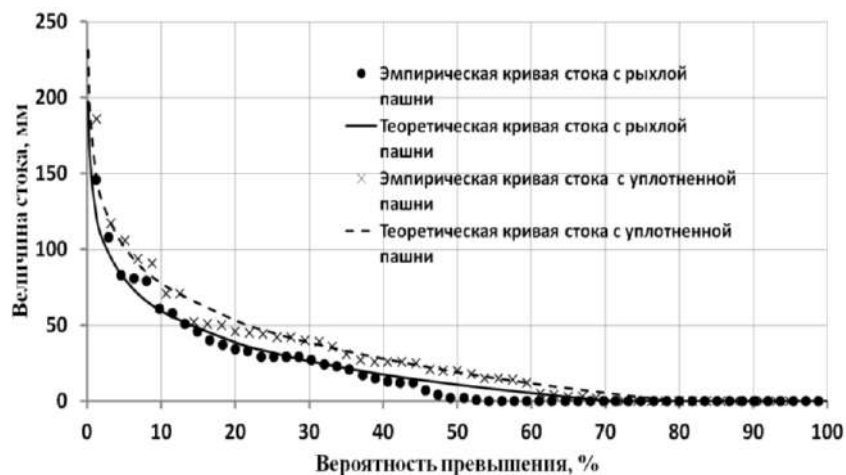


Рис. 3.9. Кривые вероятности превышения поверхностного стока талых вод с рыхлой и уплотненной пашни на серых лесных почвах Орловской обл.

Таким образом, в многолетних исследованиях выявлены нормативные величины поверхностного стока на рыхлой пашне и с уплотненной пашни. Полученные научные материалы являются необходимыми для расчетных методов разработки и проектирования противоэрозионных комплексов.

*ЦЧО, Курская обл., лесостепь, темно-серая лесная почва и выщелоченный чернозем.* К сожалению, для этого региона у нас нет данных инструментальных наблюдений за поверхностным стоком талых вод дифференцированно на разных видах пашни за период с 1982 по 2016 г. на темно-серой лесной почве и с 1989 по 2016 г. на выщелоченном черноземе. Поэтому мы восстановили их путем установления корреляционных связей. Это допущение несколько снижает точность определения величины стока в годы, когда он формируется. Годы, когда он отсутствует, определяются с высокой точностью. Осредненные показатели поверхностного стока и запасов снеговой воды на темно-серых лесных почвах и выщелоченных черноземах в лесостепи Курской обл. приведены в табл. 3.21. Они показывают, что на рыхлой пашне сток формируется значительно реже, чем на уплотненной пашне, и величина его меньше. Так, на рыхлой пашне стока не было на темно-серой лесной почве 23 года, а на уплотненной пашне — 18 лет из 45. На выщелоченном черноземе сток не сформировался на рыхлой пашне 26 лет из 47, а на уплотненной пашне — 15 лет из 41. Средняя величина стока с рыхлой пашни на темно-серой лесной почве за 45 лет составила 20 мм, а с уплотненной — 37 мм. На выщелоченном черноземе эти показатели были

**Средние показатели поверхностного стока и запасов снеговой воды  
на темно-серых лесных почвах и выщелоченных черноземах  
в лесостепи Курской обл.**

Год	Сток, мм	Запас снего- вой воды, мм	Коэффициент стока	Сток, мм	Запас снего- вой воды, мм	Коэффици- ент стока
	рыхлая пашня			уплотненная пашня		
1	2	3	4	5	6	7
<i>Темно-серая лесная почва</i>						
1961	18	42	0,43	(31)	-	-
1962	3	43	0,07	(37)	-	-
1963	54	70	0,77	(104)	-	-
1964	82	113	0,73	(114)	-	-
1965	11	63	0,18	(41)	-	-
1966	38	126	0,30	(58)	-	-
1967	46	108	0,43	(90)	-	-
1968	0	-	0	(26)	-	-
1969	18	36	0,50	(51)	-	-
1970	135	185	0,73	(180)	-	-
1971	28	36	0,78	(46)	-	-
1972	4	16	0,25	12	27	0,44
1973	22	44	0,50	42	50	0,84
1974	24	76	0,32	23	73	0,31
1975	0	48	0	27	93	0,29
1976	3	128	0,02	42	146	0,29
1977	25	132	0,19	65	157	0,41
1978	81	100	0,81	108	186	0,58
1979	63	80	0,19	108	154	0,70
1980	52	80	0,65	92	119	0,77
1981	25	134	0,19	84	128	0,66
1982	54	112	0,48	50	129	0,39
1983	(2)	-	-	(49)	-	-
1984	(14)	-	-	(28)	-	-
1985	(0)	-	-	(2)	-	-
1986	(38)	-	-	(56)	-	-
1987	(31)	-	-	(63)	-	-
1988	(24)	-	-	(66)	-	-
1989	(0)	-	-	(0)	-	-
1990	(27)	-	-	(39)	-	-
1991	(39)	-	-	(82)	-	-
1992	(0)	-	0	(0)	-	0
1993	(20)	-	-	(22)	-	-

Продолжение табл. 3.21

1	2	3	4	5	6	7
1994	(46)	-	-	(78)	-	-
1995	(0)	-	0	(6)	-	-
1996	(34)	-	-	(41)	-	-
1997	(0)	-	0	(41)	-	-
1998	(0)	-	0	(0)	-	0
1999	(0)	-	0	(0)	-	0
2000	(0)	-	0	(0)	-	0
2001	(0)	-	0	(0)	-	0
2002	(0)	-	0	(0)	-	-
2003	(53)	-	-	(85)	-	-
2004	(0)	-	0	(0)	-	0
2005	(0)	-	0	(0)	-	0
2006	(0)	-	0	(0)	-	0
2007	(0)	-	0	(0)	-	0
2008	(0)	-	0	(0)	-	0
2009	(0)	-	0	(0)	-	0
2010	(0)	-	0	(0)	-	0
2011	(0)	-	0	(0)	-	0
2012	(0)	-	0	(0)	-	0
2013	(0)	-	0	(0)	-	0
2014	(0)	-	0	(0)	-	0
2015	(0)	-	0	(0)	-	0
2016	(0)	-	0	(0)	-	0
Среднее	20	84	0,24	37	115	0,32
<i>Выщелоченный чернозем</i>						
1959	28	46	0,61	49	60	0,82
1960	58	116	0,50	140	154	0,91
1961	0	15	0	6	8	0,79
1962	18	36	0,50	14	45	0,31
1963	27	117	0,23	104	140	0,74
1964	11	151	0,07	118	166	0,71
1965	27	97	0,28	62	94	0,66
1966	1	111	0,01	42	137	0,31
1967	61	140	0,44	117	170	0,69
1968	0	185	0	95	189	0,50
1969	26	72	0,36	48	79	0,61
1970	98	187	0,52	207	222	0,93
1971	26	40	0,65	26	40	0,65
1972	0	12	0	3	16	0,18
1973	10	22	0,48	13	25	0,52



1	2	3	4	5	6	7
1974	15	58	0,26	9	17	0,53
1975	0	43	0	7	70	0,10
1976	0	185	0	12	120	0,10
1977	3	158	0,02	40	78	0,51
1978	15	94	0,16	54	106	0,51
1979	74	124	0,60	115	-	-
1980	58	110	0,53	70	101	0,69
1981	25	134	0,19	104	136	0,76
1982	54	112	0,48	54	129	0,42
1983	19	87	0,22	23	105	0,22
1984	1	26	0,04	8	47	0,16
1985	10	114	0,09	25	108	0,23
1986	21	72	0,29	29	54	0,54
1987	23	116	0,20	37	122	0,30
1988	65	104	0,62	67	100	0,67
1989	(0)	-	-	(0)	-	0
1992	(0)	-	-	(0)	-	0
1995	(0)	-	-	(4)	-	-
1997	(0)	-	0	-	-	-
1998	(0)	-	0	-	-	-
1999	(0)	-	0	-	-	-
2000	(0)	-	0	-	-	-
2001	(0)	-	0	-	-	-
2002	(0)	-	0	-	-	-
2004	(0)	-	0	(0)	-	0
2005	(0)	-	0	(0)	-	0
2006	(0)	-	0	(0)	-	0
2007	(0)	-	0	(0)	-	0
2008	(0)	-	0	(0)	-	0
2009	(0)	-	0	(0)	-	0
2010	(0)	-	0	(0)	-	0
2011	(0)	-	0	(0)	-	0
2012	(0)	-	0	(0)	-	0
2013	(0)	-	0	(0)	-	0
2014	(0)	-	0	(0)	-	0
2015	(0)	-	0	(0)	-	0
2016	(0)	-	0	(0)	-	0
Среднее	15	96	0,16	37	98	0,38

*Примечание. В скобках указаны восстановленные данные, полученные путем установления корреляционных связей.*

15 и 37 мм соответственно. В значительной степени величина стока колебалась по годам. На рис. 3.10 приведена динамика стока талых вод за 45 и 47 лет соответственно. Линии тренда показывают, что в целом величина стока с годами уменьшается, а в последние почти 20 лет он совсем не формировался.

Теоретические кривые вероятности превышения поверхностного стока для темно-серых лесных почв и выщелоченных черноземов с рыхлой и уплотненной пашни приведены на рис. 3.11. Они позволили определить показатели стока разной обеспеченности, необходимые для расчета стока при проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия. На графиках видны большие различия в величинах стока с рыхлой и уплотненной пашни. Они также показывают, что на уплотненной пашне поверхностный сток формируется почти ежегодно (7-9 лет из 10), а на рыхлой пашне только каждые 3-4 года и значительно меньший по величине. В очень многоводные по стоку вёсны сохраняется существенное различие в величине стока. Сток 10 %-ной вероятности превышения с рыхлой пашни составляет 25 мм, с уплотненной – 75 мм.

*ЦЧО, Воронежская обл., степь, обыкновенный чернозем.* В этом регионе исследования проводились в Каменной степи НИИСХ ЦЧП им. В. В. Докучаева. Они были ранее (до 1981 г.) обобщены автором. В последующие годы инструментальных наблюдений за стоком на сельскохозяйственных угодьях, к сожалению, не было. В большинстве этих лет поверхностный сток талых вод здесь не сформировался в связи с тем, что почва в эти годы на всей европейской части РФ была талая или промерзала на небольшую глубину. По этим показателям мы восстановили годы без стока по пунктам-аналогам. Таким образом, ряды по стоку с рыхлой и уплотненной пашни были удлинены на 21 год (табл. 3.22).

Анализ этих данных показал, что сток на обыкновенном черноземе ЦЧО формируется реже и величина его меньше, чем на выщелоченном черноземе. Средняя величина его на рыхлой пашне за 54 года составила 9, а на выщелоченном черноземе 15 мм. На уплотненной пашне эти показатели были соответственно 32 и 37 мм.

На обыкновенном черноземе на рыхлой пашне 29 лет из 54 сток отсутствовал, 5 лет он был сильный (48-97 мм), 4 года умеренный (14-24 мм) и 13 лет слабый (1-6 мм). На уплотненной пашне сток был очень сильный 10 лет из 49, 4 года сильный (25-38 мм), 3 года умеренный (21-25 мм) и 5 лет слабый (7-14 мм).

Ход динамики весеннего стока на рыхлой и уплотненной пашне показывает, что поверхностный сток сильно колеблется по годам и от-

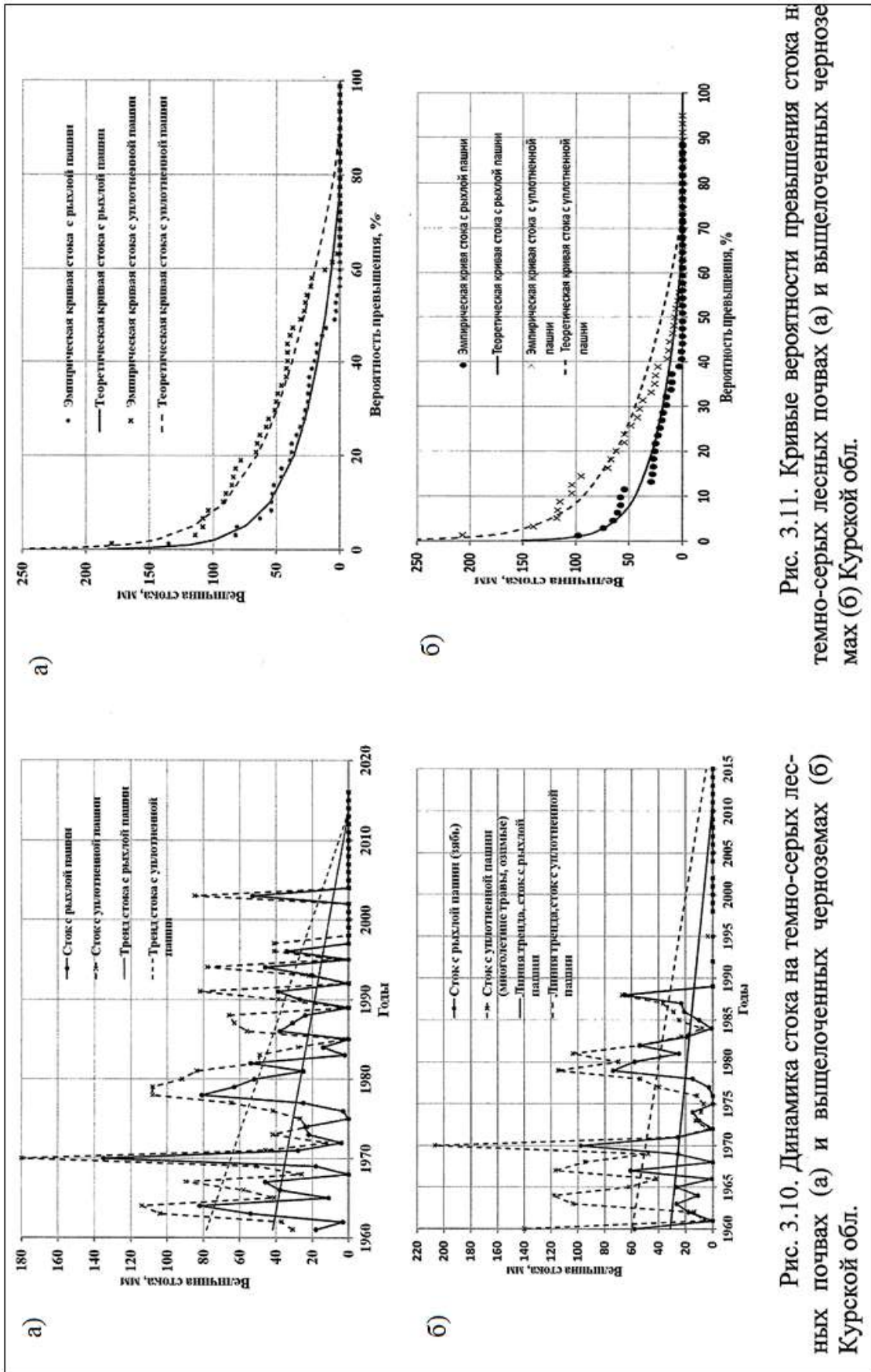


Рис. 3.11. Кривые вероятности превышения стока на темно-серых лесных почвах (а) и выщелоченных черноземах (б) Курской обл.

Рис. 3.10. Динамика стока на темно-серых лесных почвах (а) и выщелоченных черноземах (б) Курской обл.

мечается тенденция его устойчивого снижения от 1948 к 2016 г., особенно в последние два десятилетия (рис. 3.12).

Таблица 3.22

**Средние показатели поверхностного стока и запасов снеговой воды на обыкновенных черноземах в степи Воронежской обл.**

Год	Сток, мм	Запас снеговой воды, мм	Коэффициент стока	Сток, мм	Запас снеговой воды, мм	Коэффициент стока
	рыхлая пашня			уплотненная пашня		
1	2	3	4	5	6	7
1948	22	71	0,31	-	-	-
1949	2	85	0,02	38	88	0,29
1950	2	57	0,04	9	53	0,17
1951	3	62	0,05	31	109	0,28
1952	48	103	0,47	76	104	0,73
1953	68	106	0,64	92	108	0,85
1954	1	21	0,05	13	47	0,28
1955	73	162	0,45	109	162	0,67
1956	4	74	0,05	100	154	0,65
1957	97	119	0,82	97	119	0,82
1958	6	90	0,07	74	106	0,70
1959	1	43	0,02	54	111	0,49
1960	5	16	0,31	29	60	0,48
1961	0	(63)	0	40	63	0,64
1962	2	48	0,04	25	74	0,34
1963	60	137	0,44	101	120	0,84
1964	1	134	0,01	85	151	0,56
1965	6	57	0,11	14	39	0,36
1966	0	67	0	51	-	-
1967	0	147	0	21	-	-
1968	13	32	0,41	84	133	0,63
1969	0	0	0	36	89	0,40
1970	3	43	0,08	(95)	-	-
1971	14	26	0,53	19	34	0,56
1972	0	46	0	(0)	-	-
1973	0	26	0	(10)	-	-
1974	24	45	0,53	-	-	-
1975	0	58	0	(7)	-	-
1976	0	-	-	(10)	-	-
1977	2	-	-	(41)	-	-
1978	-	-	-	(40)	-	-
1979	-	-	-	37	-	-

1	2	3	4	5	6	7
1980	-	-	-	117	-	-
1981	-	-	-	11	-	-
1989	0	-	0	0	-	0
1992	0	-	0	0	-	0
1995	0	-	0	0	-	0
1998	0	-	0	-	-	-
1999	0	-	0	-	-	-
2000	0	-	0	-	-	-
2001	0	-	0	-	-	-
2002	0	-	0	-	-	-
2004	0	-	0	0	-	0
2005	0	-	0	0	-	0
2006	0	-	0	0	-	0
2007	0	-	0	0	-	0
2008	0	-	0	0	-	0
2009	0	-	0	0	-	0
2010	0	-	0	0	-	0
2011	0	-	0	0	-	0
2012	0	-	0	0	-	0
2013	0	-	0	0	-	0
2014	0	-	0	0	-	0
2015	0	-	0	0	-	0
2016	0	-	0	0	-	0
Среднее	9	70	0,13	32	96	0,33

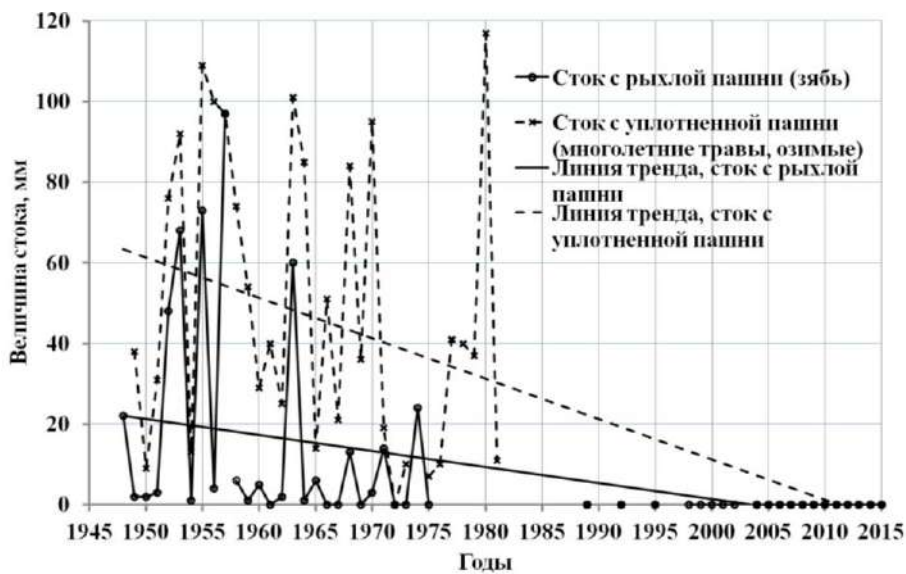


Рис. 3.12.  
Динамика стока на обыкновенных черноземах Воронежской обл.

По полученным многолетним данным нами рассчитаны и построены теоретические кривые вероятности превышения поверхностного стока для обыкновенного чернозема с рыхлой и уплотненной пашни (рис. 3.13). На графике видно, что на рыхлой пашне сток 10 %-ной вероятности превышения составляет 38 мм, 50 %-ной – 3 мм, а 70 %-ной обеспеченности – около 0 мм. На уплотненной пашне эти показатели соответственно были 78, 19 и 5 мм.

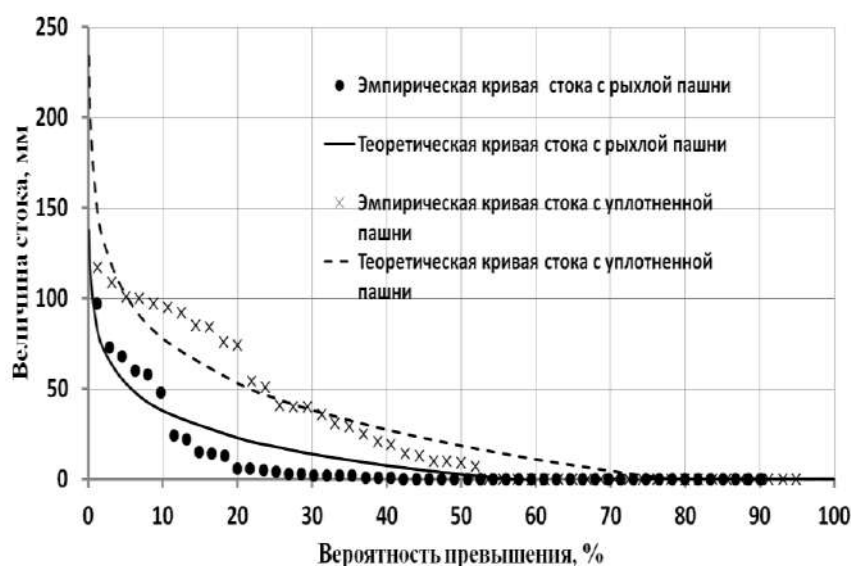


Рис. 3.13. Кривые вероятности превышения стока на обыкновенных черноземах Воронежской обл.

*Среднее Поволжье, Самарская обл.* Исследования поверхностного стока талых вод и других элементов весеннего баланса в степной зоне на обыкновенном черноземе Самарской обл. были начаты Г. П. Сурмачем в 1952 г. на полях Тимашевского агролесомелиоративного опорного пункта в составе комплексной экспедиции Почвенного института им. В. В. Докучаева. Позднее они были продолжены под его руководством научными сотрудниками Поволжской АГЛОС ВИАЛМИ [7, 10]. В разные годы (1959-1963) этой проблемой занимались также В. С. Бобров, Н. В. Надеждина, Л. Г. Богаченко, В. П. Пастушков, В. И. Панов. Последние 52 года исследования проводил В. И. Панов. Получен непрерывный (1959-2016 гг.) гидрологический ряд наблюдений (табл. 3.23).

Анализ полученных материалов показывает, что величины поверхностного стока талых вод и других элементов водного баланса в Самарской обл. отличаются большой изменчивостью, большой амплитудой колебаний, чередованием лет (вёсен) разной водности – от очень маловодных (величина стока от 0-5 мм) до очень многоводных (сток 50-70 мм и более). Из 58 лет стока с рыхлой пашни не было 33

года, сильный сток был 2 года, умеренный – 5 лет, слабый – 11, очень слабый – 7 лет. На уплотненной пашне за 51 год поверхностного стока не было 12 лет. В остальные годы величина стока была разной интенсивности: чрезвычайно сильный сток был 1 год, очень сильный – 4, сильный – 17, умеренный – 7, слабый – 8, очень слабый – 2 года. Отмечается большая гидрологическая роль зяблевой пахоты (глубокого рыхления почвенного слоя) по сравнению с уплотненной пашней. В среднем за 58 лет слой стока с зяби составил всего 7 мм, в то время как на угодьях с уплотненной почвой сток был в 5,1 раза больше (36 мм). На рыхлой пашне среднемноголетняя величина впитавшейся талой воды достигла 112 мм, а на уплотненной – 92 мм, т. е. за счет рыхлости сложения пахотного слоя поглощено 20 мм.

Таблица 3.23

**Средние показатели поверхностного стока и запасов снеговой воды на обыкновенных черноземах в степи Самарской обл.**

Год	Сток, мм	Запас снеговой воды, мм	Коэффициент стока	Сток, мм	Запас снеговой воды, мм	Коэффициент стока
	рыхлая пашня			уплотненная пашня		
1	2	3	4	5	6	7
1959	0	65	0	32	278	0,12
1960	0	78	0	53	137	0,39
1961	0	68	0	27	120	0,23
1962	0	51	0	11	65	0,17
1963	0	104	0	12	138	0,09
1964	34	170	0,20	58	140	0,41
1965	2	93	0,02	49	135	0,36
1966	27	136	0,20	50	188	0,27
1967	0	51	0	18	110	0,16
1968	24	109	0,22	81	189	0,43
1969	0	58	0	6	74	0,08
1970	16	98	0,16	86	117	0,74
1971	5	45	0,11	44	74	0,59
1972	1	123	0,01	26	98	0,27
1973	8	52	0,15	54	111	0,49
1974	12	106	0,11	65	103	0,60
1975	0	66	0	37	81	0,46
1976	0	114	0	15	79	0,19
1977	1	70	0,01	43	139	0,31
1978	11	112	0,10	30	145	0,21
1979	32	199	0,16	127	164	0,77

Продолжение табл. 3.23

1	2	3	4	5	6	7
1980	17	165	0,10	56	142	0,39
1981	9	154	0,06	50	123	0,41
1982	3	57	0,05	65	87	0,75
1983	8	110	0,08	55	103	0,53
1984	0	114	0	26	97	0,27
1985	52	167	0,31	88	123	0,72
1986	13	154	0,08	75	112	0,67
1987	3	228	0,01	42	214	0,20
1988	54	181	0,30	98	116	0,84
1989	0	192	0	17	185	0,09
1990	14	131	0,11	54	137	0,39
1991	12	113	0,11	60	118	0,54
1992	0	141	0	23	137	0,17
1993	0	118	0	7	110	0,06
1994	4	115	0,03	27	138	0,20
1995	0	128	0	-	-	-
1996	0	131	0	-	-	-
1997	40	195	0,20	-	-	-
1998	0	207	0	-	-	-
1999	0	157	0	-	-	-
2000	0	154	0	-	-	-
2001	0	134	0	30	142	0,21
2002	0	128	0	0	117	0
2003	0	134	0	0	154	0
2004	0	124	0	0	102	0
2005	12	112	0,10	41	154	0,27
2006	0	78	0	19	84	0,23
2007	0	91	0	0	109	0
2008	0	121	0	0	139	0
2009	0	50	0	0	63	0
2010	0	112	0	-	-	-
2011	0	128	0	0	126	0
2012	0	148	0	0	137	0
2013	0	129	0	0	138	0
2014	0	115	0	0	182	0
2015	0	98	0	0	162	0
2016	0	105	0	0	174	0
Среднее	7	117	0,06	36	128	0,28



Ход динамики величин стока в исследуемый период представлен на рис. 3.14. Он подтверждает наличие определенных условий в появлении многоводных и маловодных периодов формирования поверхностного стока, а в последние два десятилетия почти полное его отсутствие, что связано со слабым промерзанием почвы и грунта.

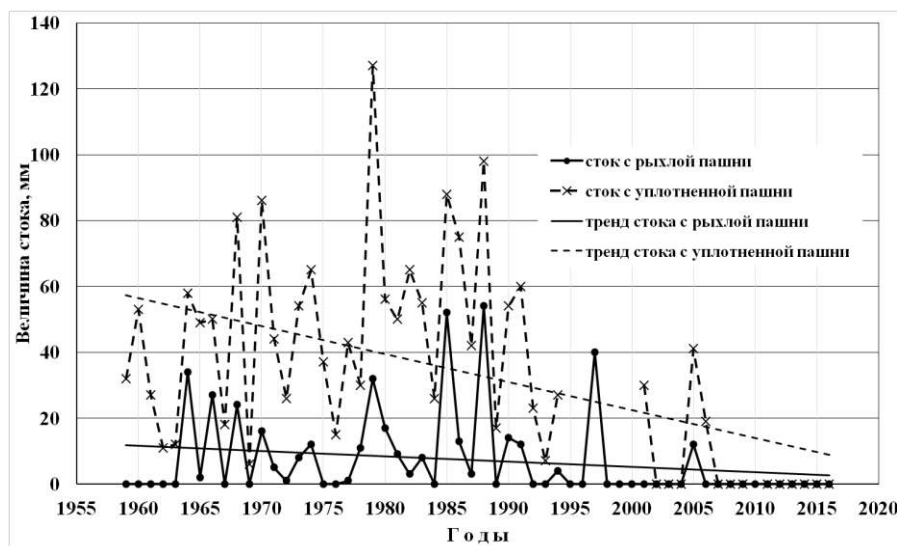


Рис. 3.14. Динамика поверхностного стока талых вод с рыхлой и уплотненной пашни на обыкновенных черноземах Самарской обл.

Приведенные материалы дают представление и о водопоглощении. Среднегодовая величина инфильтрации (впитывание, водопоглощение) на зяби составила 118 мм, а на угодьях с уплотненной почвой – 85, или на 33 мм меньше.

Полученные многолетние статистические ряды по поверхностному стоку позволили построить теоретические кривые вероятности превышения поверхностного стока талых вод (рис. 3.15). Они показывают,

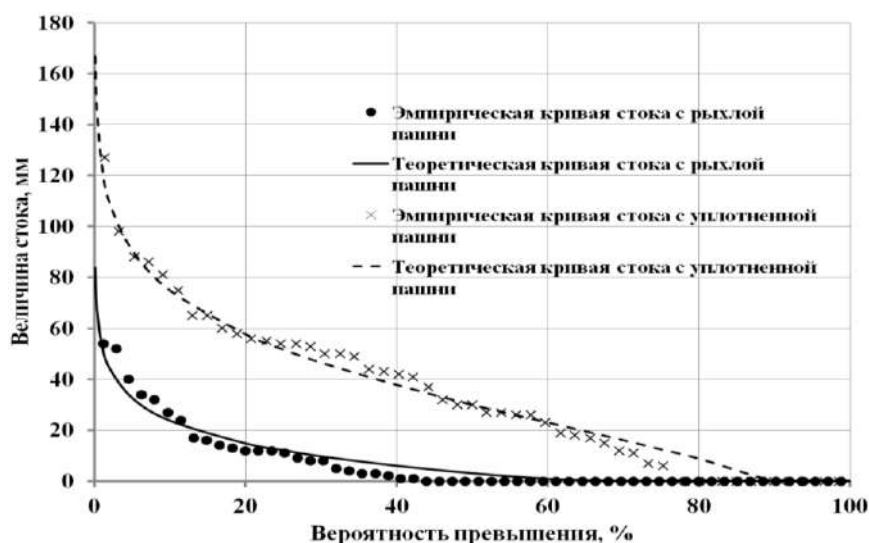


Рис. 3.15. Кривые вероятности превышения поверхностного стока талых вод с рыхлой и уплотненной пашни на обыкновенных черноземах Самарской обл.

что на уплотненной пашне поверхностный сток формируется почти ежегодно (8-9 лет из 10), а на отвальной глубокой зяби (25-28 см) только каждые 4-5 лет и значительно меньший по величине. В очень многоводные вёсны при вероятности превышения 0,01 % сохраняется существенное различие по величине стока в 80-85 мм. Сток 10 %-ной вероятности превышения с зяби составляет 25 мм, с уплотненной почвы – 75 мм

*Нижнее Поволжье, Волгоградская обл., каштановые и темно-каштановые почвы.* Ниже даны обобщенные нами результаты многолетних исследований поверхностного стока и других элементов весеннего водного баланса на двух объектах ФНЦ агроэкологии РАН, расположенных в районе г. Камышина (каштановые почвы) и ст-цы Клетской (темно-каштановые почвы) [5, 115-117]. Также были использованы материалы исследований, полученные под руководством автора на Камышинском опорном пункте ВНИАЛМИ (сейчас Нижневолжская станция по селекции древесных пород – филиал ФНЦ агроэкологии РАН) В. И. Антоновым, на Клетском опорном пункте ВНИАЛМИ (Клетская НИАГЛОС – филиал ФНЦ агроэкологии РАН) Ю. М. Суковатовым и А. И. Узолиным. В результате обобщения имеющиеся до сих пор ряды наблюдений удлинены на 26 лет. Материалы этих обобщений приведены в табл. 3.24.

Таблица 3.24

**Средние показатели поверхностного стока талых вод и запасов снеговой воды на каштановых и темно-каштановых почвах в степи Волгоградской обл.**

Год	Сток, мм	Запас снеговой воды, мм	Коэффициент стока	Сток, мм	Запас снеговой воды, мм	Коэффициент стока
	рыхлая пашня			уплотненная пашня		
1	2	3	4	5	6	7
<i>Камышинский р-н, каштановая почва</i>						
1946	7	-	-	32	60	0,53
1947	2	77	0,03	38	79	0,48
1948	13	50	0,26	38	62	0,61
1949	0	31	0	5	57	0,07
1950	0	-	0	14	-	-
1951	3	-	-	30	-	-
1952	0	-	0	20	-	-
1953	0	-	0	20	-	-
1954	0	-	0	14	-	-
1955	5	-	-	30	-	-

1	2	3	4	5	6	7
1956	12	-	-	30	-	-
1957	27	-	-	75	-	-
1958	7	-	-	28	-	-
1959	0	-	0	20	-	-
1960	4	90	0,04	47	80	0,59
1961	2	46	0,04	23	50	0,46
1962	4	37	0,11	19	47	0,40
1963	4	85	0,05	88	107	0,82
1964	1	61	0,02	12	71	0,17
1965	10	-	-	30	-	-
1966	0	-	-	9	-	-
1967	0	108	0	0	99	0
1968	0	122	0	1	109	0,01
1969	17	52	0,33	30	50	0,60
1970	21	115	0,18	70	108	0,65
1971	30	52	0,58	45	62	0,73
1972	0	14	0	0	21	0
1973	0	-	0	0	-	0
1974	4	47	0,09	2	67	0,03
1975	1	92	0,01	2	92	0,02
1976	0	-	0	50	-	-
1977	1	51	0,02	-	-	-
1978	5	49	0,10	-	-	-
1979	11	106	0,10	-	-	-
1980	2	64	0,03	-	-	-
1981	6	23	0,26	-	-	-
1982	3	49	0,06	8	47	0,17
1983	29	52	0,56	45	54	0,82
1984	0	18	0	2	28	0,11
1985	0	(65)	0	19	65	0,29
1986	38	54	0,71	45	71	0,63
1987	0	159	0	17	152	0,11
1988	21	47	0,45	32	81	0,40
1989	4	87	0,09	12	49	0,24
1990	19	40	0,48	33	40	0,83
1991	-	-	-	11	48	0,21
1992	0	44	0	0	42	0
1993	0	22	0	0	26	0
1996	0	48	0	0	48	0
1997	0	19	0	0	19	0

1	2	3	4	5	6	7
<i>Клетский р-н, темно-каштановая почва</i>						
1998	0	35	0	0	35	0
1999	-	-	-	10	27	0,37
2000	0	31	0	0	31	0
2001	0	17	0	0	17	0
2002	0	29	0	0	29	0
2003	-	-	-	26	80	0,30
2004	0	-	0	0	-	0
2005	0	28	0	0	(28)	0
2006	0	43	0	0	(43)	0
2007	0	51	0	0	(51)	0
2008	0	22	0	0	(22)	0
2009	0	(23)	0	0	23	0
2010	0	14	0	0	(14)	0
2011	0	10	0	0	(10)	0
2012	0	55	0	0	(55)	0
2013	0	14	0	0	(14)	0
2014	0	25	0	0	(25)	0
2015	0	21	0	0	(21)	0
2016	0	(10)	0	0	(10)	0
Среднее	5	50	0,10	17	52	0,33

*Примечание. В скобках указаны показатели, полученные путем установления корреляционных связей.*

Анализ многолетних данных показал, что сток талых вод на рыхлой пашне (зябь отвальная) 54 года из 66 отсутствовал или был очень слабый (до 7 мм), слабый сток был 6 лет и умеренный – 6 лет. На уплотненной пашне (многолетние травы, озимые и др.) 27 лет из 63 поверхностного стока не было совсем или он был очень слабый, 14 лет – слабый, 13 лет – умеренный, 7 лет – сильный и очень сильный. Средняя величина поверхностного стока с рыхлой пашни – 5 мм, коэффициент стока 0,10, запасы снеговой воды – 50 мм, а с уплотненной пашни эти показатели были соответственно 17 мм; 0,33; 52 мм. Разница в стоке с уплотненной и рыхлой пашни была всего 12 мм. Динамика поверхностного стока талых вод за 71 год представлена на рис. 3.16. Он показывает, что поверхностный сток сильно колеблется по годам от 0 до 38 мм на рыхлой пашне и от 0 до 88 на уплотненной. Тренд его динамики за период от 1946 до 2016 г. указывает на значительное снижение стока от

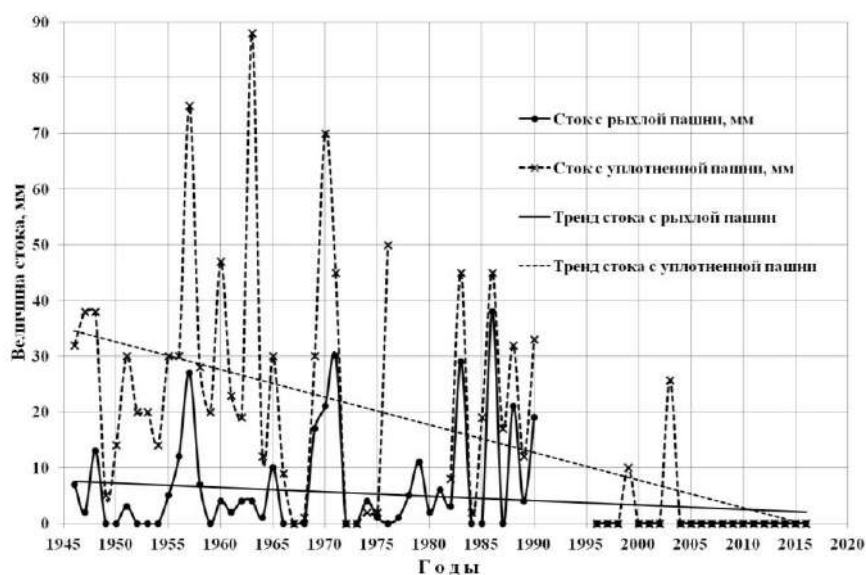


Рис. 3.16. Динамика поверхностного стока талых вод на каштановых и темно-каштановых почвах Волгоградской обл.

начала периода к его концу, особенно на уплотненной пашне. А в последние два десятилетия поверхностный сток не формировался совсем как на рыхлой, так и на уплотненной пашне. Это связано с тем, что почва в этот период ко времени весеннего снеготаяния была талая или промерзала на небольшую глубину (до 50 см).

На основе этих данных построили теоретические кривые вероятности превышения стока с рыхлой и уплотненной пашни, которые хорошо аппроксимируют эмпирические точки исследуемых рядов наблюдений (рис. 3.17), и вычислили показатели стока разной вероятности превышения. Кривые вероятности превышения стока показывают, что на рыхлой пашне он формируется только 5 лет в десятилетие, а на уплотненной – 8 лет.

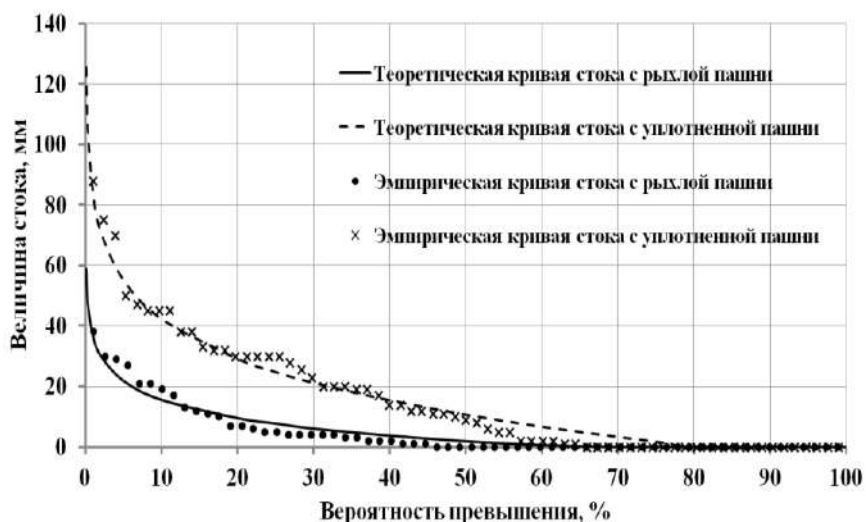


Рис. 3.17. Кривые вероятности превышения поверхностного стока талых вод с рыхлой и уплотненной пашни на каштановых и темно-каштановых почвах Волгоградской обл.

Нижнее Поволжье, Волгоградская обл., полупустыня, светло-каштановые почвы. Здесь были обобщены материалы наших исследований по формированию поверхностного стока с рыхлой (отвальная зябь) и уплотненной (многолетние травы, озимые, стерня и др.) пашни и по полученным результатам построены теоретические кривые вероятности превышения. В результате имеющиеся до сих пор ряды наблюдений удлинены до 50-66 лет. Эти данные позволяют более точно подойти к оценке поверхностного стока талых вод и роли хозяйственной деятельности в его формировании. Материалы этих обобщений приведены в табл. 3.25.

Таблица 3.25

**Средние показатели снеготазпасов и поверхностного стока талых вод на светло-каштановой почве Волгоградской обл.**

Год	Сток, мм	Запасы снего-вой воды, мм	Коэффициент стока	Сток, мм	Запасы снего-вой воды, мм	Коэффициент стока
	рыхлая пашня			уплотненная пашня		
1	3	2	4	6	5	7
1950	0	35	0	12	45	0,27
1951	22	31	0,70	-	-	-
1952	4	101	0,04	-	-	-
1953	0	28	0	-	-	-
1954	0	55	0	-	-	-
1955	0	22	0	-	-	-
1956	26	55	0,47	-	-	-
1957	4	26	0,15	25	40	0,63
1958	8	47	0,16	25	40	0,63
1959	0	93	0	51	92	0,55
1960	0	16	0	10	16	0,62
1961	0	21	0	13	18	0,73
1962	1	74	0,02	34	77	0,44
1963	36	92	0,39	76	137	0,55
1964	2	61	0,03	27	74	0,36
1965	4	31	0,14	25	41	0,61
1966	0	15	0	7	15	0,47
1967	0	143	0	0	189	0
1968	16	44	0,36	30	150	0,20
1969	0	11	0	3	17	0,18
1970	7	129	0,05	36	136	0,26
1971	1	75	0,01	33	85	0,39
1972	0	22	0	0	23	0
1973	0	89	0	2	96	0,02

1	3	2	4	6	5	7
1974	0	41	0	5	49	0,10
1975	1	20	0,05	7	27	0,26
1976	0	26	0	7	36	0,19
1977	5	54	0,09	43	124	0,35
1978	13	17	0,76	35	73	0,48
1979	45	147	0,31	58	164	0,35
1980	0	41	0	10	63	0,16
1981	0	0	0	0	0	0
1982	0	17	0	-	-	-
1983	0	0	0	0	0	0
1984	0	0	0	0	0	0
1985	0	39	0	-	-	-
1986	6	30	0,20	7	32	0,22
1987	0	99	0	0	98	0
1988	5	44	0,11	21	27	0,84
1989	3	25	0,12	39	45	0,87
1990	0	38	0	5	47	0,11
1991	0	22	0	0	17	0
1992	0	39	0	0	42	0
1993	0	17	0	0	14	0
1994	13	55	0,23	58	64	0,90
1995	0	52	0	0	58	0
1996	0	79	0	0	70	0
1997	0	60	0	0	60	0
1998	0	10	0	0	37	0
1999	-	-	-	10	27	0,37
2000	0	21	0	0	24	0
2001	0	14	0	-	-	-
2002	0	219	0	-	-	-
2003	3	50	0,06	11	35	0,31
2004	1	26	0,04	12	32	0,37
2005	0	18	0	0	19	0
2006	0	78	0	-	-	-
2007	0	5	0	-	-	-
2008	0	31	0	-	-	-
2009	0	44	0	0	31	0
2010	0	89	0	2	58	0,03
2011	0	15	0	-	-	-
2012	0	70	0	-	-	-
2013	0	41	0	-	-	-

1	3	2	4	6	5	7
2015	0	43	0	0	78	0
2016	0	8	0	0	10	0
Среднее	3	47	0,06	15	55	0,27

*Примечание. При обобщении были использованы материалы Г. П. Сурмача, А. Т. Барабанова, В. П. Борца, И. Г. Зыкова, Ю. В. Бондаренко, В. М. Ивонина.*

Анализ этих материалов показывает, что величины поверхностного стока талых вод и других элементов водного баланса на светло-каштановой почве Волгоградской обл. значительно меньше, чем на обыкновенных черноземах Самарской обл. и тем более на серых лесных почвах Орловской обл. Они варьируют от очень маловодных (величина стока от 0-4 мм) до величин средней водности (сток 36-45 мм). Приведенные материалы дают представление о гидрологической роли рыхлой пашни в сравнении с уплотненной. В среднем за 65 лет слой стока с зяби составил всего 3 мм, в то время как на угодьях с уплотненной почвой сток был в 5 раз больше (15 мм). Коэффициент стока на рыхлой пашне составил 0,08, а снегозапасы 36 мм, на уплотненной пашне эти показатели были соответственно 0,26; 57 мм. На рыхлой пашне из 66 лет стока не было 44 года, очень слабый сток был 15 лет, слабый – 4 года, умеренный – 2 года, сильный 11 лет и очень сильный 7 лет, а на уплотненной пашне за 50 лет поверхностного стока не было 21 год, очень слабый сток был 9 лет, слабый – 4 года, умеренный – 11 лет, сильный – 4 года, и очень сильный – 1 год. Ход динамики величин стока на светло-каштановой почве в исследуемый период представлен на рис. 3.18. Он также показывает, что величины стока как на рыхлой, так и на уплотненной пашне колеблются в значительной степени, и отмечается так же, как и в Среднем Поволжье, ЦЧО и в ЦРНЗ резкое снижение его в последние два десятилетия. Это связано с тем, что почва перед весенним снеготаянием почти все эти годы в лесостепной, степной и полупустынной зонах Русской равнины была талая или промерзала на небольшую (до 50 см) глубину.

Полученные материалы многолетних наблюдений позволили построить теоретические кривые вероятности превышения стока талых вод на рыхлой и уплотненной пашне (рис. 3.19), которые хорошо аппроксимируют эмпирические точки исследуемых рядов наблюдений, вычислить показатели стока разной вероятности превышения и стокорегулирующий



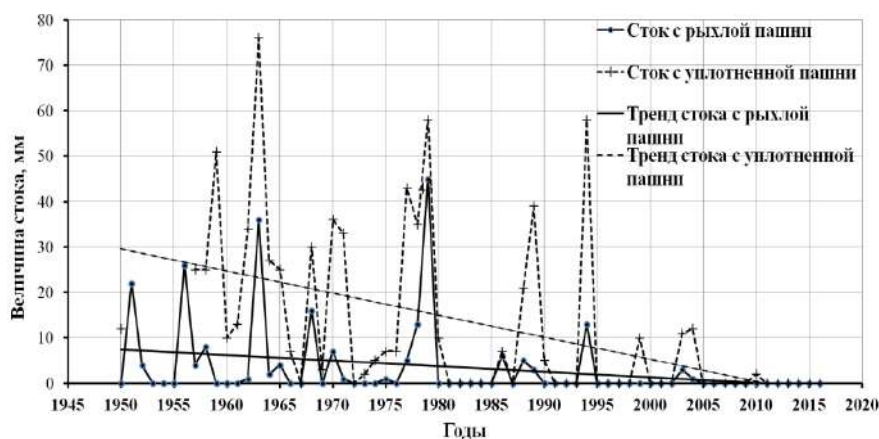


Рис. 3.18. Динамика поверхностного стока талых вод на светло-каштановых почвах Волгоградской обл.

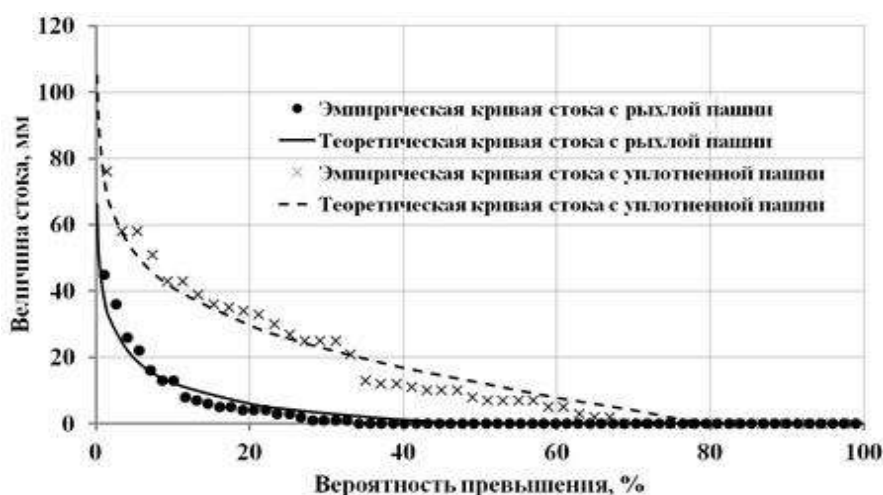


Рис. 3.19. Кривые вероятности превышения поверхностного стока талых вод с рыхлой и уплотненной пашни на светло-каштановых почвах Волгоградской обл.

эффект зяби. Они показывают, что на отвальной зяби поверхностный сток формируется 2-3 года в десятилетие, а на уплотненной пашне – 6-8 лет из 10 и величина его значительно больше (см. табл. 3.25).

Показатели поверхностного стока талых вод с уплотненной и рыхлой пашни разной вероятности превышения по природным зонам приведены в табл. 3.26. Анализ их показал, что величины стока разной вероятности превышения уменьшаются при движении с севера на юг и юго-восток, а разница в стоке на рыхлой и уплотненной пашне увеличивается. Такая тенденция наблюдается и при анализе величин стока по годам. Однако в отдельные годы наблюдается инверсия стока, когда в лесостепной зоне он не формируется или бывает меньше, чем в степной и полупустынной зонах, где он значительный. Это указывает на то, что на формирование стока мощное воздействие оказывают природные факторы, особенно глубина промерзания, влажность почвы и снеготпасы, которые формируются в разных зонах под влиянием различных климатических условий, изменяющихся по годам.

Таблица 3.26

**Средние и разной вероятности превышения показатели  
поверхностного стока талых вод с уплотненной и рыхлой пашни, мм**

Зона, область, почва	Паш- ня	Сред- нее	Вероятность превышения, %							C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>
			1	5	10	50	70	80	90		
Лесостепная, Орлов- ская, серая лесная	1	30	156	101	78	19	5	0	0	1,27	1,68
	2	20	129	81	59	11	0	0	0	1,52	1,96
Лесостепная, Курская: темно-серая лесная выщелоченный черно- зем	1	37	169	115	91	28	12	4	0	1,07	1,45
	2	20	118	74	55	11	2	0	0	1,36	2,07
	1	37	192	123	93	20	2	0	0	1,44	1,41
	2	15	98	61	44	6	0	0	0	1,76	1,55
Степная, Воронеж- ская, обыкновенный чернозем	1	32	157	102	78	19	5	0	0	1,30	0,95
	2	9	88	53	38	3	0	0	0	2,40	2,11
Степная, Самарская, обыкновенный черно- зем	1	36	124	91	75	30	16	9	0	0,87	0,88
	2	7	54	33	24	3	0	0	0	1,79	2,05
Степная, Волгоград- ская: темно-каштановая светло-каштановая	1	17	84	55	42	11	5	2	0	1,24	1,72
	2	5	37	21	15	2	0	0	0	1,80	2,31
	1	15	75	52	41	12	4	0	0	1,19	1,14
	2	3	38	20	12	0	0	0	0	2,43	3,42

*Примечание. Вид пашни: 1 – уплотненная, 2 – рыхлая; C<sub>v</sub> – коэффициент вариации, C<sub>s</sub> – коэффициент асимметрии.*

Анализ этих данных показал, что средние величины стока с уплотненной пашни при движении от серых лесных почв (лесостепь) к светло-каштановым (полупустыня) снижаются с 30 до 15 мм. На рыхлой пашне темпы снижения значительно ниже.

**3.4.3. Оценка влияния характера использования пашни  
на формирование стока талых вод**

Общий характер кривых вероятности превышения стока (см. рис. 3.9, 3.11, 3.13, 3.15, 3.17, 3.19) выявляет закономерное увеличение разности в слое стока на рыхлой и уплотненной пашне при уменьшении значений вероятности превышения. При движении от лесостепи к степи и полупустыне эта разница увеличивается, т. е. она в значительной степени изменяется в зависимости от водности года: в маловодные годы – небольшая, а в многоводные – очень большая. Это связано с тем, что в годы, когда создаются условия для формирования значительного стока,

впитывающая способность почвы снижается в большей степени на уплотненной пашне, чем на рыхлой, т. е. при отвальной обработке даже при самых неблагоприятных погодных условиях инфильтрационная способность почвы полностью не исчерпывается. Неровности на зяби, формирующиеся при обработке почвы, период снеготаяния обуславливают более раннее появление проталин и тем самым способствуют потере части стока на впитывание. На уплотненной же пашне, особенно при формировании ледяной корки, водопроницаемость мерзлой почвы в отдельные годы приближается к нулю. Количественно стокорегулирующий эффект зяблевой обработки выражается показателями, приведенными в табл. 3.27. Он зависит от водности года – увеличивается с уменьшением вероятности превышения стока, т. е. от маловодных к многоводным вёснам, и при движении с юга на север. Коэффициенты снижения стока с рыхлой пашни по сравнению с уплотненной уменьшаются с уменьшением водности. В зональном плане они мало изменяются.

Таблица 3.27

**Показатели стокорегулирующей роли зяби в годы разной водности**

Область, почва	Вероятность превышения стока, %						
	1	5	10	50	70	80	90
Орловская, серая лесная	$\frac{27}{1,21}$	$\frac{20}{1,25}$	$\frac{19}{1,32}$	$\frac{8}{1,73}$	$\frac{5}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
Курская: темно-серая лесная выщелоченный чернозем	$\frac{51}{1,43}$	$\frac{41}{1,55}$	$\frac{36}{1,65}$	$\frac{17}{2,54}$	$\frac{10}{6}$	$\frac{4}{0}$	$\frac{0}{0}$
	$\frac{94}{1,96}$	$\frac{62}{2,02}$	$\frac{49}{2,11}$	$\frac{14}{3,33}$	$\frac{2}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
Воронежская, обыкновенный чернозем	$\frac{69}{1,78}$	$\frac{49}{1,92}$	$\frac{40}{2,05}$	$\frac{16}{6,33}$	$\frac{5}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
Самарская, обыкновенный чернозем	$\frac{70}{2,30}$	$\frac{58}{2,76}$	$\frac{51}{3,12}$	$\frac{27}{10}$	$\frac{16}{0}$	$\frac{9}{0}$	$\frac{0}{0}$
Волгоградская: каштановая светло-каштановая	$\frac{47}{2,27}$	$\frac{34}{2,62}$	$\frac{27}{2,8}$	$\frac{9}{5,5}$	$\frac{5}{0}$	$\frac{2}{0}$	$\frac{0}{0}$
	$\frac{37}{1,97}$	$\frac{32}{2,6}$	$\frac{29}{3,42}$	$\frac{12}{0}$	$\frac{4}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$

*Числитель – разница в стоке с уплотненной и рыхлой пашни, знаменатель – соотношение стока с уплотненной и рыхлой пашни.*

Если судить о стокорегулирующем эффекте по относительным показателям (коэффициентам), то он увеличивается от многоводных к маловодным вёснам, т. е. при небольших абсолютных величинах стока (в

маловодные годы) относительная разница значительная, а при больших – наоборот. Поэтому только по относительным коэффициентам нельзя давать оценку стокорегулирующей роли зяби. Кривые, характеризующие связь стока с рыхлой и уплотненной пашни близки к прямой линии (рис. 3.20) и по всем исследуемым пунктам идут примерно параллельно.

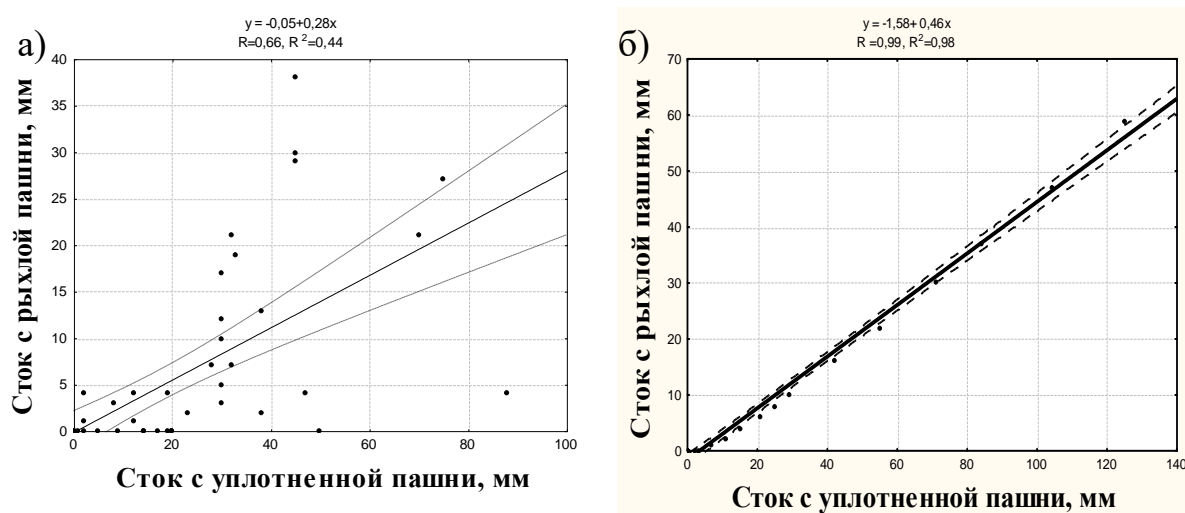


Рис. 3.20. Графики связи стока с рыхлой и уплотненной пашни, построенные по экспериментальным данным (а) и равнообеспеченным показателям (б)

Эти кривые аппроксимируются уравнением

$$y = a + vx, \quad (53)$$

где  $x$  – сток с рыхлой пашни, мм;  $y$  – сток с уплотненной пашни, мм. Показатели коэффициента  $v$  для всех кривых очень близкие (табл. 3.28). Это указывает на одинаковый, интразональный характер связи для всех рассматриваемых районов. Отличаются уравнения только величиной свободного члена, который равен максимальной величине стока с уплотненной пашни в год, когда отсутствует сток с рыхлой пашни. Отсюда можно предположить, что допустима экстраполяция этой закономерности за пределы рассматриваемых районов, по крайней мере на ближайшие области. Корреляционный анализ материалов выявил весьма высокую тесноту связи – коэффициент корреляции по всем пунктам близок к 1. Относительные ошибки расчетных показателей стока, по сравнению с экспериментальными данными, в области значений стока с рыхлой пашни свыше 1 мм колеблются всего от  $-5\%$  до  $+6\%$ , в области очень малых значений ( $< 1$  мм) ошибка достигает  $14\%$ .

По приведенному уравнению связи (53) можно рассчитывать сток разной вероятности превышения по одному из видов пашни, имея дан-

Таблица 3.28

**Параметры уравнения (53) связи стока с уплотненной и рыхлой пашни, полученные по экспериментальным и равнообеспеченным показателям стока**

Зона, область, почва	Экспериментальные			Равнообеспеченные		
	<i>a</i>	<i>b</i>	коэф. корреляции	<i>a</i>	<i>b</i>	коэф. корреляции
Лесостепь, Орловская, серая лесная	18	1,1	0,93	3	1,2	0,99
Лесостепь, Курская: темно-серая лесная выщелоченный чернозем	26	1,0	0,81	3	1,4	0,99
	25	1,4	0,74	19	1,6	0,98
Степь, Воронежская, обыкновенный чернозем	36	0,8	0,63	18	1,5	0,99
Степь, Самарская, обыкновенный чернозем	31	1,8	0,79	24	2,1	0,98
Степь, Волгоградская, каштановая	17	1,2	0,59	10	1,8	0,98
Полупустыня, Волгоградская, светло-каштановая	13	1,4	0,72	7	1,8	0,99

ные по другому виду. Величины стока за любой конкретный год можно рассчитывать по этому же уравнению, используя его параметры (см. табл. 3.28). Показатели коэффициента *b* также мало отличаются по зонам, т. е. они интразональные. Хотя коэффициент корреляции варьирует в значительной степени (0,59-0,93), по этому уравнению можно довольно точно считать сток талых вод.

#### 3.4.4. Влияние стокорегулирующих лесополос на природные факторы формирования поверхностного стока талых вод

Лесомелиоративные мероприятия, являясь важнейшим антропогенным фактором адаптивно-ландшафтной системы земледелия, играют многофункциональную роль. Им придается особое значение и оценить его можно только во взаимосвязи с другими элементами. По своему назначению и мелиоративному воздействию лесные полосы подразделяются на полезащитные, стокорегулирующие, прибалочные и приовражные. Воздействуя на природные факторы (снегозапасы, влажность и промерзание почвы, температура воздуха и почвы и др.), они влияют на засухи и суховеи, эрозионно-гидрологические процессы и урожайность сельскохозяйственных культур. Согласно закону

*лимитирующих факторов стока* важнейшими природными факторами, влияющими на эрозионно-гидрологические процессы, являются только снеготаяния, увлажнение и промерзание почвы. Известно, что лесные полосы оказывают мощное воздействие на эти природные факторы. Рассмотрим их влияние.

Закономерность снеготаяния и снеготаяния на склонах разных экспозиций в связи с характером ветрового режима следующая. На снеготаяния склонах мощность снежного покрова сверху вниз увеличивается, а на снеготаяния уменьшается. Это обуславливает разный характер снеготаяния и обнажения почвы. На снеготаяния склонах раньше обнажается от снега почва на нижних участках, т. е. идет постепенное снеготаяния снизу вверх. При этом поступающая сверху на нижележащие участки склонов вода вызывает интенсивный смыв почвы. На снеготаяния склонах, наоборот, почва освобождается от снега сверху вниз, а стекающая вода поступает в снег и эрозия протекает менее интенсивно. Поэтому снеготаяния необходимо регулировать так, чтобы мощность снежного покрова увеличивалась сверху вниз по склону. Для этого можно использовать разные способы: лесные полосы, кулисы из сельскохозяйственных растений, снеготаяния путем распашки и уплотнения снега и др.

Лесные полосы как постоянно действующий фактор оказывают мощное влияние на накопление снега и характер снеготаяния. Причем влияние это зависит от ветрового режима, способа их размещения, конструкции, параметров (количество рядов, ширина и др.), расстояния между ними. Как в зональном плане, так и на разных элементах рельефа и при различной ориентации к странам света это воздействие бывает разным в лесных полосах плотной конструкции и в коротких снежных шлейфах накапливается много снега, в ажурных полосах снега собирается меньше и снежные шлейфы длиннее, а продуваемые полосы наиболее равномерно распределяют снег на полях. Причем в самих лесополосах его иногда может быть меньше, чем в поле. С точки зрения жизнеобеспечения лесных полос и влияния их на эрозионно-гидрологический процесс они сильно отличаются друг от друга. Лесополосы плотной конструкции, собирая в себе и в коротких шлейфах много снега, могут полностью предохранять почву от промерзания или резко уменьшать его глубину, что часто обуславливает полное или почти полное водопоглощение на этих участках и обеспечение деревьев влагой. На снеготаяния в поле они мало

воздействуют. Необходимо решение задачи борьбы с эрозией почв в межполосном пространстве. Полосы продуваемой конструкции, несмотря на общее увеличение снегозапасов, мало влияют на глубину промерзания почвы, что снижает их стокорегулирующие возможности, а повышенные снегозапасы могут приводить к увеличению стока и эрозии. Лесополосы ажурной конструкции занимают промежуточное положение по воздействию на указанные показатели.

Это общая схема влияния лесополос на снегонакопление и снегоотложение. В зональном плане в зависимости от рельефа, ветрового режима, конструктивных особенностей лесополос и других факторов она может меняться. В европейской части РФ, где не выражено или слабо выражено господствующее направление метельных ветров, снегоотложение под влиянием лесополос происходит в основном по описанной выше схеме без особой дифференциации по экспозициям склонов.

Таким образом, оценивая в целом снегоотложение на склонах, следует отметить, что на него влияет много факторов. На склонах без лесомелиорации оно в значительной степени зависит от характера ветрового режима и экспозиции склонов. Наиболее мощным антропогенным фактором являются стокорегулирующие лесные полосы. Они способствуют перераспределению снега на водосборе, накоплению и сохранению большого количества его на полях.

Влияние лесных полос на снегозапасы и снегоотложение важно знать и учитывать не только как фактор, влияющий непосредственно на сток и эрозию почв, но и на увлажнение и промерзание почвы, которые в свою очередь являются также факторами эрозионно-гидрологического процесса. Специфический характер снегоотложения под воздействием лесных полос обуславливает и соответствующий характер увлажнения и промерзания почвы как в самих лесополосах, так и на полях, т. е. эти природные факторы влияют на эрозионно-гидрологические процессы во взаимодействии как между собой, так и с антропогенными (лесные полосы).

Вопрос о влиянии лесных полос на влажность почвы изучался многими исследователями. Все они в основном рассматривали его с позиций увлажнения почвы полей и лесов и совершенно недостаточно внимания уделяли влажности как фактору стока и эрозии. Для этого важно знать характер увлажнения почвы перед уходом ее в зиму. Анализ литературных данных и наши наблюдения показывают, что в абсолютном большинстве случаев лесные полосы способствуют уве-

личению влажности почв весной. Неравномерное снегоотложение приводит к неоднородному увлажнению ее. В лесополосах и шлейфовых частях межполосных пространств почва увлажняется сильнее, чем в межшлейфовых частях и в открытом поле.

Однако в результате более интенсивного расходования влаги в течение лета деревьями и сельскохозяйственными растениями осенью запасы воды в почве в лесополосах, шлейфовых зонах и в открытых полях выравниваются, а в лесополосах они даже иногда бывают ниже. То есть почва в зиму уходит по уровню увлажнения примерно в одинаковом состоянии как в лесных полосах, так и на прилегающих к ним участках и в открытых полях.

Таким образом, лесные полосы как антропогенный фактор слабо воздействуют на природный фактор стока – увлажнение почвы в предзимний период – и не оказывают через него существенного влияния на сток талых вод или способствуют некоторому его уменьшению.

Очень важным природным фактором стока, на который большое влияние оказывают лесные полосы, является глубина промерзания почвы. Известно, что талая или промерзшая на небольшую глубину (до 50 см) почва сохраняет высокую способность впитывать снеговую воду и стока не бывает независимо от уровня увлажнения почвы и снегозапасов. При более глубоком промерзании формируется сток в зависимости от уровня увлажнения почвы и снегозапасов. В этом случае глубина промерзания не играет роли. Снег, обладая хорошими теплоизоляционными свойствами, предохраняет почву от промерзания. Лесные полосы, являясь мощным фактором снегоотложения, в значительной степени воздействуют на характер промерзания почвы.

Особенности снегоотложения по природным зонам откладывают отпечаток и на характер влияния лесных полос на глубину промерзания почвы, которое в значительной степени зависит от сроков установления устойчивого снежного покрова и морозов. Для предохранения почвы от замерзания достаточно того, чтобы мощность снега была 20-30 см к началу установления морозов и в дальнейшем увеличивалась до 50-80 см по мере усиления их. Такое количество снега часто накапливается в лесных полосах и вблизи от них при первых же метелях. С полей без лесных полос он, как правило, уносится и почва остается незащищенной.

Обобщение и анализ многолетних данных по глубине промерзания почвы в лесных полосах, под их защитой и в открытом поле поз-



волили выявить ряд интересных фактов и зависимостей. Почва предохраняется от замерзания или глубина промерзания ее бывает небольшой в лесополосах и под снежными шлейфами. В межшлейфовых частях межполосного пространства и в открытом поле она промерзает глубоко и примерно одинаково.

В лесостепи европейской части Российской Федерации, где ветровой режим относительно однородный, средняя глубина промерзания почв в лесополосах составляет 33 см, а в открытом поле 72 см. Глубина промерзания меньше 50 см бывает в открытом поле в годы с 25 %-ной вероятностью превышения (4 года в десятилетие), а в лесополосах – 65 %-ной (6-7 лет в десятилетие). В Нижнем Поволжье роль лесных полос в предохранении почвы от промерзания значительно выше. На каштановых почвах (в районе Камышина) средняя глубина промерзания почвы в открытом поле – 59 см, в лесополосах 26, на светло-каштановых почвах эти показатели соответственно составляют 70 и 20 см. Совсем почва не замерзает в лесополосах – 3-4 года в десятилетие, а в открытом поле на каштановой почве – 1 раз в десятилетие, на светло-каштановой – 1 раз в 20 лет. Промерзание почвы до 50 см в лесополосах бывает в годы с 90-97 %-ной вероятностью превышения, т. е. почти ежегодно она бывает талой или промерзает на небольшую глубину. В открытом поле в таком состоянии почва бывает в годы с 40-50 %-ной вероятностью превышения, т. е. 4-5 лет в десятилетие.

Большие различия во влиянии лесополос на предохранение почвы от глубокого промерзания связаны с сочетанием сроков установления снежного покрова и морозов, а также с гидрометеорологическими условиями зимнего периода.

Оценивая в целом влияние лесных полос на глубину промерзания почвы, следует сказать, что с помощью лесополос можно в значительной степени регулировать ее. Лесополосы во всех зонах способствуют уменьшению глубины промерзания. В условиях, когда снег распределяется равномерно в системе лесополос, влияние их на глубину промерзания снижается. В европейской части РФ влияние лесных полос на уменьшение глубины промерзания при движении на юг и юго-восток увеличивается.

Резюмируем изложенное о влиянии контурных стокорегулирующих лесополос на природные факторы стока – снегозапасы, увлажнение почвы и глубину ее промерзания. Лесополосы, оказывая мощное воздействие на снегоотложение, способствуют накоплению большего количе-

ства снега и при равномерном его распределении могут обуславливать повышение стока талых вод. При неравномерном распределении снега, когда образуются снежные сугробы, которые предохраняют почву от глубокого промерзания, и водопоглощение сохраняется на высоком уровне, лесополосы способствуют сокращению стока талых вод. Лесные полосы мало влияют на предзимнее увлажнение почвы, а в связи с этим и на сток. В ряде случаев, когда в лесополосах почва бывает суше, чем в открытом поле, они могут способствовать некоторому его снижению.

Таким образом, зная роль природных факторов в формировании стока и влияние на них лесных полос, можно управлять ими. В связи с тем, что стокорегулирующие лесные полосы наиболее мощно воздействуют на природные факторы эрозионно-гидрологического процесса через снегораспределительные функции, их необходимо и регулировать в первую очередь на основе знания закономерностей снегоотложения.

Стокорегулирующие лесные полосы, оказывая мощное воздействие на природные факторы (снегоотложение, увлажнение почвы, глубина и характер ее промерзания), в сильной степени влияют на водопоглощение и сток талых вод. Закономерности влияния природных факторов на сток талых вод и взаимодействие антропогенных и природных факторов рассмотрены в работах автора [38, 63, 118]. Здесь же мы дадим оценку стокорегулирующей эффективности лесных полос как одного из элементов почвозащитной системы земледелия, чтобы определить роль и место в ней лесомелиорации.

Таким образом, стокорегулирующая роль противоэрозионных лесных полос выше, чем агротехнических мероприятий, однако она недостаточна для эффективной защиты почв от эрозии. Поэтому необходимо применять их в сочетании с другими элементами системы земледелия.

#### 3.4.5. Влияние агротехнических противоэрозионных мероприятий на формирование поверхностного стока талых вод

Данные о роли агротехнических противоэрозионных мероприятий в формировании стока талых вод, смыва почвы и урожая сельхозкультур были обобщены и глубоко проанализированы, дана характеристика каждому приему [63]. Здесь же мы дадим общую оценку агротехническим противоэрозионным мероприятиям с учетом полученных данных за последний 24-летний период.

Агротехнические противоэрозионные приемы относятся к группе приемов, влияющих на водопоглощение и сток рассредоточенно по всей территории. Их действие направлено на задержание осадков на месте их выпадения и защиту почв от эрозии на всей территории. Их, в свою очередь, по характеру воздействия и назначению можно разделить на 4 основные группы. В 1-ю входят приемы, направленные на радикальное улучшение водно-физических свойств почв и, главным образом, на повышение водопроницаемости: углубление пахотного слоя (глубокая вспашка и безотвальное рыхление), окультуривание, искусственное оструктуривание почвы, щелевание, кротование и др. Ко 2-й группе относятся приемы, направленные на поверхностное водозадержание: поперечная и контурная вспашка зяби, создание искусственного микрорельефа (лункование, прерывистое бороздование, обвалование, микролиманы и др.). В 3-ю входят приемы, обеспечивающие высокую противоэрозионную устойчивость почвы: поверхностные обработки, плоскорезная обработка, мульчирование поверхности почвы и др. В 4-ю группу можно отнести приемы, направленные на регулирование снегоотложения и снеготаяния: снегозадержание (снегопах, кулисы, лесополосы и др.), полосное зачернение, уплотнение, распашка снега с целью регулирования снеготаяния.

В литературе очень часто ошибочно отводится большая роль в регулировании стока агротехническим мероприятиям. Наши исследования и обобщение имеющихся данных позволили дать количественную оценку их стокорегулирующей и противоэрозионной эффективности (табл. 3.29).

Глубокая зяблевая вспашка на светло-каштановых почвах способствует сокращению стока в среднем на 5 мм и смыва на  $0,9 \text{ м}^3/\text{га}$ , на обыкновенных черноземах сток снижается на 6 мм, смыв на  $0,4 \text{ м}^3/\text{га}$ , на черноземах ЦЧО и Нечерноземья снижение стока и смыва соответственно составляет 8 мм и  $1,66 \text{ м}^3/\text{га}$ , а на серых лесных почвах сток уменьшался на 12 мм. Эти данные могут служить нормативной базой при построении комплекса противоэрозионных мероприятий на расчетной основе.

Стокорегулирующая эффективность поперечной пахоты низкая. Г. П. Сурмач [5] обобщил 62 годоопыта и проанализировал большой литературный материал и результаты собственных исследований о гидрологической роли поперечной зяблевой вспашки по зонам европейской части страны от подзолистых до светло-каштановых почв. Он

пришел к выводу, что на вариантах с поперечной вспашкой по сравнению с продольной сток в большинстве случаев сокращался на величину до 5-6 мм, а в ряде случаев он был одинаковый или даже выше. Учитывая это обобщение, а также последующие наши и результаты других исследований, можно сделать вывод о том, что в среднем стокорегулирующий эффект поперечной пахоты не превышает 2-3 мм. Так же низка стокорегулирующая роль контурной обработки. Это связано с тем, что гребни поперечной и контурной пахоты не представляют собой сплошных преград, они имеют частые разрывы, понижения, через которые свободно стекает талая вода. Те небольшие бороздки, которые имеются на пашне, перепружены комочками земли, поэтому вода течет не вдоль них, а вниз по склону через понижения в гребнях. Емкость микрорельефа на зяби, вспаханной вдоль и поперек склона, мало различается. Наши измерения показали, что она составляла при продольной вспашке 15,8, а при поперечной 17,4 мм.

Таблица 3.29

**Эффективность агротехнических противоэрозионных приемов**

Прием	Кол-во годоопы- тов	Уменьшение (-) или увеличение (+) в сравнении с контролем		
		сток, мм	смыв, т/га	урожай, ц/га
Глубокая зяблевая вспашка	22	-6	-0,9	+1,2
Щелевание зяби	6	-3	-0,3	-0,1
Вспашка поперек склона или по контуру	14	-2	-0,4	+0,8
Обвалование зяби	39	-5	-0,2	+1,1
Ступенчатая вспашка	14	-1	-1,1	+1,2
Комбинированная вспашка	25	+2	0	+0,1
Прерывистое бороздование	48	-2	+0,2	+0,9
Лункование зяби	62	+1	+0,1	+0,7
Устройство микролиманов	17	-2	+0,1	+1,8
Плоскорезная обработка	75	+2	-0,1	-0,4
Мульчирование зяби соломой	4	-6	-0,8	+5,3
Полосное зачернение снега	5	-5	+1,4	+1,0
Полосное укрытие снега соломой	4	-4	+0,3	+1,3

Искусственный микрорельеф на зяби также малоэффективен. Нами совместно с Г. П. Сурмачем и Е. А. Гаршиным [34, 46, 119, 120] обобщены имеющиеся данные, которые свидетельствуют о том, что стокорегулирующая и противоэрозионная эффективность его низ-

кая. Из 215 годоопытов (случаев) положительный стокорегулирующий эффект от применения искусственного микрорельефа наблюдается в 39 % случаев, отрицательный – 31 и нулевой 30 %. В 64 % случаев эффект был всего  $\pm 5$  мм, что находится в пределах точности опыта. Средние же величины эффекта колеблются около нуля. В прямой зависимости от стокорегулирующей находится и его противоэрозионная эффективность. Средняя величина сокращения смыва на серых лесных почвах при применении обвалования 0,7 т/га, а на лункованной зяби смыв увеличился в среднем на 0,2 т/га.

Причина низкой его эффективности в следующем. Величина стокорегулирующего эффекта искусственного микрорельефа на зяби обуславливается емкостью микрорельефа, впитывающей способностью почвы и разницей между снегозапасами на контрольном варианте и варианте с микрорельефом (снегозадерживающий эффект). Емкость микрорельефа является величиной постоянной. Она зависит от вида орудия, применяемого для устройства микрорельефа и составляет 30-40 мм. Разница в снегозапасах на контроле и на варианте с микрорельефом также величина постоянная, она связана с емкостью микрорельефа и составляет 10-15 мм. Эта величина отрицательная и чем больше абсолютное значение ее, тем меньше стокорегулирующий эффект. Важнейшим показателем, который обуславливает стокорегулирующий эффект и который, как правило, не учитывается, является впитывающая способность почвы. Эффект от микрорельефа мог бы быть равным или больше величины его емкости, если бы впитывающая способность почвы на опытном варианте была бы равна или больше, чем на контроле, а снегозапасы на обоих вариантах одинаковые, т. е. мы достигли бы ожидаемого эффекта.

Однако, во-первых, микрорельеф играет снегозадерживающую роль, что приводит к снижению эффекта, а во-вторых, как показывают исследования [63], при устройстве микрорельефа снижается водопроницаемость почвы. Причины снижения водопроницаемости следующие: уплотнение почвы гусеницами трактора и колесами орудий при поделке микрорельефа после вспашки и рабочими органами орудий при его устройстве в самих емкостях микрорельефа; уменьшение мощности рыхлого слоя в днище емкости, что равносильно уменьшению глубины вспашки, а это, как известно, приводит к уменьшению впитывающей способности почвы; образование наилка и закупорка пор в связи с формированием микростока и смыва с бортов емкостей

во время осенних дождей; переувлажнение почвы в днищах емкостей с осени и последующая закупорка пор льдом зимой; образование льда в емкостях микрорельефа.

Таким образом, созданные искусственные емкости микрорельефа не компенсируют потери на впитывании и сток не сокращается. Стокорегулирующий эффект искусственного микрорельефа будет зависеть при прочих равных условиях от степени снижения впитывающей способности почвы при его устройстве.

Рассмотрим возможные случаи изменения стокорегулирующего эффекта при изменении водопроницаемости почвы. Если величина водопоглощения на варианте с микрорельефом  $W_m$  в сумме с величиной слоя водозадержания  $V$  и разницей в снеготасах на контроле и опытном варианте  $\Delta O$  будут больше величины водопоглощения на контроле  $W_k$  ( $W_m + V + \Delta O > W_k$ ), то стокорегулирующий эффект  $\mathcal{E}$  будет больше нуля, т. е. положительный (табл. 3.30).

Таблица 3.30

**Показатели стокорегулирующего эффекта при разных величинах впитывающей способности почвы на варианте с микрорельефом**

Показатель	$W_m + V + \Delta O > W_k$		$W_m + V + \Delta O = W_k$	$W_m + V + \Delta O < W_k$	
	50	40	30	20	10
$W_m$	50	40	30	20	10
$V$	30	30	30	30	30
$\Delta O$	-10	-10	-10	-10	-10
$W_m + V + \Delta O$	70	60	50	40	30
$W_k$	50	50	50	50	50
$\mathcal{E}$	+20	+10	0	-10	-20

Если впитывающая способность почвы на варианте с микрорельефом уменьшается до такой величины, что она в сумме с объемом водозадержания и разницей в снеготасах будет равна впитывающей способности почвы на контроле ( $W_m + V + \Delta O = W_k$ ), то эффект будет равен нулю, т. е. объем емкости микрорельефа компенсирует потери на впитывании. И если впитывающая способность почвы в результате устройства микрорельефа уменьшится до такой степени, что в сумме с указанными выше показателями она будет меньше впитывающей способности почвы на контроле ( $W_m + V + \Delta O < W_k$ ), то эффект будет отрицательный, т. е. объем емкостей микрорельефа не компенсирует потери на впитывании.

Таким образом, несмотря на то, что мы создали емкости определенного объема, мы не достигли желаемого эффекта, так как в результате их создания уменьшили впитывающую способность почвы.

Проиллюстрируем сказанное примерами. Примем разницу в снегозапасах на контроле и на опытном варианте, равную  $-10$  мм, слой водоудержания в емкости микрорельефа  $30$  мм, а суммарное водопоглощение на контроле  $50$  мм. Подставив в уравнение (см. табл. 3.30) эти величины, получим показатели стокорегулирующего эффекта при разных величинах впитывающей способности на варианте с микрорельефом.

При величине водопоглощения на варианте с микрорельефом, равной водопоглощению на контроле или близкой к ней ( $40-50$  мм), стокорегулирующий эффект положительный. Снижение водопоглощения до  $30$  мм приводит эффект к нулю, а дальнейшее снижение его обуславливает отрицательный эффект.

Итак, если нам удастся добиться устройства микрорельефа без уменьшения впитывающей способности почвы, т. е.  $W_m = W_k$ , то эффективность микрорельефа будет равна объему водозадержания в емкостях минус снегозадерживающий эффект.

Таким образом, созданные искусственные емкости микрорельефа не компенсируют потери на впитывании и сток не сокращается. Кроме того, когда отдельные емкости переполняются и размываются, то создается "лавиновый эффект" и размываются остальные.

Пути повышения стокорегулирующей эффективности могут быть следующие: сохранение впитывающей способности почвы на уровне контроля и увеличение ее, создание емкостей маленьких по размеру, но с большим суммарным объемом водозадержания. Сохранения впитывающей способности почвы на вариантах с искусственным микрорельефом на уровне контроля или увеличения ее можно достигнуть мульчированием поверхности почвы, применением искусственных структурообразователей, совместным применением микрорельефа и лесных полос и др. Но эти меры сильно не повысят стокорегулирующую эффективность микрорельефа, так как он почти не влияет на природные факторы (глубина промерзания, влажность почвы, снегозапасы), обуславливающие формирование стока.

Щелевание уплотненной пашни по разным данным в основном способствовало небольшому сокращению стока и повышению продуктивности. В ряде случаев такого эффекта не было или было даже увеличение стока. Это связано с разнообразием условий проведения исследований, различием методов и др. Например, при небольшой глубине промерзания, когда почва на дне щелей бывает талая (глубина щелевания обычно не более  $50$  см), стокорегулирующий эффект щелевания

бывает высоким. Щели, заполненные соломой или другим мульчматериалом, предохраняющим почву от замерзания, также работают высокоэффективно. Щели открытые осыпаются землей, обычно глубоко промерзают, после оттепелей заполняются льдом, становятся водонепроницаемыми и эффект от щелевания бывает отрицательный.

Из анализа всей совокупности литературных данных по эффективности щелевания почвы на уплотненной пашне видно, что применение этого приема с помощью существующих средств механизации малоэффективно. Величина задержания стока не превышает 5-7 мм. Противозэрозионная роль их тем более невысока, так как уплотненные агрофоны, особенно многолетние травы, обладают хорошими почвозащитными свойствами. Этот прием можно совершенствовать в направлении создания более глубоких (свыше глубины промерзания почвы) открытых или заполненных мульчматериалами щелей.

Плоскорезная обработка разрабатывалась как способ борьбы с дефляцией, но потом стала применяться и как средство для борьбы с водной эрозией. Оценивая в целом роль плоскорезной обработки почвы, следует сказать, что по всем зонам европейской части РФ отмечается тенденция к повышению снеготазпасов, стока талых вод и водопоглощения при плоскорезной обработке. Причем величина его небольшая. Сток увеличивается на 2-6 мм, снеготазпасы на 4-15, а водопоглощение на 8-13 мм (в ряде случаев оно уменьшалось).

Противозэрозионная роль плоскорезной обработки высокая. Причем в зональном плане она увеличивается при движении с юга на север. В наших исследованиях смыв почвы почти во все годы при плоскорезной обработке отсутствовал. В многоводные годы снижение смыва достигало 6,7 м<sup>3</sup>/га.

Мульчирование зяби соломой способствовало сохранению комочков почвы от разрушения и поддержанию верхнего слоя в более рыхлом состоянии. Это, в свою очередь, обеспечивало просачивание влаги во время зимних оттепелей из верхнего слоя в более глубокие и предотвращало поры от закупорки льдом. На контроле без мульчирования комочки почвы разрушались под действием осенних осадков, некапиллярные поры превращались в капиллярные, они закупоривались льдом и поверхность почвы становилась ровной и монолитной, а местами на ней образовывалась ледяная корка. Поэтому водопоглощение почвой под мульчей было несколько выше. Стокорегулирующая эффективность мульчирования зяби составила 5-7 мм. Мульчи-



рования было недостаточно для длительного сохранения водопрочной структуры и значительного сокращения стока. Необходимо совершенствовать приемы повышения водопрочности структуры, возможно путем применения химических структурообразователей.

Приемы регулирования снеготаяния (полосное зачернение, уплотнение, валкование и мульчирование снега), которые рекомендовали и до сих пор еще рекомендуют без достаточного обоснования, также оказались малоэффективны и даже был отрицательный эффект. Например, полосное зачернение снега, ускоряя освобождение почвы от него, обусловило увеличение смыва почвы на открытых полосах в 2 раза.

Анализ и обобщение литературных данных и проведенные нами исследования показали, что имеющийся большой набор агротехнических средств не позволяет эффективно воздействовать на процесс водопоглощения почвой влаги зимних осадков. Агротехнические приемы, обладая таким важным положительным свойством, как воздействие на всю территорию, на которой они применяются, малоэффективны в стокорегулирующем и противоэрозионном отношении. Приемы искусственного микрорельефа, щелевание, регулирование снеготаяния неэффективны, углубление пахотного слоя малоэффективно. Мульчирование поверхности почвы, оструктуривание и обогащение ее органическим веществом (окультуривание) способствуют повышению впитывающей способности и влагоемкости почвы. Однако в настоящее время и в ближайшей перспективе они не могут быть широко применимы из-за трудоемкости, отсутствия средств и недостатка материалов.

Агротехнические приемы в принципе не могут быть высокоэффективны, так как они почти не влияют на природные факторы стока – увлажнение и промерзание почвы, снегозапасы. Это укладывается в рамки важного теоретического положения о том, что почва как саморегулирующаяся система способна поглотить ограниченное количество воды, определяемое состоянием увлажнения почвы. Тот небольшой эффект от применения агротехнических мероприятий бывает не за счет повышения водопроницаемости, а за счет поверхностных емкостей и некапиллярных пор и полостей. Они, как правило, очень малы.

Низкая стокорегулирующая и противоэрозионная эффективность агротехнических приемов не должна являться причиной отказа от них. Однако правильная оценка стокорегулирующей роли агротехнических противоэрозионных мероприятий должна предостеречь от опасного заблуждения, что применяя их можно достичь высокого эф-

фекта в регулировании стока и защите почв от эрозии. Переоценка их роли, имеющаяся в настоящее время в литературе, опасна, так как она создает иллюзию благополучия и снимает необходимость применения других противоэрозионных мероприятий и особенно лесомелиоративных, без которых невозможно создать надежную противоэрозионную защиту. Агротехнические приемы могут применяться в комплексе с другими противоэрозионными мероприятиями.

Перспективными противоэрозионными приемами могут быть приемы, направленные:

на воздействие на природные факторы стока – глубину промерзания, влажность почвы и снеготпасасы;

регулирование поверхностного стока путем потускулярного перевода его в грунтовой (лесные полосы, водозадерживающие валы и канавы) или безопасного сброса по поверхности (наклонные водоотводящие борозды, распылители стока, водоотводящие валы и др.);

повышение противоэрозионной устойчивости почв (минимализация обработки, плоскорезная обработка, использование многолетних трав для улучшения структуры почв и др.);

использование почвозащитных свойств растительности (почвозащитные севообороты, постоянное залужение сильноэродированных участков и водотоков, совершенствование структуры посевных площадей и др.).

#### 3.4.6. Влияние лугомелиоративных мероприятий на эрозионно-гидрологические процессы

Естественная травянистая растительность обладает высокими почвозащитными свойствами. Однако в агроландшафтах сенокосы и пастбища из-за интенсивной хозяйственной нагрузки сильно деградированы и часто подвергаются эрозии, особенно на крутых присетевых и балочных склонах. Для повышения их почвозащитной эффективности и продуктивности назначаются приемы поверхностного и коренного улучшения с подсевом семян многолетних трав или полной заменой естественного травостоя сеяным, внесением удобрений, рационализацией приемов использования (сенокосо- и пастбищеобороты и т. п.).

На слабоизрезанных оврагами балочных склонах крутизной до 20° при угнетенном состоянии травостоя и при наличии не менее 25 % ценных трав проводят их поверхностное улучшение. Мероприятия

включают подготовку площади (расчистка, удаление кочек, засыпка промоин и пр.), регулирование поверхностного стока, уход за дерниной и травостоем (боронование, уничтожение сорной растительности, посев трав, снегозадержание и др.), лесомелиорацию [81].

На сильноэродированных склонах с деградированным травяным покровом и долей ценных трав менее 25 % проводят мероприятия по коренному улучшению: регулирование поверхностного стока, планирование поверхности с удалением дернины, посев травосмеси, внесение удобрений, лесомелиорацию.

### 3.4.7. Влияние гидротехнических противоэрозионных мероприятий на эрозионно-гидрологические процессы

К простейшим гидротехническим противоэрозионным мероприятиям на пашне относятся водоотводящие валы, каналы с валами, валы-террасы, водоотводящие борозды и др. Они применяются во взаимосвязи с другими противоэрозионными мероприятиями и особенно с лесомелиоративными. Гидротехнические мероприятия на пашне в нашей стране изучены мало и пока не находят широкого применения.

Водопоглощающие каналы с валами применяются для регулирования стока и борьбы с оврагами, обеспечивая регулирование стока талых вод 10 %-ной вероятности превышения.

Высокую стокорегулирующую и противоэрозионную роль играют водоотводящие (водонаправляющие) валы-ложбины в системе контурно-мелиоративного земледелия. Наиболее они эффективны в сочетании с дорожной, полезащитной и оросительной сетью. Они, отводя воду на безопасные участки, предотвращают смыв почвы, позволяют нарезать одинаковой ширины рабочие загоны и избежать крутых поворотов при их нарезке, создают возможность аккумулялировать непоглотившиеся на пашне талые воды в склоновых лиманах и водохранилищах.

Валы-террасы на пашне играют очень большую стокорегулирующую, противоэрозионную и агрономическую роль. Они положительно влияют на снегоотложение, промерзание и влажность почвы, смыв почвы и урожайность сельскохозяйственных культур. Сток талых вод уменьшается на величину от 1-8 до 45-60 мм [13].

Наклонные водоотводящие борозды применяются для защиты почвы от смыва на нижележащих участках. Их устраивают по нижней границе или внутри полей через 50-100 м плугом с одним корпусом при уклоне по линии пахоты не более 1,0-1,5°.

Таким образом, гидротехнические приемы на пашне, направленные на поверхностное водозадержание и увеличение водопоглощения (валы-террасы, водопоглощающие канавы с валами), обеспечивают уменьшение стока на 30-50 мм и смыва почвы в 8-12 раз. Однако все эти приемы имеют относительно высокую стоимость, они рассчитаны на строго контурную организацию территории, что создает сложности в проведении работ и эксплуатации. Все это сдерживает их внедрение в практику.

Водоотводящие устройства (наклонные водоотводящие борозды и валы) обеспечивают снижение смыва в 2-8 раз или полное его предотвращение. Они дешевы, просты в создании и эксплуатации, поэтому их целесообразно применять в производстве.

### **3.5. Экспериментальная оценка новых приемов регулирования снегоотложения и поверхностного стока талых вод для управления эрозионно-гидрологическим процессом защитными лесными насаждениями**

#### **3.5.1. Система стокорегулирующих лесополос комбинированной конструкции**

Знание закономерностей снегоотложения, водопоглощения, формирования стока, процессов эрозии и влияния на них стокорегулирующих лесных полос с учетом их снегораспределительных и стокорегулирующих функций позволили нам разработать новые приемы регулирования снегоотложения, поверхностного стока талых вод и управления эрозионно-гидрологическим процессом защитными лесными насаждениями.

Для регулирования поверхностного стока путем перераспределения снега необходимо выявить закономерности снегоотложения на склонах. Для этого необходимо определить главные факторы, влияющие на этот процесс, выявить долю каждого из них и дать им количественную оценку. Это, в свою очередь, позволяет определить, на какие природные и антропогенные факторы и чем нужно воздействовать, чтобы путем регулирования снегоотложения предотвратить глубокое промерзание почвы с целью управления эрозионно-гидрологическим процессом.

В накоплении и сбережении влаги, ее рациональном сохранении и использовании, переводе поверхностного стока во внутрпочвенный

большую роль играют системы стокорегулирующих лесополос, которые в условиях пересеченного эрозионного рельефа на полевых землях (приводораздельные и присетевые земли) размещаются контурно (по горизонталям). Однако потенциал их еще полностью не реализован, в частности необходимо исследование конструктивных особенностей стокорегулирующих лесополос, поскольку они определяют не только эффективность влияния на прилегающие мелиорируемые земли, но и устойчивость самих насаждений, их долговечность и способность адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды.

Многолетними исследованиями ВНИАЛМИ (сейчас ФНЦ агроэкологии РАН) и его опытной сети, других научных учреждений установлены 3 главные аэродинамические конструкции лесных полос: продуваемая, ажурная и плотная. Лесные полосы различной конструкции влияют на характер снегоотложения неодинаково. В плотных лесополосах (практически без просветов по всему профилю) и в их приопушечной части собираются большие снежные сугробы за счет снега, сдуваемого с межполосного пространства. Это обеспечивает предохранение почвы от промерзания, но талая вода теряется с полей, кроме того из-за продолжительного периода таяния сугробов в приопушечной части задерживается начало проведения весенних полевых работ.

Продуваемые лесные полосы (крупные просветы между стволами и практически без просветов в кронах) обеспечивают относительно равномерное распределение снежного покрова в межполосном пространстве, однако в самих лесных полосах вследствие выдувания его откладывается недостаточно, чтобы предохранить почву от промерзания. Такая конструкция уменьшает кольматирующую способность лесополосы, что связано с отсутствием кустарника в опушечных рядах.

Лесные полосы ажурной и плотной конструкции по характеру снегоотложения занимают промежуточное положение. В некоторые годы они накапливают возле себя большие сугробы, как и плотные. Также бывают случаи, когда снег из них выдувается, как из продуваемых. В целом ажурные лесополосы обеспечивают предохранение почвы от глубокого промерзания, однако не обеспечивают оптимального снегоотложения в межполосном пространстве.

Наилучший эффект на защищаемых полях дают лесополосы продуваемой конструкции, несколько хуже – ажурной (существенно укороченный снежный шлейф на прилегающих полях) и плотной (весь задерживаемый снег располагается в виде больших сугробов внутри самой лесной полосы). Каждая конструкция имеет свои пре-

имущества и недостатки. Так, продуваемые полосы отлично распределяют снег на защищаемых полях, но в самой полосе он практически не накапливается и они испытывают недостаток влаги, вследствие чего ослабляются и начинают разрушаться. Как видно из анализа, ни одна из вышеперечисленных конструкций не удовлетворяет условиям, необходимым для рационального воздействия на эрозионно-гидрологический процесс и, следовательно, необходим поиск новой конструкции. В идеале нужна такая конструкция лесной полосы, которая бы оптимально распределяла снег на защищаемых полях, как продуваемая, но и в достаточной степени обеспечивала потребности самого насаждения в воде. Для этого к концу зимы слой снега внутри полосы должен быть высотой 40-55 см.

Для выполнения этих функций нами была предложена комбинированная конструкция стокорегулирующей лесополосы [121]. Как известно, около 90 % метельного снега переносится на высоте до 10 см от поверхности почвы. Следовательно, создав препятствие необходимой высоты (в нашем случае 50 см), можно накапливать переносимый метелью снег до высоты преграды, а далее он будет через нее переноситься и равномерно откладываться в межполосном пространстве. На этом основано снегонакопительное и снегораспределительное действие лесополосы комбинированной конструкции. Поставленная цель достигается путем создания на водосборе системы стокорегулирующих лесополос из двух-трех рядов деревьев и одного ряда низкорослых кустарников (рис. 3.21). Лесная полоса такой конструкции имеет следующий вертикальный профиль по продуваемости: в нижней части, примерно до 0,5 м от поверхности земли – плотная, выше – до 1,5-2,0 м продуваемая (без сучьев), а еще выше ажурная. Плотную нижнюю часть лесополос создают методом подбора низкорослого кустарника при посадке или путем подрезки высокорослого кустарника до необходимой высоты в существующих лесополосах. Продуваемую часть профиля лесополосы формируют подбором пород без сучьев или с небольшим их количеством на высоте до 2 м при посадке или путем обрезки сучьев на деревьях в существующих лесополосах.

При этом продуваемость лесополос по профилю формируют следующую: в нижней части (до 0,3-0,5 м от поверхности земли) лесополоса должна быть плотная (до 10 % просветов и ветропроницаемость до 25-30 %), в средней (до 1,5-2,0 м) – продуваемая (свыше 60 % просветов и ветропроницаемость более 70 %) и в верхней (выше 2 м) ажур-

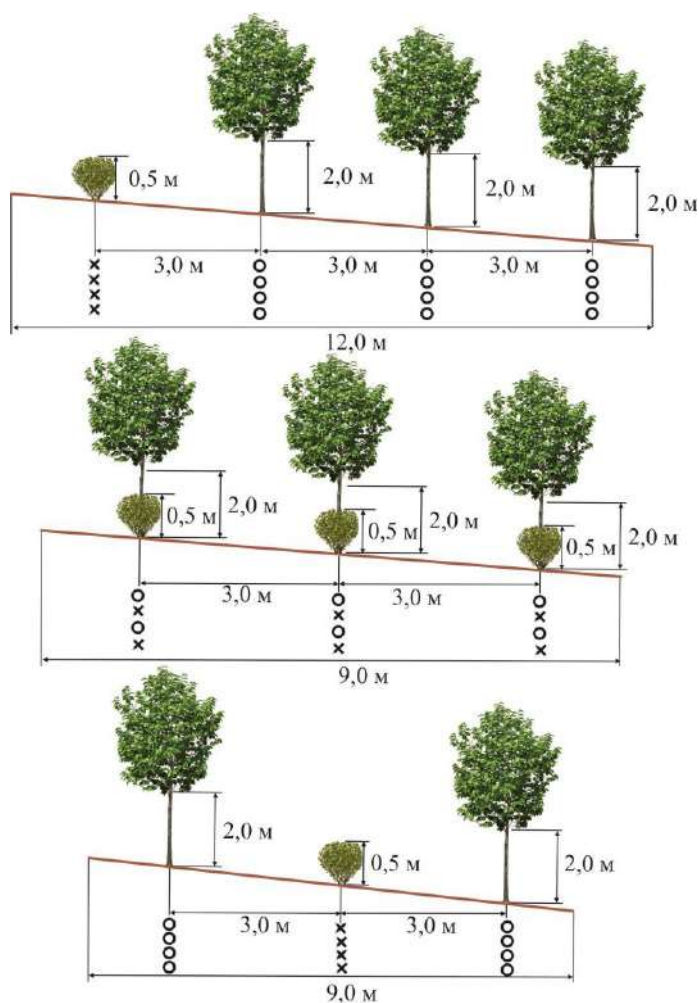


Рис. 3.21. Схема вариантов создания лесополос комбинированной конструкции

ная или плотная (до 15-35 % просветов и ветропроницаемость 25-75 %). Она обеспечивает достаточно равномерное и эффективное снегораспределение и снегонакопление на прилегающих полях (действует как продуваемая), а за счет ряда низкорослого кустарника – необходимый снегозапас в самой полосе.

Внутри лесополос комбинированной конструкции по сравнению с продуваемой существенно больше снега, что обеспечивает успешный рост и устойчивое состояние лесополосы в суровых условиях засушливой степной зоны. Комбинированная конструкция к тому же обеспечивает более равномерное снегораспределение и более длинный, как и продуваемая, снежный шлейф на защищаемых полях.

Известно, что высота снежного покрова в лесной полосе существенно влияет на теплоизоляцию почв зимой, глубину и степень промерзания почвы и грунта, а следовательно, на водопоглощение, поверхностный сток и эрозию в период весеннего снеготаяния.

Специфика стокорегулирующих лесных полос состоит в том, что при их создании доминирует целевое назначение – обеспечение наилучшего снегораспределительного эффекта на защищаемых полях, а снегонакопление внутри самих лесных полос (для предотвращения почвы от промерзания и достижения достаточного влагообеспечения деревьев) рассматривается как второстепенный фактор, хотя это важное условие их долговечности и устойчивости.

Решить эту проблему позволит создание агролесоландшафтов с системами стокорегулирующих лесополос комбинированной конструкции за счет улучшения влагообеспеченности деревьев при сохранении высокого снегораспределительного эффекта на защищаемых полях. Это положительно скажется на продуктивности сельскохозяйственного производства и во многом на общем улучшении экологической обстановки в степной и лесостепной зонах РФ.

Результаты исследований влияния стокорегулирующих лесных полос на снегоотложение, влажность почвы и глубину ее промерзания в Волгоградской обл. приведены в табл. 3.31.

Таблица 3.31

**Влияние лесополос разной конструкции на снегоотложение, влажность почвы и глубину промерзания (ФГУП Волгоградское)**

Конструкция лесополосы	Высота снега, мм		Влажность почвы, %		Глубина промерзания, см	
	поле	лесополоса	поле	лесополоса	поле	лесополоса
<i>2006 год</i>						
Продуваемая	20	34	13,8	14,5	100	60
Плотная	20	60	12,3	16,5	120	15
Комбинированная	21	45	13,4	15,9	110	30
<i>2007 год</i>						
Продуваемая	3	15	18,0	13,4	30	30
Плотная	5	25	17,2	19,8	40	0
Комбинированная	4	20	19,4	18,9	40	5
<i>2008 год</i>						
Продуваемая	13	18	19,6	19,6	15	5
Плотная	11	38	22,1	27,1	15	0
Комбинированная	12	35	21,7	22,5	15	0
<i>2009 год</i>						
Продуваемая	9	20	21,8	21,5	10	0
Плотная	10	22	24,5	28,4	10	0
Комбинированная	9	23	23,7	25,2	10	0
<i>2010 год</i>						
Продуваемая	18	20	27,1	27,4	20	5
Плотная	15	30	30,1	30,2	20	0
Комбинированная	15	27	29,0	29,5	20	0

Благодаря использованию данного способа, с помощью низкорослого кустарника формируется конструкция лесополосы, способной в зимнее время накопить такое количество снега внутри себя, которое предотвратит глубокое промерзание почвы, обеспечит ее дополнитель-



ное увлажнение, необходимое для нормального роста и развития деревьев и кустарников, а также окажет мелиоративное влияние на сельскохозяйственные растения, выращиваемые в системе лесополос. В табл. 3.32 приведены данные, характеризующие снегоотложение и глубину промерзания почвы в лесополосах комбинированной конструкции с низкорослым кустарником на светло-каштановых почвах Волгоградской обл.

Таблица 3.32

**Характер снегоотложения и глубина промерзания в лесополосах комбинированной конструкции с низкорослым кустарником в ФГУП "Волгоградское", 2011-2015 гг.**

Вариант	Высота снега, см		Глубина промерзания, см	
	поле	лесополоса	поле	лесополоса
Контроль (поле)	11	-	20	-
Лесополоса, кизильник горизонтальный	10	21	18	2
Лесополоса, миндаль низкий	11	19	20	3

Низкорослые кустарники кизильник горизонтальный и миндаль низкий в лесополосе комбинированной конструкции способствовали накоплению снега до 19-21 см (остальной откладывался в поле) и почти полному предотвращению промерзания почвы.

Исследования конструктивных особенностей лесных полос ведутся В. И. Пановым под руководством автора на Поволжской АГЛОС на стоково-эрозионном агролесомелиоративном стационаре с 4-рядной контурной лесной полосой из березы посадки 1974 г. Здесь созданы 3 варианта лесной полосы разной конструкции: продуваемая (стволы деревьев очищены от сучьев до высоты 2,0-2,2 м), комбинированная (кустарники и корневая поросль подстрижены до высоты 0,6-0,7 м, а стволы берез очищены от сучьев до высоты 2 м) и ажурная (подчистка сучьев и деревьев не проводилась, средняя просветность по всему поперечному профилю). В них проводились наблюдения за высотой и запасом воды снежного покрова, глубиной промерзания, весенним стоком и впитыванием, влагозапасом в почве, состоянием и ростом деревьев и др.

По результатам 4-летних исследований получены материалы, подтверждающие высокую снегозадерживающую и влагонакопительную эффективность комбинированной конструкции по сравнению с продуваемой (табл. 3.33).

Лесополосы комбинированной и ажурной конструкции накапливают внутри себя существенно больше снега (по высоте на 15-

24 см, по влагозапасам на 36-54 мм), что обеспечивает успешный рост и устойчивое состояние лесополосы в суровых условиях засушливой степной зоны. В гидромелиоративном отношении сравнение ажурной и комбинированной конструкции дает преимущество комбинированной, так как она обеспечивает более равномерное снегораспределение и более длинный (как и продуваемая конструкция) снежный шлейф на защищаемых полях.

Таблица 3.33

**Снегозадерживающая и влагонакопительная эффективность контурных стокорегулирующих лесополос разной конструкции, 2003-2007 гг.**

Конструкция лесной полосы	Высота снежного покрова, см	Влагозапасы, мм	Глубина промерзания почвы, см
Продуваемая	25	68	43
Комбинированная	40	104	27
Ажурная	49	122	21

Кроме того, высота снежного покрова в лесной полосе существенно влияет на теплоизоляцию почв зимой и на глубину промерзания почвы и грунта, а следовательно, и на водопоглощение, поверхностный сток и эрозию в период весеннего снеготаяния.

За все годы наблюдений в среднем наибольшая глубина промерзания почвы в конце зимы была в продуваемой лесной полосе (43 см), где и высота снега значительно ниже (25 см). Промерзание меньше в лесополосах комбинированной и ажурной конструкции (соответственно 27 и 21 см), что связано с лучшим снегонакоплением в этих полосах, с большей высотой снега (соответственно 40 и 49 см).

Дефицит влаги в лесополосе продуваемой конструкции существенно отразился и на ее состоянии. Деревья в средних рядах суховершинят и погибают, в крайних – имеют однобокую несомкнутую крону, что привело к распространению травяного покрова. Таким образом, продуваемая конструкция лесных полос, несмотря на достаточно высокую мелиоративную эффективность (мощный снежный шлейф и снижение скорости ветра на защищаемых полях) имеет ряд существенных недостатков. Это, прежде всего, ее недолговечность и слабая устойчивость, низкая инфильтрация (вследствие большой глубины промерзания почвы), меньшая биопродуктивность.

Вновь создаваемые контурные стокорегулирующие полосы целесообразно формировать из двух-трех рядов с междурядьями 3-4 м,

средний ряд из низкорослых кустарников, крайние ряды из березы, лиственницы и других главных пород. Для повышения водопоглощения эти полосы усиливаются простейшими гидротехническими устройствами – валами, канавами, щелями-дренами с наполнителем и др. Такие полосы будут долговечными, устойчивыми и будут обладать высоким защитно-мелиоративным эффектом.

### 3.5.2. Система стокорегулирующих лесных полос с изменяющейся ветропроницаемостью

Разработанный нами прием регулирования снегоотложения [122] представляет собой систему стокорегулирующих лесополос с уменьшающейся (сверху вниз по склону) ветропроницаемостью (рис. 3.22).

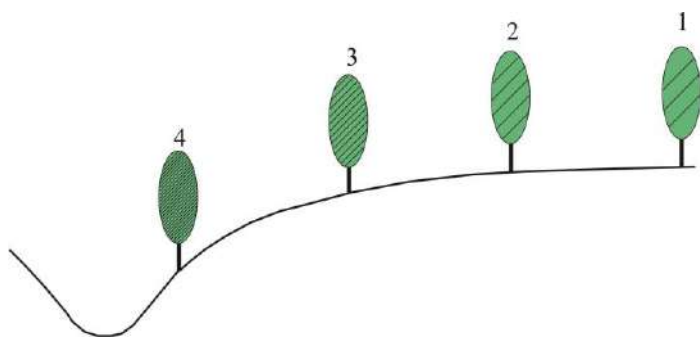


Рис. 3.22. Схема размещения системы стокорегулирующих лесополос с изменяющейся ветропроницаемостью. Конструкции лесополос: 1 – продуваемая, 2 – ажурно-продуваемая, 3 – ажурная, 4 – плотная

Он направлен на формирование оптимального снегоотложения на всей территории водосборного бассейна (от водораздела до тальвега) и позволяет предотвратить развитие эрозионных процессов. При этом создается максимально благоприятный режим для роста сельскохозяйственных культур. При создании такой системы лесополосы в зависимости от типа конструкции размещают по контуру или поперек склона следующим образом (от водораздела): продуваемая, ажурно-продуваемая, ажурная, плотная (прибалочная). Если на длинном склоне количество стокорегулирующих лесополос будет больше указанного, то все последующие к водоразделу полосы создаются продуваемыми. Такое расположение лесополос позволяет снизить скорость метелевого потока и не допустить сноса снега в балки и овраги, равномерно распределить снежный покров на межполосном пространстве, способствуя сохранению весенней влаги, необходимой для развития сельхозкультур.

При таком сочетании лесных полос почти весь выпавший снег откладывается на полях равномерно с увеличением мощности его

сверху вниз, что обуславливает постепенное стаивание его в этом же направлении. Система защитных лесных насаждений с изменяющейся ветропроницаемостью обеспечивает равномерное распределение снега по всему склону, предупреждая образование больших снежных наносов и препятствуя смыву почвы.

В такой системе лесополос механизм эрозионно-гидрологического процесса на склоне следующий. Известно, что смыв начинается тогда, когда почва освобождается от снега. Если снег сходит постепенно сверху вниз по склону, то талая вода, стекающая по освобожденной поверхности, попадая в снег, еще лежащий в нижней части, не производит на ней смыв. Таким образом, постепенный (сверху вниз по склону) сход снега может резко уменьшить смыв почвы или полностью предотвратить его. Этому приему дана экспериментальная оценка в ФГУП "Волгоградское", где весь выпавший снег откладывался и перераспределялся на полях практически равномерно с небольшим увеличением его мощности при движении вниз по склону (рис. 3.23).

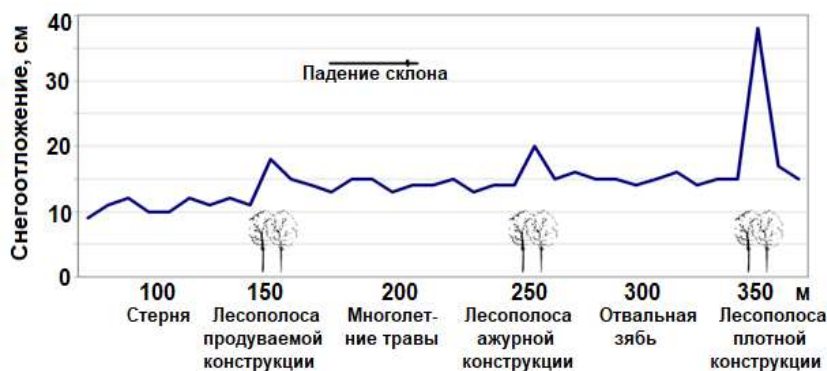


Рис. 3.23. Снеготложение в системе контурных стокорегулирующих лесных полос с изменяющейся ветропроницаемостью, ФГУП "Волгоградское"

### 3.5.3. Кулисы в межполосном пространстве стокорегулирующих лесных полос

На межшлейфовых участках межполосных пространств в качестве как снежной, так и средозащитной (стокорегулирующей и противоэрозионной) мелиорации перспективно создание кулис из высокостебельных сельскохозяйственных растений (рис. 3.24). Расстояния между кулисами принимаются 4-12 м с уменьшением вниз по склону. Кулисы, создав препятствие, способствуют отложению слоя снега равного высоте преграды. При превышении этой высоты он через нее переносится и равномерно откладывается в межполосном пространстве. Кулисы позволяют предотвратить глубокое промерзание почвы.

За счет дробления склона вдоль линий тока они смогут более эффективно зарегулировать сток и сократить вынос мелкозема с полей.



Рис. 3.24. Схема стокорегулирующих лесополос с кулисами из высокоствельных сельскохозяйственных растений в межшлейфовом пространстве

В ФГУП "Волгоградское" выявлено положительное влияние кулис на природные факторы стока (табл. 3.34). Средняя высота снега на площадке с кулисами – 19 см (шлейфы достигали 47 см), а на контроле – 14 см. В результате средние снегозапасы на площадке с кулисами составляли 76 мм, а без кулис – 40 мм. Кулисы, накопив дополнительное количество снега, способствовали увеличению влажности почвы, снижению ее промерзания до 0-7 см и повышению водопоглощения на 36 мм.

Таблица 3.34

**Влияние кулис на снегоотложение, влажность почвы и глубину ее промерзания, ФГУП "Волгоградское"**

Место определения	Высота снега, см	Запас воды в снеге, мм	Влажность почвы в слое 0-50 см, %	Глубина промерзания, см	Водопоглощение, мм
Контроль (без кулис)	14	40	12,1	15	40
Кулисы:	27	76			76
	44	125	15,7	0	125
	19	54	14,3	7	54

## **4. СИСТЕМА МЕРОПРИЯТИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ЭРОЗИОННО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ В АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ**

### **4.1. Общая характеристика противоэрозионных приемов**

Для борьбы с водной эрозией почв А. С. Козменко [2] впервые в 20-х гг. прошлого века предложил идею комплексного подхода с охватом целых водосборов и осуществил ее на Новосильской опытно-овражной станции (ныне Новосильская ЗАГЛОС – филиал ФНЦ агроэкологии РАН). Противоэрозионный комплекс включает организационно-хозяйственные, лесомелиоративные, агротехнические, лугомелиоративные и гидротехнические мероприятия. В последующем он совершенствовался многими исследователями [4, 5, 9, 12, 13, 18, 123]. Все противоэрозионные мероприятия можно разделить на 3 основные группы [63]. В 1-ю группу входят приемы, влияющие рассредоточено по территории на водопоглощение и сток. Это приемы поверхностного водозадержания (вспашка поперек склона или по контуру, искусственный микрорельеф, щелевание и др.), безотвальные и мульчирующие обработки, снегозадержание и регулирование снеготаяния, полосные посевы, приемы повышения водопроницаемости почвы (глубокое рыхление, окультуривание, оструктуривание) и другие. Во 2-ю группу входят приемы локального действия – линейные рубежи: водоотводящие и водозадерживающие валы, канавы с валами, валы-террасы и др. В 3-ю группу входят приемы, обладающие свойствами локального действия (задержание и регулирование стока на рубежах) и пространственного влияния (задержание воды в поле на месте выпадения осадков). Это лесомелиоративные приемы. Они могут сочетаться с приемами 2-й группы. Есть ряд промежуточных приемов (щелевание, кулисные и полосные посевы и т. д.), сочетающих в себе свойства 1-й и 2-й групп. Нами они отнесены к первой группе.

#### **4.2. Концепция адаптивно-ландшафтного обустройства сельскохозяйственных земель и совершенствования системы земледелия**

Эрозия почв является одним из главных факторов деградации сельскохозяйственных земель, вызываемым комплексом причин. Наиболее важные из них: истощительное сельскохозяйственное землепользование, представляющее реальную угрозу продовольственной безопасности страны; низкое качество проектирования управления землепользованием; сведение лесов, низкие объемы лесопосадок и лесовосстановления и, как следствие, существенное изменение гидро-термического режима территории; рост потерь почвы от эрозии, увеличение опасности оврагообразования; высокая степень распаханности земель (например, в степной зоне распаханно до 90 % земель), ведущая к процессам водной эрозии, снижению гумусности почв; распашка сухих почв легкого гранулометрического состава; недостатки практики пастбищного животноводства [124].

Проводимая земельная реформа не способствует осуществлению мероприятий по защите почв от деградации [125]. Собственники земли, как правило, не занимаются земледелием, а передают паи в аренду. С одной стороны арендатор не заинтересован вкладывать средства в ее сохранение, а с другой – на мелких участках земли невозможно строить эффективную противодеградационную систему мероприятий.

Кроме того, в стране разрушена система проектных организаций, которые разрабатывали проекты землеустройства с системой противодеградационных мер. Поэтому сейчас на земле хозяйничают по принципу "кто во что горазд". Не создана также правовая база, повышающая мотивацию сельскохозяйственных товаропроизводителей на сохранение земли от деградации.

Главной задачей применяемых в настоящее время систем земледелия является получение максимального количества продукции (приоритетная цель), а борьба с деградацией отодвигается на второй план. Технологии и системы земледелия (в частности, паровая), интенсифицируемые за счет насыщения ресурсами, обеспечивают высокую продуктивность сельхозкультур ценой огромных потерь почвенного плодородия вследствие эрозии, дефляции и дегумификации почв. Иначе говоря, действующая ныне система земледелия не имеет достаточной почвозащитной направленности. Не осуществляется противоэрозионная ор-

ганизация территории, не выделяются смытые земли под почвозащитные (травопольные) севообороты и постоянное залужение, в ограниченных объемах выполняются противоэрозионные агротехнические и лугомелиоративные мероприятия, не создаются защитные лесные насаждения, устройство простых и сложных гидротехнических сооружений у вершин оврагов без применения комплекса противоэрозионных мероприятий на водосборе приводит к неоправданным затратам труда и средств, а в ряде случаев к усилению эрозионных процессов.

Интенсивная сельскохозяйственная деятельность привела к катастрофическим изменениям ландшафтов. Наиболее существенными оказались изменения в почвенном покрове: разрушение почвенной структуры, ухудшение водно-физических свойств – плотности, воздушного режима, инфильтрационной способности. Это привело к изменениям водного баланса, ухудшению влагообеспеченности, возникновению эрозии и дефляции и деградации природной среды. В целях ослабления, прекращения процессов деградации и восстановления экосистем предлагается концепция адаптивно-ландшафтного природопользования.

Адаптивно-ландшафтный принцип природопользования предполагает неистощительный характер землепользования. Он предполагает систему землепользования, направленную на поддержание баланса между расходом ресурсов и их восстановлением. В применяющейся, например, системе земледелия Волгоградской обл. основное внимание уделяется земледельческим проблемам, главной задачей является получение максимального количества продукции. Особенностью этой системы земледелия было увеличение площади чистых паров до 20 %, а в последние годы и до 50 %. Это обеспечивало повышение урожайности зерновых культур, однако способствовало усилению эрозионных процессов и деградации почв. Иначе говоря, действующая ныне система земледелия не имеет достаточной почвозащитной направленности. Не осуществляется противоэрозионная организация территории, не выделяются смытые земли под почвозащитные севообороты и постоянное залужение. В ограниченных объемах выполняются противоэрозионные агротехнические и лугомелиоративные мероприятия, не создаются ЗЛН, а устройство простых и сложных гидротехнических сооружений у вершин оврагов без применения комплекса противоэрозионных мероприятий на водосборе приводит к неоправданным затратам труда и средств, а в ряде случаев к усилению эрозионных процессов.



Системы земледелия должны строиться на принципах адаптивно-ландшафтного обустройства территории.

Адаптивно-ландшафтное земледелие – это сельскохозяйственная деятельность, при которой максимально учитываются особенности природных и антропогенных ландшафтов, требовательность сельскохозяйственных культур к условиям произрастания, оптимально реализуется ресурсный потенциал, каждый земельный участок используется с учетом его агроэкологической оценки.

Целью адаптивно-ландшафтного земледелия является создание таких условий, при которых сохранялись бы природные ландшафты, улучшались агроландшафты и восстанавливались деградированные земли. Для достижения этой цели уже на стадии разработки проектов землеустройства необходимо решить следующие задачи:

дать оценку природно-ресурсного потенциала и факторов деградации (эрозия, дефляция, засоление) и их влияния на современное состояние агроландшафтов;

провести агроэкологическую оценку и типизацию земель;

определить оптимальное соотношение угодий и видов пашни;

осуществить почвозащитную организацию землепользования;

дать адаптивно-ландшафтное обоснование элементов системы земледелия;

выполнить проектирование агротехнологий, в т. ч. культуртехнических, влагосберегающих и агролесомелиоративных;

провести эколого-экономическую оценку системы ландшафтного земледелия.

Основными принципами разработки системы адаптивно-ландшафтного земледелия являются:

системный подход, предполагающий создание агроэкосистем разного уровня организации, которые имеют множество типов и уровней связи как в пределах системы, так и между системами разных типов;

адаптивность систем земледелия к природно-экономическим и экологическим условиям (адаптация культур и сортов к конкретным условиям произрастания, адаптация технологий, адаптивное управление природно-ресурсным потенциалом и т. д.);

устойчивость функционирования агроэкосистем, достигаемая оптимизацией элементов систем земледелия с учетом ресурсного потенциала агроландшафтов;

почвозащитная и природоохранная направленность, обеспечивающая снижение до допустимых пределов эрозии и дефляции почв, пред-

отвращение загрязнения почв и среды биогенными веществами, прекращение деградации почв и получение экологически чистой продукции;

социально-экономическая целесообразность, предусматривающая рациональное использование антропогенных ресурсов за счет применения наиболее экономически эффективных мероприятий, приемов и их сочетаний (оптимальная структура посевов, севооборотов, сортов, удобрений, мелиораций и др.).

Элементами систем адаптивно-ландшафтного земледелия являются организация землепользования, структура посевных площадей, севообороты, почвозащитные технологии возделывания сельскохозяйственных культур и системы машин, агротехнические, лесомелиоративные, лугомелиоративные, гидротехнические и другие мероприятия.

Согласно предлагаемой концепции структура посевных площадей и система севооборотов должны строиться исходя из социально-экономической целесообразности, агроэкологических условий выделенных групп земель, адекватности им требовательности растений к условиям произрастания и их почвозащитной эффективности и др. На землях одной из групп должны размещаться парозерновые и парозернопропашные севообороты с максимальным насыщением высокопродуктивными культурами, второй – почвозащитные севообороты без паров с максимальным насыщением многолетними травами. Земли третьей группы следует отводить под улучшенные сенокосы и пастбища и под лес.

Почвозащитные технологии возделывания сельскохозяйственных культур должны иметь в первую очередь противозерозионную и стокорегулирующую направленность, что позволит создавать благоприятные условия для произрастания растений. Они должны обеспечивать создание оптимальных свойств пахотного слоя, высокую противозерозионную устойчивость почвы, накопление и сохранение в ней влаги выпадающих осадков и др. Этим условиям в наибольшей степени отвечает дифференцированный подход к обработке почвы – чередование отвальных, безотвальных и минимальных обработок, а при достаточном увлажнении переход к нулевым обработкам. Минимизация обработки вплоть до нулевой с формированием мульчирующего слоя из измельченной соломы создает условия, наиболее близкие к естественному процессу почвообразования и накопления гумуса. Этим закладывается основа для предупреждения деградации почв.

Система удобрения должна отвечать следующим требованиям:

максимальный учет агроэкологических условий группы земель,

уровня плодородия почв и потребности растений в питательных веществах;

предотвращение загрязнения продукции, что достигается внесением оптимальных доз удобрений, включением в севообороты буферного промежуточного звена, применением поукосных и пожнивных посевов, запашкой соломы, компостированием органических остатков с минеральными удобрениями;

тщательный контроль за балансом питательных веществ.

Неотъемлемой частью адаптивно-ландшафтного земледелия является агролесомелиорация. Наибольшее мелиорирующее влияние защитных лесных насаждений, имеющих многофункциональное назначение, проявляется при их системном пространственном размещении.

Основные виды защитных лесонасаждений на сельскохозяйственных землях – полезащитные (ветроломные и стокорегулирующие), прибалочные и приовражные лесные полосы, насаждения в гидрографической сети, на песках, пастбищных землях, озеленительные посадки.

Ветроломные лесные полосы должны размещаться на дефляционно-опасных и подверженных дефляции землях с целью защиты их от ветровой эрозии, засух и суховеев. Стокорегулирующие лесные полосы – по горизонталям или близко к ним с целью выполнения стокорегулирующих, почвозащитных и ветроломных функций на склонах любой крутизны. Для повышения стокорегулирующей роли их необходимо сочетать с простейшими гидротехническими сооружениями (обвалование, канавы с валами и др.). Вдоль бровок балок при отсутствии балочных лесных насаждений создаются прибалочные лесные полосы, а на сильно-носмытых и размываемых землях гидрографической сети осуществляется сплошное облесение.

Лугомелиорация осуществляется на берегах гидрографической сети и на прилегающих к ней землях, отведенных под постоянное залужение. Улучшение и повышение продуктивности естественных кормовых угодий должно преследовать цель увеличения производства кормов и защиты почв от эрозии и дефляции, рек и водоемов от заиления и загрязнения. Поверхностное и коренное улучшение травостоя должно применяться в зависимости от вида угодий, состояния растительности, уровня грунтовых вод, эродированности почв, микроклиматических особенностей по экспозициям склонов. Кроме того, кормопроизводство должно осуществляться на пашне в севооборотах, преимущественно почвозащитных.

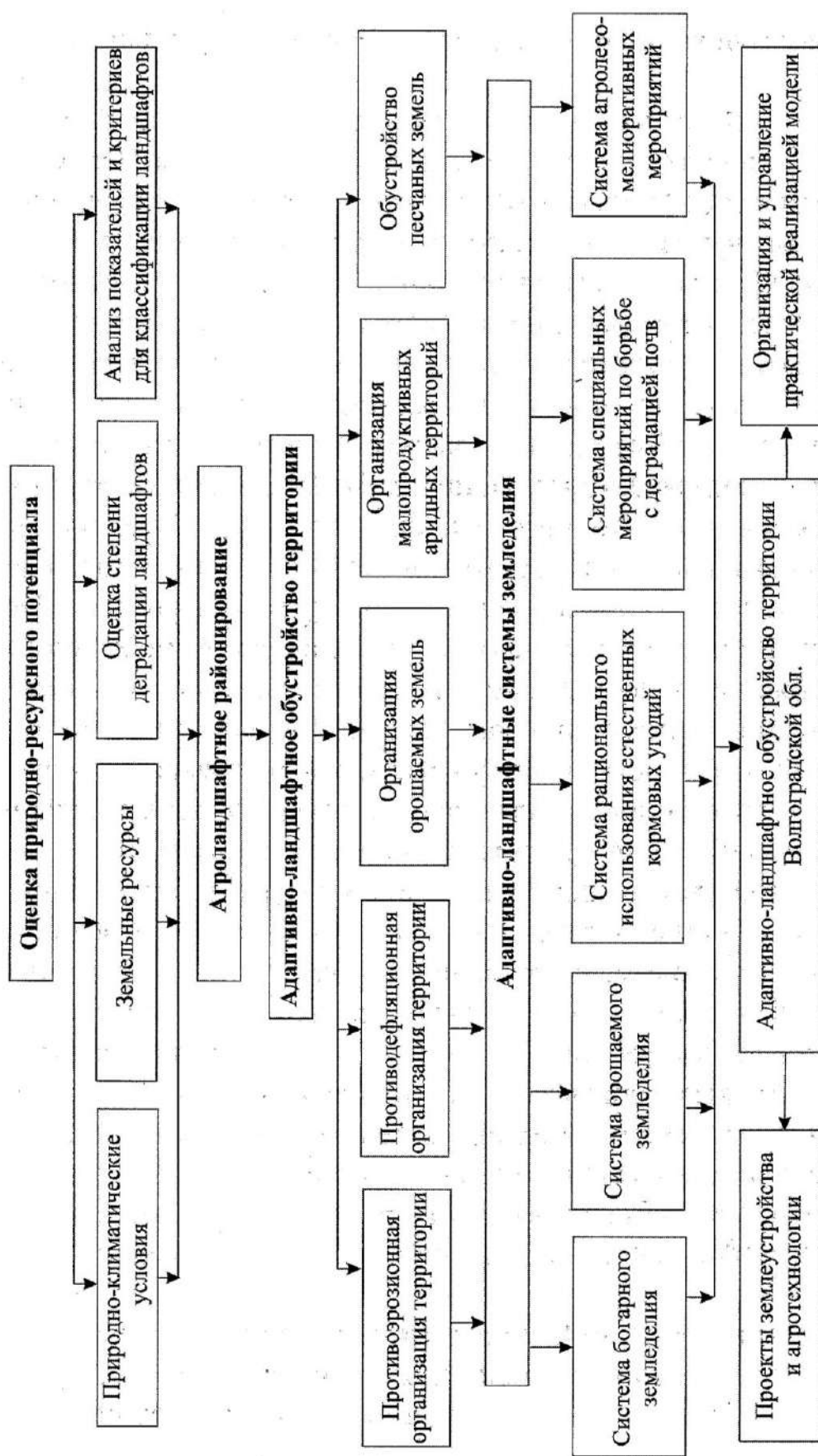


Рис. 4.1. Структурная схема модели адаптивно-ландшафтного обустройства территории и систем земледелия

Гидротехнические мероприятия должны применяться как самостоятельно (валы-террасы на пашне, водозадерживающие и водоотводящие валы у вершин оврагов, валы-плотины в гидрографической сети и др.), так и в сочетании со стокорегулирующими лесополосами (валы по нижней опушке лесополос, канавы в нижнем междурядье и др.).

Структурная схема модели адаптивно-ландшафтного обустройства территории и системы земледелия приведена на рис. 4.1.

В настоящей концепции адаптивно-ландшафтного земледелия изложены общие подходы к разработке схемы ландшафтного земледелия. Конкретные проработки должны осуществляться в проектах систем адаптивно-ландшафтного земледелия для хозяйств разных форм собственности.

### **4.3. Научное обоснование адаптивно-ландшафтного обустройства сельскохозяйственных земель**

Эрозионно-гидрологический процесс представляет собой совокупность гидрологического, эрозионного, аккумулятивного процессов и их сочетания. Гидрологический и эрозионный процессы в совокупности составляют понятие эрозионно-гидрологического процесса – достаточно сложного природного явления с учетом его антропогенной модификации [40]. При его исследовании гидрологический и эрозионно-аккумулятивный процессы рассматриваются как взаимосвязанные и взаимообусловленные совокупности (имеющие прямые и обратные связи). При нерациональном ведении сельскохозяйственного производства (интенсивное земледелие, чрезмерный выпас скота) уменьшается противоэрозионная устойчивость и инфильтрационная способность почвы, приводящие к увеличению слоя и интенсивности склонового стока. Эрозионно-аккумулятивный процесс усиливается и приводит к уменьшению мощности гумусового горизонта и содержания гумуса и ухудшению водно-физических и химических свойств почвы, снижению плодородия в целом [125-127].

Во ВНИАЛМИ на протяжении многих лет разрабатывалась технология адаптивно-ландшафтного обустройства территории. Она строится на комплексном подходе к разработке системы мероприятий на всем водосборном бассейне на основе новейших достижений науки. Для защиты почвы от эрозии необходимо знание закономерностей формирования поверхностного стока, процессов смыва и размыва, инфильтра-

ционной способности почв, особенностей характера впитывания воды в мерзлые и талые грунты и др.

#### 4.3.1. Закономерности формирования поверхностного стока талых вод

Сток талых вод протекает при сложном взаимодействии природных и антропогенных факторов, которые необходимо рассматривать не в отдельности, а с учетом совокупности их влияния.

На основе обобщения и анализа многолетних (60-68 лет) данных ВНИАЛМИ и литературных источников (всего 150 годовых опытов), характеризующих связь стока талых вод на рыхлой и уплотненной пашне с запасами воды в снеге и почве (в слое 0-50 см) перед снеготаянием, глубиной промерзания почвы и продолжительностью снеготаяния на юге ЦРНЗ, в ЦЧО и Поволжье, автором сформулирован и апробирован *закон лимитирующих факторов поверхностного стока талых вод* (см. в разделе 3.3). Установлено, что важнейшими природными факторами стока являются снегозапасы, увлажнение и глубина промерзания почвы. Определены максимальные значения факторов, при которых сток не формируется. При уровнях факторов выше лимитирующих дана количественная оценка их влияния на сток.

Установлено, что почва как саморегулирующаяся система, способна поглотить и удержать определенное количество воды, равное дефициту влажности, максимальная величина которого в мерзлом состоянии может достигать полной влагоемкости верхнего слоя. Дефицит влаги (разница между полной влагоемкостью  $W_{ns}$  и фактическими влагозапасами  $W_{\phi}$ ) обуславливает величину водопоглощения. Слой стока  $U$  зависит от дефицита влаги в почве  $\Delta W$  и снегозапасов  $W_c$  перед снеготаянием. В общем виде уравнение можно записать так:

$$U = W_c - (W_{ns} - W_{\phi}) = W_c - \Delta W. \quad (54)$$

Опираясь на выявленные закономерности и связи, был разработан метод расчета величины поверхностного стока с сельскохозяйственной территории (водосбор) при разных уровнях важнейших природных факторов с учетом типов почв, видов угодий и состояния пашни (см. в разделе 3.3.2) [112].

### 4.3.2. Закономерности впитывания воды в почву

#### *Инфильтрация воды в талую почву, формирование сплошной менисковой пленки*

Е. А. Гаршинев в своей работе глубоко проанализировал вопросы инфильтрации воды в талую и мерзлую почву [40]. Он отмечает, что при взаимодействии осадков с субстратом, как только все поры и поверхность элементарных почвенных частиц и почвенных агрегатов будут полностью заняты водой, на поверхности субстрата образуется сплошная менисковая пленка (рис. 4.2). Эта пленка обладает двумя важными свойствами: вертикальной гидравлической проводимостью и сплошностью водной поверхности в просветах капилляров и на смоченной поверхности элементарных почвенных частиц. Первое свойство обуславливает собственно инфильтрацию, второе создает тангенциальную (касательную) составляющую водного потока и формирует хотя бы незначительный микросток по поверхности сплошной менисковой пленки и элементарных почвенных частиц.

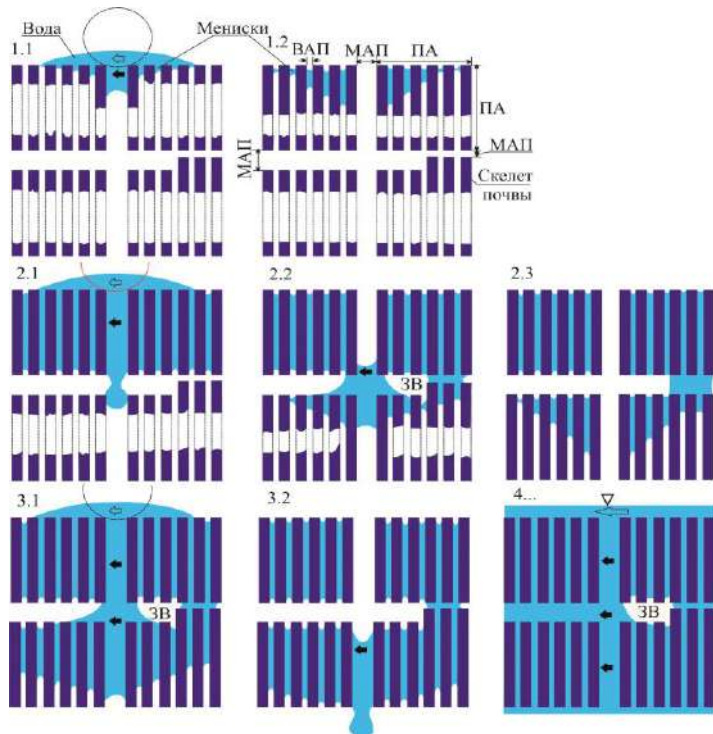


Рис. 4.2. Этапы (1.1-4...) взаимодействия влаги осадков с почвой, образования сплошной менисковой пленки, просачивания влаги в почву и формирования внутрипочвенного и поверхностного стока (стрелки):

ПА – почвенный агрегат, ВАП – внутриагрегатные поры, МАП – межагрегатные поры, ЗВ – полость с защемленным воздухом

Разработанная им концепция сплошной менисковой пленки объясняет важнейшие гидрологические эффекты (явления): отсутствие

стока при наличии значительной некапиллярной скважности (сплошная менисковая пленка не формируется), появление стока как следствие образования сплошной менисковой пленки, увеличение интенсивности инфильтрации (и стока) при возрастании интенсивности осадков, уменьшение вероятности образования и более позднее возникновение сплошной менисковой пленки при дождях малой интенсивности с малыми размерами капель, формирование сплошной менисковой пленки на большей глубине при хорошей оструктуренности почвы и высокой водопрочности почвенных агрегатов, образование "внутреннего" микрорельефа в почве и внутрипочвенного стока и др.

Очень важна связь сплошной менисковой пленки со стоком. На основании изложенного можно сформулировать общее правило: сток формируется только после образования сплошной менисковой пленки.

#### *Инфильтрация воды в мерзлую почву, формирование "ледяного экрана"*

Инфильтрационная способность мерзлых почв определяется иными физическими процессами [40]. Е. А. Гаршинев отмечал, что водопроницаемость мерзлых почв значительно ниже, чем талых, что объясняется снижением инфильтрационной способности за счет закупорки пор льдом. Считают, что чем выше влажность мерзлой почвы и ниже ее температура, тем большая часть пор заполняется льдом и тем ниже ее инфильтрационная способность. Однако инфильтрационная модель водопроницаемости мерзлых почв не объясняет ряд важных явлений: почему формируется талый сток при исключительно низкой интенсивности снеготаяния (0,001-0,010 мм/мин) и наличии огромной свободной пористости (обычно около 50-60 % объема пор); почему объем усвоенной влаги при оттаивании мерзлой почвы в точности равен объему свободных пор в оттаявшем слое. Оба эти явления он объяснил с позиций концепции "ледяного экрана", образующегося при снеготаянии в результате теплообмена (рис. 4.3).

Суть концепции "ледяного экрана" в следующем. При снеготаянии в результате теплообмена талая вода, отнимая часть запасов холода почвы, превращается в лед, полностью перекрывающий все почвенные поры и создающий феномен неводопроницаемого слоя (экрана). Лишь после разрушения "ледяного экрана" (оттаивания почвы) начинается собственно инфильтрация. За период снеготаяния, как правило, почва не успевает полностью оттаять, и количество усвоенной влаги поэтому



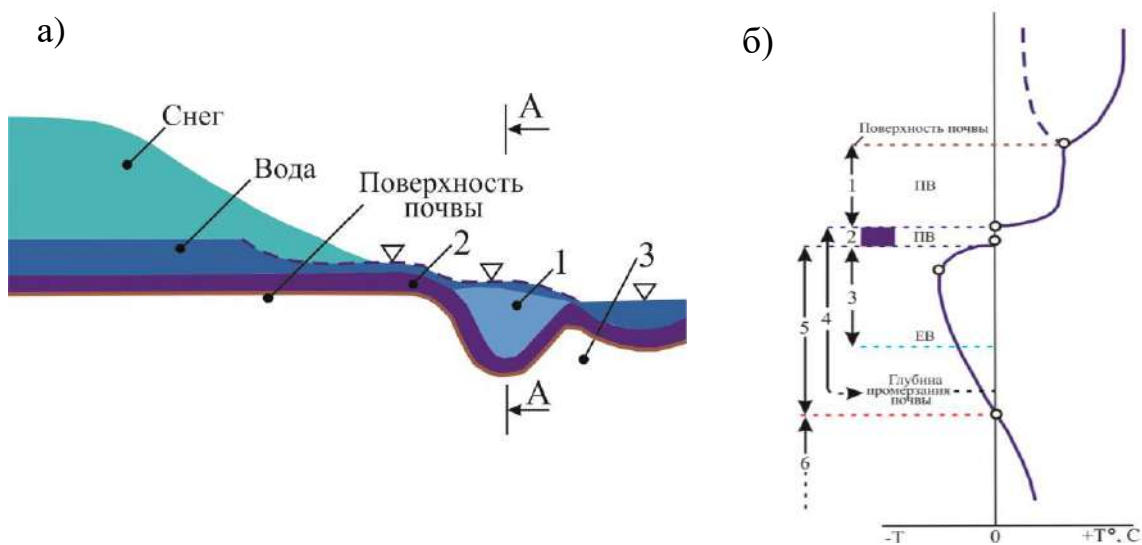


Рис. 4.3. Принципиальная схема формирования "ледяного экрана" при снеготаянии и оттаивании почвы (а), хода температуры воздуха и почвы, распределения ее влажности (б). Почвенные слои: 1 – оттаявший, 2 – "ледяным экраном", 3 – "запирающий", 4 – мерзлый, 5 – с отрицательными и 6 – положительными температурами

в точности равно объему свободных пор в оттаявшем слое. Это обстоятельство объясняется способностью почвы как саморегулирующейся системы поглотить и удержать определенное количество воды, определяемое дефицитом влажности. Процесс заполнения талой водой пор оттаявшего слоя называется термоинфильтрацией. Концепция "ледяного экрана" легко объясняет многие наблюдаемые явления: образование льда под снегом на поверхности почвы в начале снеготаяния, наличие льда в днищах ручьев на склонах, резкий скачок влажности от полной влагоемкости до естественной влажности при переходе от оттаявшей почвы к мерзлой (означает отсутствие признаков проникновения влаги под "ледяной экран" в мерзлый слой почвы), отсутствие влияния глубины промерзания почвы в слое более 30-50 см на усвоение влаги, равенство ее количества в оттаявшем слое почвы дефициту его влажности. Мощность этого слоя в годы со стоком варьирует в пределах 3-70 см, составляя в среднем 9-27 на рыхлой пашне и 8-10 (до 24) см на уплотненной, и убывает от 15-27 в лесостепи до 9-19 см в сухой степи [81]. Таким образом, усвоение влаги мерзлой почвой определяется верхним слоем небольшой мощности. В рамках концепции "ледяного экрана" и термоинфильтрации находят объяснение указанные парадоксы усвоения влаги мерзлой почвой, а также низкий стокорегулирующий эффект

или его отсутствие при применении агротехнических приемов регулирования стока (поделка микрорельефа, поперечная вспашка, рыхление, кротование и т. д.) во всех тех случаях, когда они не обеспечивают контакт воды с талыми (незамерзшими) слоями почвы. Этот контакт может обеспечить лишь глубокое (ниже границы промерзания) щелевание почвы, устройство водопоглощающих канав, создание лесополос, обеспечивающих резкое уменьшение глубины промерзания почвы или исключают его, особенно при их сочетании с гидротехническими устройствами (канавы с талым дном).

#### **4.4. Адаптивно-ландшафтное обустройство сельскохозяйственных земель и разработка почвозащитных систем земледелия**

##### **4.4.1. Противоэрозионная организация территории**

В эрозионных ландшафтах первоочередная задача оптимизации земледелия связывается с противоэрозионной организацией территории, предусматривающей выделение севооборотных массивов с учетом крутизны склона, эродированности почв, интенсивности процессов эрозии; выбор и разработку схем севооборотов; определение размеров полей и размещение их на территории; рациональное размещение лесных полос и других линейных рубежей; определение приемов и технологий обработки почвы, мест гидротехнических сооружений и способов улучшения суходольных лугов.

Определяющим моментом агроландшафтного обоснования организации землепользования является типология земель (выделение контуров по однородным агроэкологическим условиям) и определение характера их использования, а также применение технологий, приемов и мероприятий, обеспечивающих нормальное функционирование агроэкосистем.

При планировании комплекса противоэрозионных мероприятий необходимо исходить из того, что в ходе процессов рельефообразования, а также под воздействием природных и антропогенных факторов на водосборных бассейнах разного ранга и их склонах сложились различные почвенно-экологические условия, чем и обусловлено выделение ландшафтных поясов – эрозионных земельных фондов.

В приводораздельной части склонов крутизной до 2-3° почвы несмытые и слабосмытые. Процессы эрозии здесь протекают слабо,

интенсивность смыва часто не превышает скорость естественного почвообразовательного процесса (1-2 т/га). Однако эта территория является ареной формирования стока, который, поступая на присетевые участки склонов и в гидрографическую сеть, приводит к смыву почвы и размыву почвогрунтов, а также к выносу биогенных веществ в водные источники. Здесь противоэрозионные мероприятия должны быть направлены на задержание воды на месте или безопасный сброс в зависимости от природной зоны.

В присетевой части на склонах круче 2-3° образуется полоса средне- и сильносмывтых почв, характеризующихся пониженным содержанием гумуса, ухудшенными водно-физическими и химическими свойствами и сильной податливостью эрозии. Здесь в основном протекают процессы смыва (часто и размыва – оврагообразования) как за счет собственного стока, так и за счет подтока с вышележащей территории, поэтому противоэрозионные мероприятия должны быть направлены на защиту почв от смыва, восстановление и повышение плодородия.

В гидрографической сети протекают в основном процессы размыва и смыва, распространены здесь сильно и весьма сильно смывтые почвы, но имеются и несмывтые, слабо- и среднесмывтые, а также намытые почвы. Мероприятия на этих угодьях должны быть направлены на предохранение их от размыва и смыва.

Приводораздельные и присетевые склоны, а также земли гидрографической сети выделяются в виде ландшафтных поясов (фондов) при составлении ландшафтных карт местности. Для каждого из этих фондов определяется свой характер использования и набор противоэрозионных мероприятий.

Критериями для выделения разных групп земель на склонах являются характер гидрологических и эрозионных процессов, состояние почв, местонахождение в рельефе, доступность для проведения механизированных работ и др. [124].

Модели адаптивно-ландшафтного обустройства территории и системы земледелия разрабатываются на основе оценки ее природно-ресурсного потенциала – природно-климатических условий, земельных ресурсов, степени деградации земель, анализа совокупности показателей и критериев для классификации ландшафтов [126].

Россия имеет большой опыт по разработке научных основ борьбы с деградацией. Цикл работ, проведенный под руководством В. В. Докучаева, заложил в качестве противодеградационной основы принципы,

названные позже принципами адаптивно-ландшафтного землепользования. Однако в дальнейшем они не стали основой практического сельского хозяйства, несмотря на усилия государственных органов и научных учреждений. Позднее они были значительно усовершенствованы.

А. С. Козменко [2, 3] разработал классификацию склоновых земель. По этой классификации на территории от водораздела до дна гидрографической сети выделяются 3 земельных фонда:

1. Приводораздельный фонд – ровные участки и пологие склоны, имеющие крутизну до  $3^\circ$ .

2. Присетевой фонд – земли крутизной свыше  $3^\circ$  и примыкающие к гидрографической сети.

3. Гидрографический фонд – берега, крутосклоны и днища ложин, суходолов (балок) и речных долин.

Эта классификация в последующем совершенствовалась и уточнялась Г. П. Сурмачем [5]. Он дифференцировал критерии определения границ фондов для серых лесных почв и черноземов, а также дополнительно к крутизне предложил учитывать длину склона и смытость почвы. Приводораздельный фонд он предложил выделять на пологих склонах, имеющих крутизну до  $2,5-3,5^\circ$  на серых лесных почвах и до  $3,5-4,0^\circ$  на черноземах. При большей длине склона нижняя граница приводораздельного земельного фонда проводится в зоне с меньшей его крутизной, а при малой длине она опускается ниже по склону и проходит по более крутой его части, или по бровке гидрографической сети (если присетевой фонд не выделяется). При этом принимается во внимание также степень смытости почв. Нижняя граница приводораздельного фонда является верхней границей присетевого фонда, а его нижняя граница проходит на участке склона крутизной  $8-10^\circ$ .

Имеются другие более дробные классификации, которые насчитывают 9 и более категорий земель. Они недостаточно научно обоснованы и трудно применимы в практике, поэтому мы их здесь не рассматриваем.

В. И. Кирюшиным разработана методология построения модели систем земледелия [128, 129] на основе учета природно-экологических и социально-экономических условий. Им сформулировано определение адаптивно-ландшафтной системы земледелия: "система использования земли определенной агроэкологической группы, ориентированная на производство продукции экономически и экологически обусловленного количества и качества в соответствии с общественными (ры-

ночными) потребностями, природными и производственными ресурсами, обеспечивающая устойчивость агроландшафта и воспроизводство почвенного плодородия" [130].

Необходимо пересмотреть идеологию систем земледелия. Она должна строиться на адаптивно-ландшафтных принципах [131-133]. Они предусматривают смену приоритетов – на первое место ставится природоохраный принцип природопользования. При этом максимально учитываются особенности природных и антропогенных ландшафтов, требовательность сельскохозяйственных культур к условиям произрастания, оптимально реализуется ресурсный потенциал, каждый земельный участок используется с учетом его экологических условий и типологии земель.

При определении характера использования земель важно учитывать биологические особенности и почвоскрепляющие свойства сельскохозяйственных культур. Они по-разному реагируют на условия произрастания. В табл. 4.1 приведены данные, характеризующие степень снижения урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от степени смывости почвы [134].

Таблица 4.1

**Уровень урожайности сельскохозяйственных культур  
на почвах разной степени эродированности, % к несмытой почве**

Культура	Степень смывости почв		
	слабая	средняя	сильная
Озимая пшеница	85-90	50-60	30-35
Озимая рожь	85-90	55-65	35-40
Яровая пшеница	70-80	40-50	15-20
Яровой ячмень	80-85	45-55	30-40
Овес	80-85	55-60	30-45
Кукуруза	80-85	60-70	15-25
Горох, вика	85-95	60-70	50-60
Сахарная свекла, картофель	80-90	30-40	10-15
Подсолнечник	70-80	40-50	20-30
Вика + овес	85-90	65-70	35-45
Суданка	80-90	55-60	30-40
Многолетние травы	90-95	85-90	60-75

Такие культуры, как сахарная свекла, кукуруза, картофель, яровая пшеница, подсолнечник высокотребовательны к условиям произ-

растания; озимая пшеница, озимая рожь, ячмень, суданка среднетребовательны; многолетние травы, бобовые и вико-овсяная смесь малотребовательны.

Почвозащитная роль сельскохозяйственных культур характеризуется следующими коэффициентами эрозионной опасности: черный пар – 1,00; свекла, кукуруза – 0,85; картофель, подсолнечник – 0,75; яровые зерновые – 0,50; смесь кукурузы с горохом и викой, горох, вика + овес – 0,35; многолетние травы первого года пользования – 0,08, второго года – 0,03, третьего года – 0,01.

Коэффициенты эрозионной опасности показывают, что почва под черным паром и пропашными культурами в наибольшей степени подвергается эрозии. Многолетние травы характеризуются высокой почвозащитной ролью.

С учетом вышеизложенного рекомендуется классификация склоновых земель, в соответствии с которой на территории от водораздела до дна гидрографической сети выделяются 3 земельных фонда (ландшафтные пояса): приводораздельный – ровные участки и пологие склоны, имеющие крутизну до  $2^\circ$  на каштановых и светло-каштановых почвах и  $3^\circ$  на черноземах и темно-каштановых почвах; присетевой – земли крутизной свыше  $2-3^\circ$ , примыкающие к гидрографической сети; гидрографический – берега, крутосклоны (обычно круче  $7-8^\circ$ ) и днища лощин, суходолов (балок) и речных долин обычно с малой крутизной (рис. 4.4).

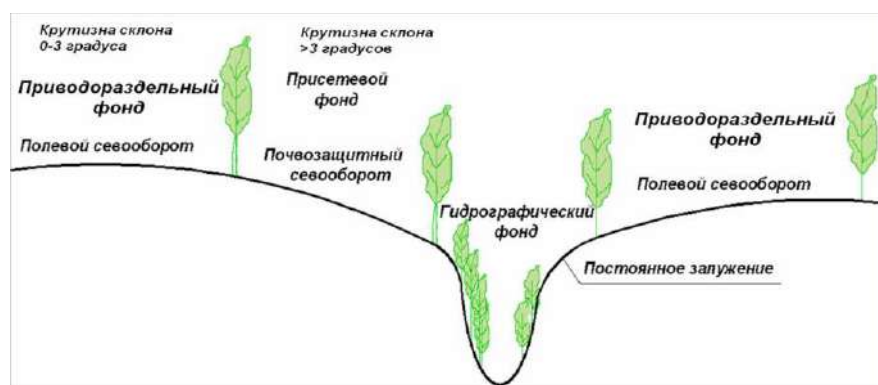


Рис. 4.4. Схема противоэрозионной организации территории

Исходя из вышесказанного, рекомендуется земли на приводораздельных склонах крутизной меньше  $2-4^\circ$  использовать интенсивно в зернопропашных или зернопаропропашных севооборотах с максимальным насыщением парами и пропашными культурами. Земли на присетевых склонах круче  $2-4^\circ$ , где наиболее интенсивно протекают

эрозионные процессы, отводятся под почвозащитные севообороты с максимальным насыщением малотребовательными к условиям произрастания и обладающими высокой почвозащитной способностью многолетними травами. Соотношение культур в севооборотах определяет и структуру посевных площадей. На границе между севооборотами и внутри полей размещаются стокорегулирующие лесные полосы поперек склона или по контуру.

В почвозащитном севообороте многолетние травы надежно защищают почву от эрозии. На зяби, а в ряде случаев и на озимых смыв почвы был значительным. При наличии стокорегулирующей лесополосы на границе полей зернопаропропашного и почвозащитного севооборотов талая вода с вышележащего поля не поступала на нижележащее и смыв в почвозащитном севообороте не увеличивался. При отсутствии лесополосы смыв обычно (такова закономерность) вниз по склону увеличивается. После распашки многолетних трав и если нет подтока смыв бывает незначительный или совсем не проявляется.

Роль почвозащитных севооборотов нами изучалась во взаимодействии с другими факторами: стокорегулирующими лесными полосами в сочетании с простейшими гидротехническими сооружениями и обработкой почвы [63]. В результате наших исследований получены материалы, свидетельствующие о высокой противоэрозионной и агрономической эффективности почвозащитных севооборотов, что позволяет их рекомендовать для практического применения.

Разрабатываемые системы адаптивно-ландшафтного земледелия, основанные на изложенных выше принципах и подходах, позволяют зарегулировать поверхностный сток, улучшить гидротермический режим, подавить эрозионные процессы, повысить экологическое разнообразие агролесоландшафтов, улучшить регуляторную способность агроценозов. Защитные лесные насаждения в системе адаптивно-ландшафтного земледелия кроме того служат долговременными рубежами землепользований, севооборотов, полей. Они выполняют рекреационную, эстетическую и другие социальные функции.

В результате применения адаптивно-ландшафтных систем земледелия уменьшается интенсивность деградиционных процессов или в ряде случаев происходит их полная ликвидация; восстанавливается устойчивый гидрологический режим местности; прекращается или уменьшается до допустимых размеров эрозия и дефляция; повышается влагообеспеченность территории и улучшаются условия произрас-

тания сельскохозяйственных растений; повышается и восстанавливается плодородие почв; увеличивается урожайность; улучшается биоразнообразие, санитарно-гигиеническая обстановка, качество жизни и работы населения; снижается уровень заболеваемости; происходит радикальное оздоровление среды обитания человека и животных.

#### 4.4.2. Технология агролесомелиоративного адаптивно-ландшафтного обустройства территории

Технология агролесомелиоративного адаптивно-ландшафтного обустройства территории создана на основе разработок Е. А. Гаршинева о функции формы склона как функции эрозии и аккумуляции [40]. Адаптивно-ландшафтное обустройство осуществляется в несколько этапов: расчет стока и смыва талых вод, расчет расстояний между стокорегулирующими лесополосами и другими рубежами, определение параметров проектируемых лесополос (подбор конструкции, рядность, породный состав).

Перед началом проектирования линейных рубежей (лесополос и гидротехнических устройств) проводится обследование территории, анализ топографической и почвенно-эрозионной карт, а также сведений о структуре посевных площадей и севооборотов, осуществляется анализ космоснимков на наличие процессов смыва почв и выявление очагов деградации в целом и др.

##### *Расчет стока талых вод и смыва почвы*

Для планирования мер по регулированию поверхностного стока и при проектировании системы противоэрозионных мероприятий на расчетной основе необходима количественная оценка слоя стока в любой точке территории страны. В связи с тем, что в РФ пунктов наблюдений за стоком талых вод на различных видах пашни (зябрь, озимые, многолетние травы, стерня и др.) с относительно длинными рядами мало, то наиболее удобной и доступной формой изложения их для проектных организаций являются карты среднего стока и модульные коэффициенты для расчета стока разной вероятности превышения.

Нами совместно с Е. А. Гаршиневым [40, 63] построены карты среднего весеннего стока с рыхлой и уплотненной пашни для лесостепных и степных районов европейской части РФ (рис. 4.5) по факти-



ческим данным, полученным на стоковых площадках и обобщенным нами по девяти пунктам: серые лесные почвы Орловской обл., темно-серые лесные почвы и выщелоченные черноземы Курской обл., обыкновенные черноземы Воронежской и Самарской обл., южные черноземы и темно-каштановые почвы Саратовской обл., каштановые и светло-каштановые почвы Волгоградской обл., североприазовские черноземы Ростовской обл. Кроме того, использовались материалы по Чувашии, Татарстану, Московской, Кировской, Ульяновской, Тамбовской, Нижегородской и Новгородской областям.

Карты среднего весеннего стока отражают фактическую картину изменения его в связи с природными и антропогенными факторами в лесостепных районах европейской территории РФ [63].

Проведенный выше анализ данных (см. в разделе 3.2.1) показал, что, в связи с удлинением рядов наблюдений за стоком, средние величины его и показатели разной вероятности превышения изменились. Поэтому изменились и модульные коэффициенты. Используя новые модульные коэффициенты (табл. 4.2) и карты изолиний среднего поверхностного стока талых вод (см. рис. 4.5), можно рассчитывать показатели стока различной вероятности превышения и применять их при проектировании системы мероприятий по управлению эрозионно-гидрологическим процессом.

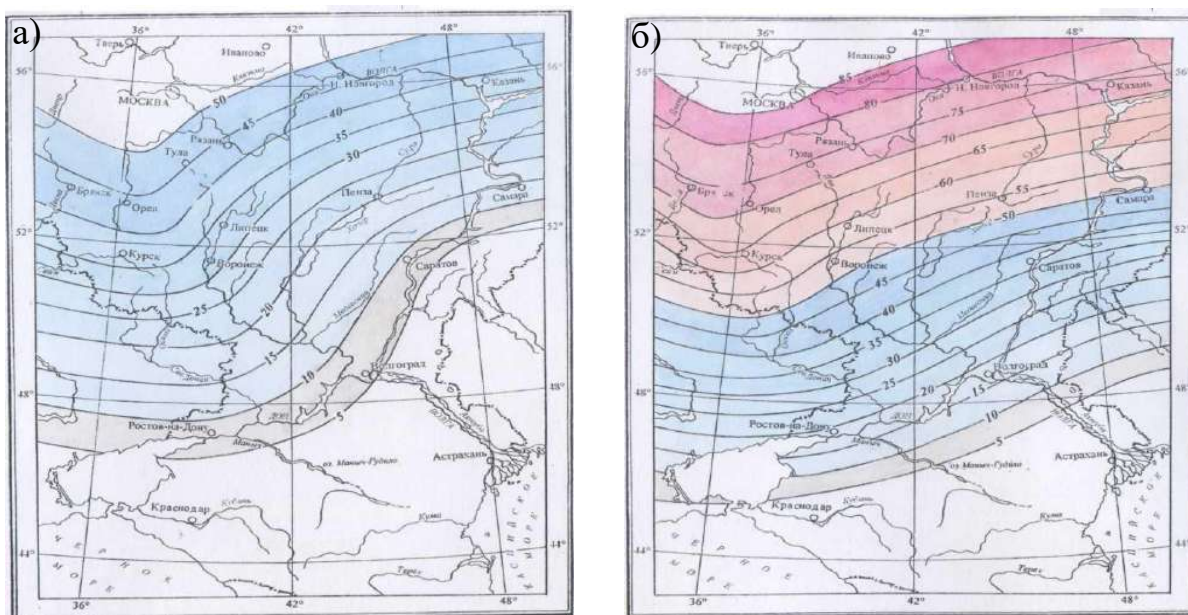


Рис. 4.5. Изолинейные карты поверхностного стока талых вод на рыхлой (а) и уплотненной (б) пашне в европейской части РФ

Таблица 4.2

**Модульные коэффициенты перехода от среднего стока  
к стоку разной вероятности превышения**

Зона, область, почва	Вид пашни	Вероятность превышения, %						
		1	5	10	50	70	80	90
Лесостепная, Орловская, серая лесная	Уплотненная	5,38	3,48	2,69	0,65	0,17	0	0
	Рыхлая	6,45	4,05	2,95	0,55	0	0	0
Лесостепная, Курская, темно- серая лесная	Уплотненная	4,57	3,11	2,46	0,76	0,32	0,11	0
	Рыхлая	5,90	3,70	2,75	0,55	0,10	0	0
Лесостепная, Курская, выщело- ченный чернозем	Уплотненная	6,00	3,48	2,91	0,62	0,06	0	0
	Рыхлая	7,54	4,69	3,38	0,46	0	0	0
Степная, Воро- нежская, обыкно- венный чернозем	Уплотненная	5,41	3,52	2,69	0,65	0,17	0	0
	Рыхлая	9,78	5,89	4,22	0,33	0	0	0
Степная, Самар- ская, обыкновен- ный чернозем	Уплотненная	3,65	2,68	2,20	0,88	0,47	0,26	0
	Рыхлая	7,71	4,71	3,43	0,43	0	0	0
Степная, Волго- градская, темно- каштановая	Уплотненная	5,25	3,44	2,62	0,83	0,31	0,12	0
	Рыхлая	7,40	4,20	3,00	0,40	0	0	0
Степная, Волго- градская, светло- каштановая	Уплотненная	4,69	3,25	2,56	0,75	0,25	0	0
	Рыхлая	12,67	6,67	4,00	0	0	0	0

Таким образом, используя разработанные нами карты поверхностного стока с рыхлой и уплотненной пашни, можно получить для любой точки европейской части РФ средние величины стока и разной вероятности превышения и использовать их при расчетах расстояний между лесополосами и другими линейными рубежами, в различных гидрологических расчетах и т. д.

Для расчета смыва почв на топографической карте наносятся основные линии тока (рис. 4.6), по которым рассчитываются характеристики формы склонов и значения уклонов и смыва почвы (табл. 4.3), при этом составляется ряд тематических карт (рис. 4.7). Расчет смыва почв  $W$  производят по формуле [40]

$$W = \alpha \cdot K \cdot h^s \cdot I, \quad (55)$$

где  $\alpha$  – коэффициент размерности и пропорциональности (табличное значение для разных видов угодий);  $K$  – произведение коэффициентов, учитывающих влияние на смыв почвенных условий (тип почвы, гранулометрический состав, степень смытости), агротехнических приемов и др.;  $s = 0,95$  – параметр;  $h$  – слой стока (см. в разделе 1.1);  $I$  – уклон.

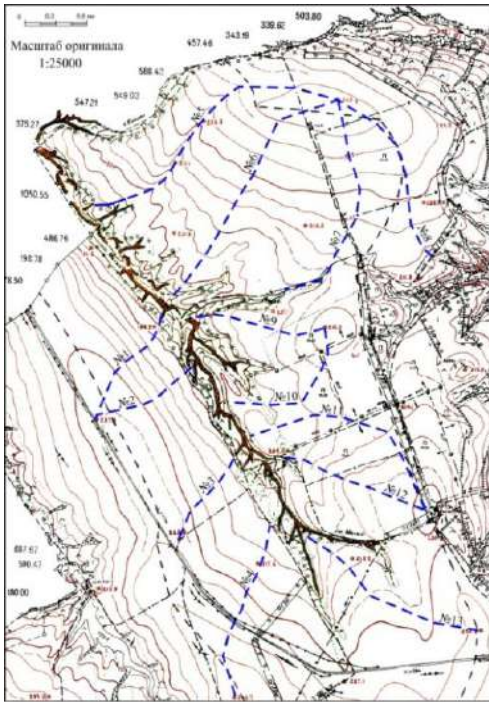


Рис. 4.6. Пример построения линий тока на водосборе лога Малый Клетского р-на Волгоградской обл.

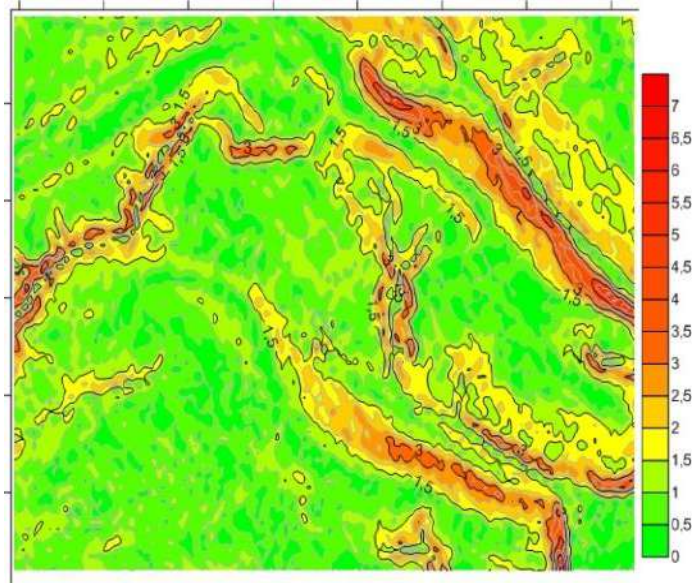


Рис. 4.7. Пример составления карт уклонов

Таблица 4.3

**Характеристика склонов водосбора лога Малый по уклонам и смыву почвы на разном расстоянии от водораздела (фрагмент)**

Расстояние от водораздела, м	Уклон		Смыв почвы, т/га	Расстояние от водораздела, м	Уклон		Смыв почвы, т/га
	$tgI \times 10^{+3}$	I, град.			$tgI \times 10^{+3}$	I, град.	
<i>профиль 1</i>				<i>профиль 2</i>			
250	6,2	0,4	0,1	250	3,2	0,2	0,1
500	5,0	0,3	0,1	500	8,0	0,5	0,1
750	50,0	2,9	2,3	750	50,0	2,9	2,3
1000	67,0	3,8	4,7	1000	44,0	2,6	2,5
1250	40,0	2,3	2,7				

Расчет расстояний между стокорегулирующими  
лесными полосами и другими рубежами

Положение стокорегулирующих лесных полос (рубежей) на склоне определяется следующими условиями [12]:

величина текущего смыва не должна превышать некоторого допустимого предела – допустимого смыва  $W_D$ ;

около каждой стокорегулирующей лесополосы формируется вдоль верхней и нижней опушек так называемый пояс восстановления плодородия почвы суммарной шириной  $L_6$ , равной 90 м;

сток и смыв всякий раз прерывается на рубеже лесополосы вследствие устройства в ней гидротехнического сооружения, которое часть стекающей воды поглощает, а часть отводит вдоль лесополосы;

если величина текущего смыва не достигает  $W_D$  при расстояниях между лесополосами  $L_p$ , принятыми для "равнинных" условий ( $L_p = 400$  м), то расстояние между лесополосами  $L_{mn}$  определяется из неравенства  $L_p \geq L_{mn} \geq L_c$ , где  $L_c = L_p(1 + 3\text{tg}I)$ ;

из-за уменьшения дальности ветроломного влияния лесных полос на ветроударных склонах  $L_{mn} = L_c$ .

Во всех случаях, разумеется,  $L_{mn} = (L_D + L_6) \leq (L_p - L_6)$  для первой стокорегулирующей лесополосы от водораздела, если  $L_D \geq L_p$ , величина  $1/2L_{mn} = 1/2(L_p - 1/2L_6)$ . Это означает, что на водоразделе лесная полоса не создается, а вместо нее проектируются две приводораздельные лесополосы по обе стороны водораздела так, что расстояние  $L_{mn}$  между ними в сумме равно расстоянию  $L_p$  для ветроломных лесополос на "равнине", поскольку при малой крутизне приводораздельных склонов смыв не достигает предельных значений, а малые значения уклона и водораздела на дальности ветроломного влияния не сказываются [12, 81].

Таким образом, расчет стокорегулирующих лесополос выполняется по уравнению связи текущего смыва со слоем стока, характеристиками формы склона и коэффициентами почвенных условий до тех пор, пока расстояние до первой от водораздела лесополосы не станет равным  $1/2L_p$  или величина смыва на некотором расстоянии  $L_D \leq 1/2(L_p - L_6)$  не достигнет предельно допустимого размера. Положение нижележащей 2-й стокорегулирующей лесной полосы получают расчетом от точки, расположенной на расстоянии от водораздела  $L_2 = L_D + L_n + 1/2L_6$  и т. д. до бровки лощинно-балочной сети, где  $L_n$  – ширина лесополосы.



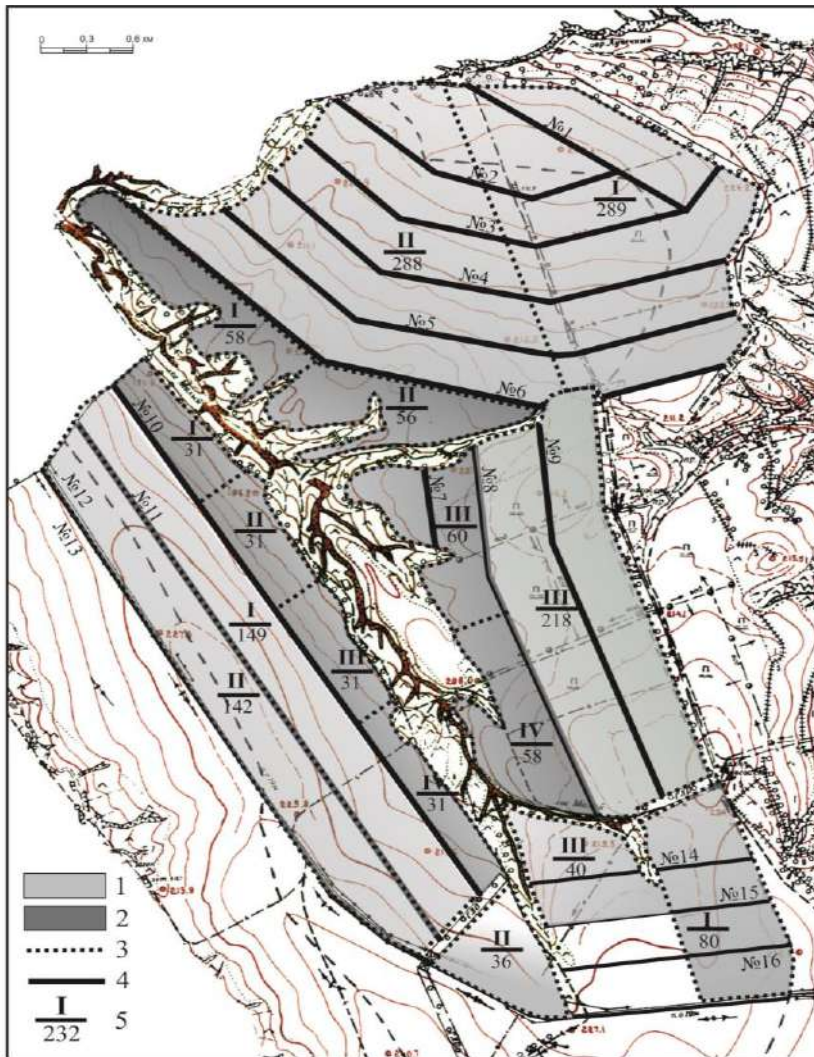


Рис. 4.8. Схема адаптивно-ландшафтного обустройства территории водосбора в Клетском р-не (1 – полевые севообороты, 2 – почвозащитные севообороты, 3 – границы полей, 4 – проектируемые лесополосы, 5 – номера и площади полей)



Рис. 4.9. Схема размещения севооборотов на водосборах ИП Исаев Серафимовичского р-на (1 – поля зернопаропашного севооборота, 2 – поля почвозащитного севооборота)

Трассирование стокорегулирующих лесных полос осуществляется: параллельно-прямолинейно – на склонах с прямым поперечным профилем;

параллельно контурно-прямолинейно – на склонах собирающего и рассеивающего типов с равномерным расстоянием между горизонталями;

параллельно-контурно – на склонах собирающего и рассеивающего типа с равномерным расстоянием между горизонталями;

контурно-параллельно со спрямлением в ложбинах на склонах с неравномерным расстоянием между горизонталями.

При проектировании стокорегулирующих лесных полос необходимо стремиться к их параллельности. При этом контурность (кривизна) лесных полос, если они являются направляющими линиями обработки, проектируются так, чтобы начав обработку от лесных полос, радиусы загонов на всем участке были бы не менее 60-70 м.

Во ВНИАЛМИ разработаны типовые проектные решения комплекса мероприятий по адаптивно-ландшафтному обустройству территории в хозяйствах Волгоградской обл. На рис. 4.8 приведена схема противоэрозионной организации территории и размещения стокорегулирующих лесных полос крупного балочного водосбора. Земли принадлежат двум фермерам. С учетом изложенных выше принципов и подходов у каждого фермера были организованы по 2 севооборота: на склонах крутизной до 3° зерно-паропропашной (светлый тон на рисунке), а свыше 3° – травопольный (почвозащитный; темный тон). По границам полей и внутри их запроектированы стокорегулирующие лесные полосы, размещенные контурно-прямолинейно. В рамках этой организации территории разработана структура посевных площадей, схемы севооборотов, почвозащитные технологии возделывания сельскохозяйственных культур, система удобрений, система машин; определено место и объемы применения лугомелиоративных и гидротехнических мероприятий.

На рис. 4.9 приведена схема размещения зернопаропропашного и почвозащитного севооборотов на водосборах землепользования ИП Исаев Серафимовичского р-на. Здесь крутизна склонов в основном меньше 3° и под почвозащитный севооборот отведена небольшая площадь.

### *Назначение параметров проектируемых лесных полос*

При определении лесоводственно-мелиоративных параметров проектируемых лесополос необходимо руководствоваться следующими положениями:

функциональное назначение лесных полос на склонах заключается в сочетании главным образом стокорегулирующих, почвозащитных и ветроломных функций. При этом ветроломные функции хотя и играют вспомогательную роль, обеспечивая агроэкономическую эффективность лесополос, их использование важно в первую очередь в противоэрозионно-гидрологическом плане [9];

главное функциональное назначение стокорегулирующих и прибалочных лесополос – поглощение вод поверхностного стока и защита почв от эрозии – определяется сочетанием их с гидротехническими сооружениями. Ветроломные их функции определяются конструкцией лесополос, которая зависит от числа рядов, породного состава, схемы смещения и размещения пород.

Конструкции лесополос должны быть дифференцированы в зависимости от назначения, места расположения на склоне, крутизны склонов и др. Многими поколениями ученых агролесомелиораторов разработаны 3 основные конструкции: плотная, ажурная, продуваемая и переходные: умеренно-ажурная, ажурно-продуваемая, ажурно-плотная.

Выполняя свои функции, лесополосы способствуют распределению снега по полям и накоплению внутри себя достаточного его количества, необходимого для дополнительного увлажнения и предотвращения почвы от промерзания. Таким требованиям отвечает разработанная и апробированная нами еще одна конструкция лесополос – комбинированная [121]. Она обеспечивает оптимальное снегоотложение, предохраняющее почву от промерзания, сохраняющее на высоком уровне впитывающую и кольматирующую способность, а также дополнительное накопление влаги для деревьев (см. в разделе 3.4).

Важную роль играют способы размещения стокорегулирующих лесополос разных конструкций на склонах. Известно, что лесные полосы, задерживая и перераспределяя на местности снег, обуславливают повышенное водопоглощение в самих лесных полосах и зонах отложения снежных шлейфов, что способствует снижению стока и эрозии почв. Однако лесополосы не обеспечивают равномерного его стаивания весной, что приводит к увеличению смыва почвы в межшлейфовой части межполосного пространства. Необходимо регулировать снегоотложение так, чтобы мощность снежного покрова возрастала сверху вниз по склону. Для обеспечения такого снегоотложения лесные полосы необходимо создавать с уменьшающейся ветропроницаемостью сверху вниз по склону. Это достигается созданием

лесополос разной конструкции: первую от водораздела двухрядную приводораздельную полосу продуваемой конструкции закладывают без кустарника из пород, обеспечивающих площадь просветов между стволами свыше 60 %, в кронах до 10 %. Вторую, стокорегулирующую полосу из трех рядов формируют без кустарников ажурно-продуваемой конструкции, занимающей промежуточное положение между ажурными и продуваемыми по площади просветов между стволами и в кронах (12-45 %). Третью, стокорегулирующую лесополосу из трех рядов ажурной конструкции формируют из древесных пород и кустарников (в двух рядах главные породы, в третьем – главные чередуются с кустарником), обеспечивающих ветропроницаемость между стволами и в кронах 15-35 %. Четвертую, стокорегулирующую лесополосу создают из трех-четырех рядов, но один ряд из чистого кустарника. Пятую, прибалочную полосу, создают пятирядную плотной конструкции из деревьев и кустарников: 3 ряда из главных пород, 2 – из кустарников. Лесополоса должна быть с ветропроницаемостью по всему профилю максимально допустимо не более 10 %. Для лучшего снегораспределения в межшлейфовых участках межполосного пространства можно высевать кулисы из высокостебельных сельскохозяйственных культур. При таком сочетании посадки лесных полос и кулис из сельскохозяйственных растений почти весь выпавший снег откладывается на полях равномерно с увеличением мощности его сверху вниз, что обуславливает постепенное стайвание его в этом же направлении и резкое сокращение смыва почвы или предотвращение его (см. в разделе 3.5).



## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Эрозия почв является результатом сложного взаимодействия воды и почвы под влиянием природных и антропогенных факторов. К природным факторам относятся осадки, глубина промерзания, степень и характер увлажнения, водно-физические и химические свойства почвы, рельеф местности, характер снегоотложения и снеготаяния и др., к антропогенным – хозяйственная деятельность людей (обработка почвы, создание лесных полос, травосеяние, размещение сельскохозяйственных культур и др.). Эти факторы влияют как на усиление эрозии, так и ее ослабление.

Использование статистических и генетических методов исследования и анализа полученного материала, а также применение элементов системного подхода позволили разработать новые теоретические положения формирования поверхностного стока талых вод, существенно уточняющие представления о физической природе гидрологических процессов на сельскохозяйственных угодьях, по-новому трактовать условия просачивания талых вод в почву, усовершенствовать существующие и разработать новые математические модели, установить связь поверхностного стока с природными факторами при различном антропогенном воздействии, дать оценку стокорегулирующей, противоэрозионной и агрономической эффективности отдельных почвозащитных приемов и их сочетаний, определить роль и место агролесомелиорации в адаптивно-ландшафтном земледелии, предложить систему эффективных мер по защите почв от эрозии и технологию управления эрозионно-гидрологическим процессом.

Эти материалы необходимы для проведения гидрологических и эрозионных расчетов и прогнозов весенних паводков на малых и средних реках, при проектировании противоэрозионных адаптивно-ландшафтных систем земледелия и дальнейшего совершенствования адаптивно-ландшафтного природопользования. Теоретические разработки позволяют получить более правильное представление об эрозионно-гидрологических процессах. Их можно применять при обосновании элементов противоэрозионного комплекса, их сочетаний и более обос-

нованно рассчитывать адаптивно-ландшафтную систему земледелия в целом. Они могут служить теоретической и нормативной базой при разработке системы управления эрозионно-гидрологическим процессом на расчетной основе для обустройства комплексных балочных и малых речных бассейновых агроэколандшафтов как эрозионно-безопасных и экологически сбалансированных объектов. Они также могут быть использованы в учебных пособиях для преподавания в высших и средних учебных заведениях курса по защите почв от эрозии.

Теоретический анализ влияния природных факторов на формирование стока на основе богатейшего экспериментального материала, полученного в течение 50-68 лет на семи стационарах в европейской части РФ, позволил выявить закономерности его формирования на различных видах пашни, определить показатели среднего и разной вероятности превышения стока и стокорегулирующей эффективности зяблевой обработки в лесостепной, степной и полупустынной зонах. Приведенные материалы исследований дают представление о закономерностях и особенностях его формирования в разных географических зонах и методах воздействия и управления ими через применение почвозащитных ресурсов влагосберегающих технологий и средств агролесомелиорации.

Распределение стока талых вод по территории обусловлено зональными климатическими (природными) факторами (снегозапасы, увлажнение и глубина промерзания почвы) и видом хозяйственной деятельности (соотношение сельскохозяйственных угодий, структура посевных площадей, используемые севообороты, обработка почвы, применяемые почвозащитные мероприятия и др.). Изменение влияния природных факторов на сток происходит при движении от лесостепи к степи и полупустыне. Главные изменения в сельскохозяйственной деятельности в последние два десятилетия связаны с трансформацией структуры посевных площадей и характера обработки почвы, что привело к значительному изменению соотношения уплотненной и рыхлой пашни, а именно к сокращению площадей с зяблевой обработкой почвы. Средняя многолетняя величина стока варьирует на рыхлой пашне в интервале от 15-20 мм в лесостепи до 3-7 в степи и соответственно от 30-37 до 15-34 мм на уплотненной пашне.

Ход динамики весеннего стока показывает, что он в значительной степени колеблется по годам и явно наблюдается тенденция его устойчивого снижения от 1959 к 1996 г., а в последние почти 20 лет его

совсем не было, что связано в основном с климатическими изменениями. Наибольшая амплитуда колебаний стока наблюдается на угодьях с уплотненной пашней в более увлажненных северных районах лесостепи, где она достигает 186 мм на уплотненной пашне и 146 на рыхлой, а наименьшая – в засушливых южных степных районах – 58 мм на уплотненной пашне и 36 на рыхлой. Характерной особенностью последних десятилетий является значительное увеличение водопоглощения талых вод – в среднем на 25-45 %.

Выявлено разнонаправленное влияние природных и антропогенных факторов на формирование поверхностного стока. Природные факторы влияют на его уменьшение, а антропогенные – на повышение в связи с уменьшением в последние десятилетия площадей под рыхлой пашней. Причем снижение стока под влиянием природных факторов в несколько раз превышает его увеличение в результате уменьшения площадей под рыхлой пашней.

Знание закономерностей формирования поверхностного стока талых вод позволило открыть *закон лимитирующих факторов*. Суть его заключается в том, что при определенном лимитирующем уровне одного из трех факторов (снегозапасы, глубина промерзания, влажность почвы) поверхностный сток не формируется независимо от уровня двух других. Установлены уровни факторов, при которых сток не формируется. На его основе разработан метод прогноза стока талых вод, который получил многолетнюю апробацию в разных природных зонах. Он позволяет с высокой точностью прогнозировать поверхностный сток талых вод с сельскохозяйственных угодий. Имея высокоточный прогноз поверхностного стока талых вод в Волжском бассейне и большие запасы воды в водохранилищах, можно в любой по водности год устанавливать оптимальный режим весеннего попуска воды.

Фундаментальные теоретические и экспериментальные исследования позволили сделать важный вывод о том, что при совершенствовании стокорегулирующих приемов и создании новых необходимо исходить из того, как они воздействуют на природные факторы: глубину промерзания, увлажнение почвы и запасы воды в снеге. Зная роль природных факторов в формировании стока и антропогенного воздействия на него, можно регулировать их. В связи с тем, что стокорегулирующие лесные полосы наиболее мощно влияют на природные факторы эрозионно-гидрологического процесса через снегораспределительные функции, на них необходимо воздействовать в

первую очередь на основе знания закономерностей снегоотложения. Важнейшим природным фактором является глубина промерзания почвы, которую можно регулировать путем воздействия на характер снегоотложения с помощью стокорегулирующих лесных полос.

Нами разработаны и апробированы новые приемы регулирования снегоотложения в системе защитных лесных насаждений. Стокорегулирующие лесные полосы комбинированной конструкции с низкорослым кустарником обеспечивают оптимальное снегоотложение. Система лесополос с уменьшающейся сверху вниз по склону ветропроницаемостью способствует равномерному распределению снега с небольшим увеличением его мощности к нижней части склона, что обуславливает предотвращение смыва почвы. Эффективными в снегонакоплении и снижении глубины промерзания почвы являются кулисы из высокостебельных сельскохозяйственных растений в межполосном пространстве стокорегулирующих лесополос. Эти приемы высокоэффективны потому, что они мощно воздействуют на природные факторы стока талых вод.

На основе выявленных закономерностей формирования поверхностного стока талых вод и оценки всех способов и приемов управления эрозионно-гидрологическим процессом установлены наиболее перспективные. Ими могут быть приемы, направленные на регулирование поверхностного стока путем потускулярного перевода его в грунтовый (лесные полосы, водозадерживающие валы и канавы и др.); безопасный сброс по поверхности (наклонные водоотводящие борозды, распылители стока, водоотводящие валы и др.); повышение противоэрозионной устойчивости почв (минимизация обработки, плоскорезная обработка, использование многолетних трав для улучшения структуры почв и др.); использование почвозащитных свойств растительности (почвозащитные севообороты, постоянное залужение сильноэродированных участков, совершенствование структуры посевных площадей и др.).

В силу указанных обстоятельств стратегия противоэрозионной мелиорации должна исходить из того, что необходимый стокорегулирующий эффект, способный практически возродить ситуацию естественного эрозионно-гидрологического режима в деградированных агроландшафтах, может обеспечить лишь искусственно создаваемая система контурных стокорегулирующих и противоэрозионных рубежей – в первую очередь, лесных полос в сочетании с гидротехниче-

скими приемами, создающих своеобразный каркас на местности. Агротехнические приемы в управлении эрозионно-гидрологическим процессом выполняют лишь ограниченную роль, а применение гидросооружений (валы-террасы) на пашне лимитируется сложностью их создания и эксплуатации. Наиболее перспективными приемами регулирования эрозионно-гидрологического процесса являются лесомелиоративные. Они многофункциональны, долговечны и высокоэффективны и есть возможности их дальнейшего совершенствования.

Таким образом, знание закономерностей формирования поверхностного стока талых вод позволяет целенаправленно строить системы адаптивно-ландшафтного земледелия и управлять эрозионно-гидрологическим процессом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Докучаев В. В. Сочинения: в 9 т. – Т. 6: Преобразование природы степей. Наши степи прежде и теперь. – М. – Л.: АН СССР, 1951. – С. 11-102.
2. Козменко А. С. Борьба с эрозией почв. – М.: Сельхозгиз, 1954. – 229 с.
3. Козменко А. С., Ивановский А. Д. Режим поверхностного стока в центральной лесостепи // Гидротехника и мелиорация. – 1953. – № 1. – С. 3-18.
4. Соболев С. С. Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними: в 2 т. – Т. 1. – М. – Л.: АН СССР, 1948. – 305 с.
5. Сурмач Г. П. Водная эрозия и борьба с ней. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 254 с.
6. Львович М. И. Человек и воды. – М.: Географиздат, 1963. – 567 с.
7. Кузник И. А. Агролесомелиоративные мероприятия, весенний сток и эрозия почв. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 220 с.
8. Заславский М. Н. Эрозиоведение. – М.: Высшая школа, 1983. – 320 с.
9. Сильвестров С. И. Эрозия и севообороты. – М.: Сельхозгиз, 1949. – 142 с.
10. Мирцхулава Ц. Е. Инженерный прогноз и меры по предотвращению водной эрозии почв // Гидротехника и мелиорация. – 1978. – № 7. – С. 73-76.
11. Борец В. П. Водорегулирующая и противоэрозионная роль лесных насаждений на серых лесных почвах юга Нечерноземья // Лесомелиорация склонов: сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1985. – Вып. 3(86). – С. 125-132.
12. Гаршинев Е. А. Эрозионно-гидрологический процесс и лесомелиорация: экспериментальная оценка, расчет, проектирование. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2002. – 220 с.
13. Здоровцов И. П. Почвоводоохранное устройство территории севооборотов // Науч.-техн. бюл. ВНИИЗиЗПЭ. – Курск: ВНИИЗиЗПЭ, 1985. – Вып. 1(44). – С. 3-18.
14. Зыков И. Г., Ивонин В. М., Духнов В. К. Защита склонов от эрозии. – М.: Россельхозиздат, 1985. – 174 с.
15. Бондаренко Ю. В., Зыков И. Г. Водорегулирующая эффективность полосных лесных насаждений различных параметров в гидрографической сети // Вопросы защиты почв от эрозии: бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1978. – Вып. 2(27). – С. 21-22.
16. Проездов П. Н., Вишнякова В. В. Водный баланс агролесоландшафтов. – М.: Планета, 2015. – 132 с.

17. Проездов П. Н., Маштаков Д. А., Давыдова Е. Г. Влияние лесных и гидротехнических мелиораций на влагозапасы в зоне аэраций степных ландшафтов Приволжской возвышенности // Агролесомелиорация в системе адаптивно-ландшафтного земледелия: поиск новой модели (к 90-летию академика РАСХН Е. С. Павловского): материалы Международ. науч.-практ. конф. аспирантов и молодых ученых, Волгоград, 25-28 нояб. 2013 г. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2013. – С. 190-194.

18. Шабаев А. И. Сток талых вод, эрозия почв и особенности построения почвозащитных систем в агроландшафтах Поволжья // Теория и практика агролесомелиорации: материалы Международ. науч.-практ. конф., посвященной 125-летию со дня рождения Н. И. Суся, Саратов, 6-8 сент. 2005 г. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2005. – С. 223-235.

19. Сурмач Г. П. Об условиях, определяющих поглощение почвой талых вод // Земледелие. – 1955. – № 1. – С. 8-12.

20. Сурмач Г. П. Борьба с эрозией почв на основе учета поверхностного стока // Вестник с.-х. науки. – 1962. – № 8. – С. 81-90.

21. Сурмач Г. П. О влиянии микрорельефа поверхности и глубины зяблевой пахоты на сток талых вод // Почвоведение. – 1965. – № 6. – С. 103-113.

22. Изучение водопоглощающего и противозерозионного влияния защитных лесонасаждений в комплексе с другими мероприятиями / Г. П. Сурмач [и др.] // Методические рекомендации. – М.: ВАСХНИЛ, ВНИАЛМИ, 1975. – 96 с.

23. Методические рекомендации по проектированию комплекса противозерозионных мероприятий для проектов внутрихозяйственного землеустройства колхозов и совхозов Курской области, входящих в зону крупномасштабного эксперимента / Д. Е. Ванин [и др.]. – Курск: ВНИИЗиЗПЭ, 1978. – 179 с.

24. Корреляционно-регрессионный анализ в противозерозионной лесомелиорации с применением программируемых микрокалькуляторов / И. Г. Зыков [и др.] // Методические рекомендации с примерами решения задач. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1986. – 103 с.

25. Барабанов А. Т., Гаршинев Е. А. Методика изучения способов сочетания лесомелиорации с другими элементами систем земледелия при контурной организации территории. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1987. – 44 с.

26. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

27. Зайцев Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. – М.: Наука, 1984. – 424 с.

28. Мельников С. В., Алешкин В. О., Рощин П. М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. – М.: Колос, 1972. – 221 с.

29. Литтл Т., Хиллз Ф. Сельскохозяйственное опытное дело. Планирование и анализ / пер. с англ. – М.: Колос, 1981. – 319 с.

30. Перегудов В. Н. Планирование многофакторных полевых опытов с удобрениями и математическая обработка их результатов. – М.: Колос, 1978. – 182 с.

31. Протождяконов М. И., Тедер Р. И. Методика рационального планирования эксперимента. – М.: Наука, 1970. – 75 с.

32. Сурмач Г. П. Методика изучения водорегулирующей и противоэрозионной эффективности лесных полос и агротехнических приемов. – Волгоград, 1967. – 39 с.

33. Кинг Л. Морфология земли / пер. с англ. – М.: Прогресс, 1967. – 560 с.

34. Сурмач Г. П. О влиянии искусственного уплотнения снега на скорость снеготаяния // Сб. науч.-исслед. работ Клетского опорного пункта. – Волгоград, 1964. – Вып. 47. – С. 45-50.

35. Гончар А. И. Почвозащитный метод обработки почвы // Земледелие. – 1958. – № 8. – С. 8-12.

36. Грин А. М. Динамика водного баланса Центрально-Черноземного района. – М.: Наука, 1965. – 146 с.

37. Коронкевич Н. И. Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. – М.: Наука, 1990. – 205 с.

38. Барабанов А. Т. Закономерности формирования поверхностного стока талых вод, его прогноз и регулирование // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2012. – № 1(33). – С. 65-68.

39. Оценка влияния изменений климата на водный режим и сток рек бассейна Волги / Н. И. Алексеевский [и др.] // Вода: химия и экология. – 2013. – № 4. – С. 3-12.

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

41. Демидов В. В. Закономерности эрозии почв лесостепной зоны при снеготаянии как научная основа системы почвозащитных и природоохранных мероприятий: автореф. дис. ... д. б. н. – М., 2000. – 47 с.

42. Долгов С. В., Коронкевич Н. И. Особенности реакции рек Русской равнины на изменение температуры воздуха // Изв. РАН. Сер.: География. – 2012. – № 6. – С. 55-62.

43. Коронкевич Н. И., Мельник К. С. Гидрологические последствия изменения землепользования в бассейне реки Москвы // Изв. РАН. Сер.: География. – 2015. – № 5. – С. 38-45.

44. Панов В. И. Водный баланс и эрозия на черноземах степного Заволжья: автореф. дис. ... к. г. н. – М., 1975. – 31 с.

45. Сурмач Г. П. Влияние агротехники на сток талых вод и смыв светлокаштановых почв // Вестник с.-х. науки. – 1968. – № 2. – С. 13-19.

46. Сурмач Г. П., Барабанов А. Т. О противоэрозионной роли почвозащитного севооборота на серых лесных почвах в лесостепи // Эрозия почв и почвозащитное земледелие: науч. тр. ВАСХНИЛ / Отв. ред. Н. К. Шикула. – М.: Колос. – 1975. – С. 173-176.



47. Сурмач Г. П. О распределении влаги в светло-каштановой почве с неоднородным механическим составом при различной осенней ее обработке // Вопросы почвенной гидрологии и приемы защиты почв от водной эрозии: сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1970. – Вып. 1(61). – С. 14-21.

48. К оценке методов изучения увлажнительной роли противоэрозионных приемов / Г. П. Сурмач [и др.] // Защита почв от эрозии: науч.-техн. бюл. – Курск, 1976. – Вып. 6. – С. 11-16.

49. Скачков И. А., Трегубов П. С. Эффективность агротехнических приемов на склонах в системе докучаевских лесополос // Борьба с эрозией почв / Сост. чл.-кор. ВАСХНИЛ И. А. Скачков. – М.: Россельхозиздат, 1968. – С. 35-40.

50. Коваленко А. П. Щелевая обработка почвы как прием борьбы с водной эрозией на посевах озимых: автореф. дис. ... к. с.-х. н. – Воронеж, 1969. – 24 с.

51. Стариченко П. А. Противоэрозионная обработка зяби серых лесных почв на склоновых землях Курской области: автореф. дис. ... к. с.-х. н. – М., 1969. – 24 с.

52. Черенев Г. А. Эффективность противоэрозионных обработок темно-серых лесных эродированных почв (Московская область): автореф. дис. ... к. с.-х. н. – М., 1972. – 23 с.

53. Гаршинев Е. А. Противоэрозионная лесомелиорация и эволюция эрозионно-гидрологического процесса: автореф. дис. ... д. с.-х. н. – Волгоград, ВНИАЛМИ. – 1995. – 48 с.

54. Рожков А. Г. К вопросу об учете стока воды и смыва почвы // Комплекс противоэрозионных мероприятий в действии: сб. науч. тр. УкрНИИЗПЭ. – Т. 2. – Ворошиловград: УкрНИИЗПЭ, 1985. – С. 5-6.

55. Дьяков В. Н. К вопросу об учете смыва почв // Там же. – С. 17-18.

56. Шелякин Н. М. Проблема учета стока воды и смыва почвы при изучении эрозионных процессов // Там же. – С. 25-26.

57. Герасименко В. П., Буруменский В. С. Методика оценки стокорегулирующей эффективности агротехнических противоэрозионных приемов // Вестник с.-х. науки. – 1981. – № 12. – С. 50-56.

58. Сурмач Г. П. Методика изучения водорегулирующей и противоэрозионной эффективности лесных полос и агротехнических приемов. – Волгоград, 1967. – 39 с.

59. Сурмач Г. П. Водорегулирующая и противоэрозионная роль насаждений. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 109 с.

60. Рожков А. Г. Борьба с оврагами. – М.: Колос, 1981. – 199 с.

61. Ивонин В. М. Агролесомелиорация разрушенных оврагами склонов. – М.: Колос, 1983. – 174 с.

62. Каштанов А. Н., Заславский М. Н. Почвоводоохранное земледелие. – М.: Россельхозиздат, 1984. – 208 с.

63. Барабанов А. Т. Агролесомелиорация в почвозащитном земледелии. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1993. – 156 с.

64. Панов В. И. Воднобалансовые исследования на опытных водосборах с различными ландшафтами в степной зоне Поволжья // Эрозия почв, защитное лесоразведение и урожай. – 1978. – Вып. 9. – С. 68-84.

65. Гаршинев Е. А., Зарудная Т. Я. Оценка приемов ускоренного повышения водопоглощения в молодых лесонасаждениях на типичных черноземах ЦЧО // Лесомелиорация склонов: сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1985. – Вып. 3(86). – С. 62-73.

66. Абдульманов Ф. А., Барабанов А. Т. Влияние защитных лесных полос и обработки почвы на сток, эрозию и урожай в Куйбышевском Заповье // Защита почв от эрозии: науч.-техн. бюл. ВНИИЗиЗПЭ. – Курск: ВНИИЗиЗПЭ, 1977. – Вып. 4(11). – С. 8-12.

67. 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.

68. Барабанов А. Т., Гаршинев Е. А. Оценка весеннего поверхностного стока в степи и лесостепи европейской территории РСФСР, Украины и Белоруссии // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1987. – Вып. 2(51). – С. 5-9.

69. Докучаев В. В. Способы образования речных долин европейской России. – Спб., 1878. – 222 с.

70. Костычев П. А. Почвы черноземной области России, их происхождение, состав и свойства. – Ч. I: Образование чернозема. – Л.: АН СССР, 1951. – 156 с.

71. Сурмач Г. П. Рельефообразование, формирование лесостепи, современная эрозия и противоэрозионные мероприятия. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1992. – 174 с.

72. Докучаев В. В. Овраги, их происхождение и деятельность // Избр. соч. – М.: Сельхозгиз, 1954. – С. 543-560.

73. Соболев С. С. Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними: в 2 т. – Т. 2. – М. – Л.: АН СССР, 1960. – 248 с.

74. Арманд Д. Л. Естественный эрозионный процесс // Географическая среда и рациональное использование природных ресурсов: сб. ст. Арманд Д. Л. – М.: Наука, 1983. – С. 56-70.

75. Щукин И. С. Общая геоморфология: в 3 т. – Т. 1. – М.: МГУ, 1960. – 616 с.

76. Зорина Е. Ф. Овражная эрозия: закономерности и потенциал развития. – М.: ГЕОС, 2003. – 168 с.

77. Косов Б. Ф. О зональности явлений овражной эрозии европейской части СССР // Почвоведение. – 1960. – № 8. – С. 25-31.

78. Лавренко Е. М., Прозоровский А. В. Растительность европейской части СССР // Почвы СССР: в 3 т. – Т. 1: Условия почвообразования и характеристика главнейших типов почв / Под ред. Л. И. Прасолова. – М. – Л.: АН СССР, 1939. – С. 101-156.

79. Афанасьева Е. А. Черноземы Средне-Русской возвышенности. – М.: Наука, 1966. – 224 с.

80. Большаков А. Ф. Влияние двучленности наносов на водный режим мощных черноземов // Почвоведение. – 1959. – № 7. – С. 31-40.

81. Агролесомелиоративное адаптивно-ландшафтное обустройство водосборов / И. С. Кочетов [и др.]. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1999. – 83 с.

82. Басов Г. Ф., Грищенко М. Н. Гидрологическая роль лесных полос. – М.: Гослесбуиздат, 1963. – 201 с.

83. Небольсин С. И., Надев П. А. Элементарный поверхностный сток. – М. – Л.: Гидрометеиздат. – 1937. – 64 с.

84. Сухарев И. П., Сухарева Е. М. Пруды Центрально-Черноземной полосы. – Воронеж: Воронежское кн. изд-во, 1957. – 213 с.

85. Чеботарев А. И., Харченко С. И. О влиянии зяблевой вспашки на сток // Труды ГГИ. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – Вып. 82. – С. 34-49.

86. Сурмач Г. П. Прогнозирование стока талых вод с черноземных и каштановых почв // Вестник с.-х. науки. – 1969. – № 12. – С. 53-56.

87. Полуэктов Е. В. Эрозия почв на Дону и меры борьбы с ней. – Ростов н/Д: Изд-во Ростовского университета, 1984. – 161 с.

88. Полуэктов Е. В., Балакай Н. И., Балакай Г. Т. Система мероприятий по снижению поверхностного стока и водной эрозии на землях сельскохозяйственного назначения // Мелиорация и гидротехника. – 2010. – № 4. – С. 103-107.

89. Комплексные исследования состояния и почвозащитные мероприятия на агроландшафтах / Е. В. Полуэктов [и др.] // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2013. – № 4(12). – С. 1-14.

90. Аполлов Б. А., Калинин Г. П., Комаров В. Д. Курс гидрологических прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 420 с.

91. Комаров В. Д. Весенний сток равнинных рек европейской части СССР, условия его формирования и методы прогнозов. – М: Гидрометеиздат, 1959. – 295 с.

92. Комаров В. Д., Макарова Т. Т. Исследование влияния глубины промерзания почвы и других факторов на талый сток рек степной и лесостепной зон // Метеорология и гидрология. – 1972. – № 8. – С. 67-74.

93. Теплофизический метод расчета потерь талых вод на инфильтрацию в мерзлую почву / И. Л. Калужный [и др.] // Метеорология и гидрология. – 1981. – № 1. – С. 76-82.

94. Мотовилов Ю. Г. Численное моделирование процесса инфильтрации воды в мерзлую почву // Метеорология и гидрология. – 1977. – № 9. – С. 67-75.

95. Кучмент Л. С. Модели процессов формирования речного стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 143 с.

96. Калюжный И. Л., Павлова К. К., Лавров С. А. Физическое моделирование процессов миграции влаги при промерзании почв // Метеорология и гидрология. – 1984. – № 1. – С. 71-85.

97. Оценка влияния изменений климата на водный режим и сток рек бассейна Волги / Н. И. Алексеевский [и др.] // Вода: химия и экология. – 2013. – № 4. – С. 3-12.

98. Демидов В. В. Закономерности эрозии почв лесостепной зоны при снеготаянии как научная основа системы почвозащитных и природоохранных мероприятий: автореф. дис. ... д. б. н. – М., 2000. – 47 с.

99. Сурмач Г. П., Ломакин М. М., Шестакова А. П. Прогнозирование стока талых вод // Земледелие. – 1989. – № 4. – С. 29-31.

100. Водогрецкий В. Е., Зайцева Э. А., Елфимова Л. В. Склоновый сток и его изменение под влиянием агротехнических и лесомелиоративных мероприятий // Вопросы влияния хозяйственной деятельности на водные ресурсы и водный режим: тр. ГГИ. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – Вып. 206. – С. 53-60.

101. Гаршинев Е. А. О влиянии уклона на поверхностный сток // Науч. тр. ВАСХНИЛ. – М.: Колос, 1977. – С. 56-65.

102. Шеппель П. А. Специальный весенний попуск паводковых вод Волги. – Волгоград: Нижне-Волжское кн. изд-во, 1990. – 191 с.

103. Бураков Д. А., Литвинова О. С. Водно-балансовые зависимости для прогноза стока талых вод на юге Западно-Сибирской равнины // География и природные ресурсы. – 2010. – № 3. – С. 111-120.

104. Урбанова О. Н., Семанов Д. А. Методика расчета наполнения прудов для прогнозирования безопасного пропуска весеннего половодья // Там же. – № 4. – С. 144-148.

105. Двинских С. А., Китаев А. Б., Михайлов А. В. Наводнения на реках бассейна Камы и организация защиты от них // География и природные ресурсы. – 2010. – № 4. – С. 74-79.

106. Гагаринова О. В. Ландшафтно-гидрологические закономерности формирования стока в бассейне озера Байкал // География и природные ресурсы. – 2012. – № 3. – С. 55-60.

107. Мухин В. М. Методы прогнозирования притока воды в водохранилища за период весеннего половодья // Труды Гидрометцентра России. Гидрометеорологические прогнозы. – 2014. – Вып. 351. – С. 108-140.

108. Гельфан А. Н. Динамико-статистическое моделирование формирования талого стока. – М.: Наука, 2007. – 280 с.

109. Ломакин М. М. Водозадерживающая и почвозащитная роль мульчирования соломой серых лесных эродированных почв северной лесостепи Центрально-Черноземной зоны: автореф. дис. ... к. с.-х. н. – Воронеж, 1980. – 24 с.

110. 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.

111. Влияние системы лесополос в зависимости от экспозиции склона на сток талых вод и смыв почвы / А. И. Крупчатников [и др.] // Науч.-техн. бюл. – 1986. – Вып. 3(50). – С. 40-44.

112. Пат. № 2347222 А01В13/16, G01N33/24 Способ прогнозирования поверхностного стока талых вод / Барабанов А. Т. (РФ), Гаршинев Е. А. (РФ), Кулик К. Н. (РФ); заявитель ГНУ ВНИАЛМИ. – № 2009126879/12; заявл. 24.07.2006; опубл. 20.02.2009, Бюл. № 5. – 3 с.

113. Водный баланс основных экосистем Центральной лесостепи: материалы эксперимент. исслед. / Под ред. А. М. Грина. – М.: Ин-т географии АН СССР, 1974. – 133 с.

114. Рождественский А. В., Чеботарев А. И. Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 424 с.

115. Пынзарю Н. М. К обоснованию параметров противоэрозионных лесных полос в районе Правобережья Нижней Волги // Агролесомелиоративные основы защиты почв от водной эрозии и рациональное использование эродированных почв. – 1980. – Вып. 3(34). – С. 17-19.

116. Антонов В. И. Особенности формирования поверхностного стока талых вод с малых водосборов сухой степи // Противоэрозионная мелиорация: бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1984. – Вып. 2(43). – С. 18-20.

117. Борец В. П., Попов Н. С. Опыт коренной мелиорации размытых земель в колхозе "Красный Октябрь" Камышинского района Волгоградской области // Вопросы защиты почв от эрозии: бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1978. – Вып. 2(27). – С. 68-70.

118. Барабанов А. Т. Научные основы управления эрозионно-гидрологическим процессом // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2014. – № 1(33). – С. 33-38.

119. Сурмач Г. П., Гаршинев Е. А., Барабанов А. Т. О стокорегулирующей эффективности микрорельефа зяби на черноземах Курской области // Защита почв от эрозии: науч.-техн. бюл. ВНИИЗиЗПЭ. – Курск: ВНИИЗиЗПЭ, 1977. – Вып. I(12). – С. 32-38.

120. Барабанов А. Т., Гаршинев Е. А. Эффективность созданных на зяби микронеровностей // Земледелие. – 1983. – № 4. – С. 12-14.

121. Пат. 2248116 С1 РФ А01G23/00, А01В79/02 Способ регулирования снегоотложения для защиты почв от эрозии на склонах / Барабанов А. Т. (РФ), Гаршинев Е. А. (РФ), Кочкарь М. М. (РФ); заявитель ГУ ВНИАЛМИ. – № 2003122810/12; заявл. 21.01.2003; опубл. 20.03.2005, Бюл. № 8. – 3 с.

122. Пат. 1799234 А3 РФ А01В79/02, А01G23/00, А01В13/16 Способ защиты почв от эрозии на склонах / Барабанов А. Т. (РФ), Гаршинев Е. А. (РФ); заявитель ВНИАЛМИ. – № 4859671/15; заявл. 14.08.90; опубл. 28.02.1993, Бюл. № 8. – 3 с.

123. Тарарико А. Г. Почвозащитные мероприятия на склоновых землях Украины // Почвозащитное земледелие на склонах / Под ред. А. Н. Каштанова. – М.: Колос, 1983. – С. 189-213.

124. Концепция адаптивно-ландшафтного обустройства территории Волгоградской области / К. Н. Кулик [и др.] // Вестник РАСХН. – 2004. – № 1. – С. 53-55.

125. Система адаптивно-ландшафтного земледелия Волгоградской области на период до 2015 года / А. Л. Иванов [и др.]. – Волгоград: ИПК Волгоградской ГСХА "Нива", 2009. – 304 с.

126. Каштанов А. Н., Лисецкий Ф. Н., Швевс Г. И. Основы ландшафтно-экологического земледелия. – М.: Колос, 1994. – 203 с.

127. Энциклопедия агролесомелиорации / Под ред. Е. С. Павловского. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2004. – 679 с.

128. Кирюшин В. И. Концепция адаптивно-ландшафтного земледелия. – Пушино, 1993. – 64 с.

129. Кирюшин В. И. Экологические основы земледелия. – М.: Колос, 1996. – 366 с.

130. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. Методическое руководство / Под ред. В. И. Кирюшина, А. Л. Иванова. – М.: ФГНУ Росинформагротех, 2005. – 784 с.

131. Гаршинев Е. А. Противоэрозионная лесомелиорация и эволюция эрозионно-гидрологического процесса: автореф. дис. ... д. с.-х. н. – Волгоград, 1995. – 48 с.

132. Барабанов А. Т. Теория и практика разработки систем агролесомелиоративных почвозащитных мероприятий в адаптивно-ландшафтном земледелии // Известия Оренбургского ГАУ. – 2014. – № 4(48). – С. 28-31.

133. Кулик К. Н., Барабанов А. Т., Павловский Е. С. Принципы и приемы адаптивно-ландшафтной системы земледелия // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. – 2012. – № 1(10). – С. 14-19.

134. Система земледелия Курской области / Д. Е. Ванин [и др.]. – Курск: ВНИИЗиЗПЭ, 1978. – 179 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b> .....	168
<b>1. Методологические и методические основы исследований</b> .....	173
1.1. Анализ и оценка методов исследований.....	173
1.2. Генетические и статистические методы исследований и анализа материала.....	182
1.3. Системный подход в исследовании взаимосвязи природных и антропогенных факторов.....	184
<b>2. Характеристика объектов исследований</b> .....	186
<b>3. Теоретические основы формирования стока талых вод</b> .....	192
3.1. Рельеф как фактор эрозионно-гидрологического процесса...	192
3.1.1. Теоретические основы рельефообразования.....	192
3.1.2. Функция формы склона и смыв почвы.....	198
3.2. Эрозионно-гидрологический процесс как фактор деградации и опустынивания.....	201
3.2.1. Общие положения.....	201
3.2.2. Влияние природных, антропогенных факторов и их взаимодействия на формирование поверхностного стока талых вод.....	203
<i>Современное состояние оценки роли природных факторов в формировании стока талых вод</i> .....	203
<i>Влияние природных факторов на формирование стока на серых лесных почвах лесостепи ЦРНЗ</i> .....	216
<i>Влияние природных факторов на формирование стока на серых лесных почвах и черноземах ЦЧО</i> .....	224
<i>Влияние природных факторов на формирование стока на обыкновенных черноземах, каштановых и светло-каштановых почвах Поволжья</i> .....	231
3.3. Закон лимитирующих факторов поверхностного стока талых вод, его прогноз и методика расчета.....	244
3.3.1. Закон лимитирующих факторов поверхностного стока талых вод.....	244
3.3.2. Методика прогноза и расчета стока.....	247
3.4. Влияние антропогенных факторов на формирование поверхностного стока талых вод.....	252

3.4.1. Характеристика поверхностного стока талых вод на землях, не подверженных антропогенному воздействию.....	252
3.4.2. Закономерности формирования поверхностного стока талых вод с сельскохозяйственных угодий на разных видах пашни	255
3.4.3. Оценка влияния характера использования пашни на формирование стока талых вод.....	281
3.4.4. Влияние стокорегулирующих лесополос на природные факторы формирования поверхностного стока талых вод.....	284
3.4.5. Влияние агротехнических противоэрозионных мероприятий на формирование поверхностного стока талых вод.....	289
3.4.6. Влияние лугомелиоративных мероприятий на эрозионно-гидрологические процессы.....	297
3.4.7. Влияние гидротехнических противоэрозионных мероприятий на эрозионно-гидрологические процессы.....	298
3.5. Экспериментальная оценка новых приемов регулирования снегоотложения и поверхностного стока талых вод для управления эрозионно-гидрологическим процессом защитными лесными насаждениями.....	299
3.5.1. Система стокорегулирующих лесополос комбинированной конструкции.....	299
3.5.2. Система стокорегулирующих лесных полос с изменяющейся ветропроницаемостью.....	306
3.5.3. Кулисы в межполосном пространстве стокорегулирующих лесных полос.....	307
<b>4. Система мероприятий по управлению эрозионно-гидрологическим процессом в адаптивно-ландшафтном земледелии.....</b>	<b>309</b>
4.1. Общая характеристика противоэрозионных приемов.....	309
4.2. Концепция адаптивно-ландшафтного обустройства сельскохозяйственных земель и совершенствования системы земледелия.	310
4.3. Научное обоснование адаптивно-ландшафтного обустройства сельскохозяйственных земель.....	316
4.3.1. Закономерности формирования поверхностного стока талых вод.....	317
4.3.2. Закономерности впитывания воды в почву.....	318
<i>Инфильтрация воды в талую почву, формирование сплошной менисковой пленки.....</i>	<i>318</i>
<i>Инфильтрация воды в мерзлую почву, формирование "ледяного экрана".....</i>	<i>319</i>
4.4. Адаптивно-ландшафтное обустройство сельскохозяйственных земель и разработка почвозащитных систем земледелия.....	321



4.4.1. Противоэрозионная организация территории.....	321
4.4.2. Технология агролесомелиоративного адаптивно-ландшафтного обустройства территории.....	327
<i>Расчет стока талых вод и смыва почвы.....</i>	<i>327</i>
<i>Расчет расстояний между стокорегулирующими лесными полосами и другими рубежами.....</i>	<i>331</i>
<i>Назначение параметров проектируемых лесных полос.....</i>	<i>333</i>
<b>Заключение.....</b>	<b>336</b>
<b>Литература.....</b>	<b>341</b>

---

---

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций  
и защитного лесоразведения Российской академии наук»  
(ФНЦ агроэкологии РАН)

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ И МЕТОДИКА  
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ТАЛЫХ  
ВОД НА ВОДОСБОРАХ БАССЕЙНОВ РЕК ВОЛГИ И ДОНА  
(переработанное и дополненное издание)**

Волгоград ФНЦ агроэкологии РАН 2021

Научные основы и методика прогнозирования поверхностного стока талых вод на водосборах бассейнов рек Волги и Дона (перераб. и доп. издание) / А. Т. Барабанов. – Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2021. – 92 с.

В работе дан анализ современного состояния оценки роли природных факторов в формировании стока талых вод, изложены материалы, характеризующие методы прогноза поверхностного стока талых вод с сельскохозяйственных угодий, приведена методика прогнозирования весеннего стока в бассейнах Волги и Дона.

Scientific basis and methodology for forecasting surface runoff of melt water in the Volga and Don basins / A. T. Barabanov. – Volgograd: FNTS Agroecology Russian Academy of Sciences, 2021. – 92 с.

The paper gives an analysis of the current state assessment of the role of natural factors in the formation of runoff of meltwater contained materials describing the methods for forecasting the surface runoff of snowmelt runoff from agricultural lands, the technique of forecasting the spring runoff in the basins of the Volga and the Don.

Научные основы и методика прогнозирования поверхностного стока талых вод в бассейнах Волги и Дона подготовлены главным научным сотрудником – заведующим лабораторией защиты почв от эрозии ФНЦ агроэкологии РАН доктором сельскохозяйственных наук А. Т. Барабановым.

Научные основы и методика рассмотрены и одобрены ученым советом ФГБНУ "Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук" (протокол № 11 от 15 октября 2021 г.).

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

ISBN 978-5-6045498-8-9

© А. Т. Барабанов

© ФНЦ агроэкологии РАН, 2021

## **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время проблема пропуска весенних паводков на реках Волга и Дон очень актуальна для нашей страны. В регионах обычно создаются чрезвычайные противопаводковые комиссии, которые часто из-за отсутствия надежного прогноза поверхностного стока талых вод либо не справляются с пропуском паводковых вод, что приводит к катастрофическим последствиям, либо подготавливая их к весеннему паводку, сбрасывают зимой очень много воды из водохранилищ, которой потом не хватает для многих отраслей народного хозяйства страны: энергетики, водного, сельского, рыбного, коммунального и др.

Управление режимом стока осуществляется на основе прогнозов низкой точности. Поэтому управленческие решения, принимаемые на его основе, бывают также невысокого качества и даже бывают ошибочными. Повышенный зимний сброс воды из водохранилищ, а в связи с этим малый период паводка весной на Нижней Волге, нарушает режим обводнения Волго-Ахтубинской поймы, условия нереста рыбы, судоходства и др. Ущерб от таких управленческих решений на основе прогнозов низкой точности составляет десятки (примерно 70-90) миллиардов рублей. Его несут энергетики (недополучение электроэнергии до 30-40 %), рыбное хозяйство (гибель рыбы, мальков и икры, а иногда рыба не нерестится, так как пойма не затопляется), сельское хозяйство (не хватает воды для орошения), коммунальное хозяйство (из колодцев уходит вода, водозаборные оголовки "качают" воздух), судоходство (суда садятся на мель). Таким образом экологическая ситуация в Волго-Ахтубинской пойме полностью зависит от стока со всего бассейна р. Волги.

Много различных мнений о причинах маловодья Волго-Ахтубинской поймы [14, 29, 34, 41, 42], и все они имеют место, но главная причина – это отсутствие высокоточного прогноза притока воды с водосборного бассейна и особенно склонового стока. Средняя ошибка прогноза сейчас составляет 35 %, но часто она бывает значительно больше.

Обычно прогнозируют поверхностный сток таким образом. Снега в бассейне много, следовательно, будет большой сток. Однако, ча-

сто бывает (особенно в последние два десятилетия), что снега много, а стока нет или он незначительный. А бывает, что снега мало, а сток бывает значительный.

Имея такой каскад водохранилищ и высокоточный прогноз поверхностного стока, можно идеально отрегулировать режим стока Волги и Дона, при котором хватит воды всем потребителям и ежегодно заполнять пойму водой на длительное время.

У нас имеются разработки, позволяющие делать высокоточный заблаговременный прогноз притока талых вод поверхностного стока в Волжско-Камский каскад водохранилищ [2-4, 29, 34].

Наш прогноз позволяет без дополнительных затрат предотвратить этот ущерб. Точность его подтверждена на практике. Наши разработки базируются на результатах многолетних (свыше 60 лет) исследований закономерностей формирования поверхностного стока на стоковых площадках размером 0,20 га и малых водосборах размером 50-100 га в разных зонах европейской части РФ и на анализе и обобщении большого литературного материала по этому вопросу.

Методологической основой наших исследований является система методов, заимствованных из разных наук (гидрологии, физики, химии, математики, геологии, географии, агролесомелиорации, почвоведения, и др.), модифицированных и адаптированных в соответствии с поставленными целями и задачами. В гидрологии (особенно в гидрологии рек) сейчас широко распространены два главных направления: статистический и генетический. Статистические методы основываются на законе больших чисел и допущении случайности проявления гидрологических процессов. Они сыграли большую роль в гидрологии особенно при недостатке исходных материалов для теоретических исследований. Эти методы имеют ряд существенных недостатков, главный из которых – это невозможность познания генезиса процесса, выявления причинно-следственных связей, а в связи с этим и невозможность регулирования, управления процессами. Статистические методы позволяют вести приближенные гидрологические расчеты. С помощью этих методов в свое время удалось быстро удовлетворить запросы гидрологического строительства. Однако они не могли удовлетворить потребности гидрологии, и для решения фундаментальных проблем требовалось развитие теоретических исследований, базирующихся на генетической основе с учетом влияния всех факторов. В наших исследованиях и при анализе материалов мы ис-

пользовали и статистический, и генетический подходы. Статистические методы мы применяли для оценки поверхностного стока разной вероятности превышения с сельскохозяйственных угодий, выявления стокорегулирующей, противоэрозионной и агрономической эффективности различных приемов, элементов противоэрозионного комплекса и их сочетаний и др. Генетический подход мы использовали и при изучении закономерности формирования стока. Дело в том, что характер формирования стока обусловлен многими природными факторами (снегозапасы, характер увлажнения и промерзания почвы, погодные условия и др.) и хозяйственной деятельностью людей, действующими в совокупности. Антропогенное воздействие на эрозионно-гидрологические процессы осуществляется через эти факторы. Нам важно знать не только цену того или иного воздействия, но и то, через какие факторы и показатели оно происходит. А это позволяет управлять процессами, разрабатывать новые приемы регулирования эрозионно-гидрологических процессов.

Для этого закладывались элементарные и комбинированные стоковые площадки как по всему склону, так и по отдельным его частям с охватом целых водосборов, противоэрозионных комплексов и его элементов. При этом проводили следующие наблюдения и определения: метеорологические показатели (температура, влажность воздуха, осадки, ветер, облачность и др.), снегомерные съемки, промерзание, оттаивание, влажность почвы, объемная масса почвы, сток талых вод, смыв почвы и др.

Таким образом, применение статистического, генетического и элементов системного подхода и проведение многофакторных исследований позволили выявить не только влияние отдельных природных и антропогенных факторов на эрозионно-гидрологические процессы, но и их взаимодействие.

ФНЦ агроэкологии РАН (ранее ВНИАЛМИ) сейчас обладает уникальным экспериментальным материалом, который позволяет сделать важные теоретические и практические разработки [3]. Нами установлено и научно обосновано, что по 2-3 ведущим факторам можно делать долгосрочный (2-3 месяца) высокоточный (80-100 %) прогноз. Зарубежный опыт нам не подходит, так как в большинстве стран формируется преимущественный ливневый сток, а в странах, где есть сток талых вод (США, Канада и др.), условия сильно отличаются от наших и нам не подходят. Для бассейна Волги и Дона нель-

зя переносить опыт прогноза стока, например, на бассейнах сибирских рек или рек европейской части РФ, впадающих в северные моря. Отсутствие надежного прогноза связано с тем, что нет хорошей теоретической основы для него. До сих пор не были выявлены закономерности формирования поверхностного стока талых вод с сельскохозяйственных угодий.

В литературе много данных по влиянию природных факторов на сток талых вод. Однако эти факторы рассматриваются в основном без учета совокупности их влияния. Причем взгляды разных исследователей в значительной степени отличаются и даже бывают противоположными. Это объясняется тем, что ими использовались разные подходы, концепции и, главное, разные методы исследований. Все имеющиеся в литературе результаты исследований, обобщения и анализа связи стока талых вод с природными факторами, а также методы его прогнозирования в настоящее время не дают возможности однозначно определить роль тех или иных факторов в формировании стока, дать точный его прогноз и выявить пути его регулирования. Нужен новый методический подход к анализу имеющегося материала и получению дополнительных данных.

В результате теоретических и экспериментальных исследований по аспектам теории рельефообразования и гидрологических процессов, выполненных в опытной сети ВНИАЛМИ в лесостепной, степной и полупустынной зонах, а также анализа и обобщения информации, полученной из литературных источников [3, 6-10, 12, 13, 29, 30, 34], и обоснования новых концептуальных подходов к объяснению процессов инфильтрации воды в почву и стока талых вод, впервые в мире был сформулирован и обоснован закон лимитирующих факторов поверхностного стока и разработана методика его высокоточного прогноза [32]. Таких разработок нет в нашей стране и за рубежом. Очень важны в этом отношении исследования факторов просачивания талых вод в почву. Особую актуальность имеют результаты экспериментальных оценок с применением водно-балансовых методов. Полученные в экспериментах материалы за период свыше 60 лет [3], позволили выдвинуть и обосновать новые теоретические положения, существенно уточняющие представления о физической природе гидрологических процессов, по-новому трактовать условия просачивания талых вод в почву, что позволяет усовершенствовать существующие и разработать новые математические модели.

Кратко можно выделить следующие наиболее важные новые результаты теоретических работ, которые нашли применение в этих методических рекомендациях [3, 10]:

- закон лимитирующих факторов поверхностного стока талых вод, позволяющий по новому рассматривать закономерности его формирования;

- положение о том, что почва, как саморегулирующая система, способна поглотить и удержать определенное количество воды, равное дефициту влажности, максимальная величина которого в мерзлом состоянии может достигать полной влагоемкости;

- математические модели формирования поверхностного стока талых вод;

- концепция формирования "ледяного экрана".

Излагаемые ниже закономерности гидрологического процесса и получение на их основе моделей, в т. ч. математических, являются результатом исследований ВНИАЛМИ, анализа и обобщения информации, полученной из литературных источников, а также обоснования новых концептуальных подходов к объяснению процессов инфильтрации воды в почву и стока талых вод.



## **1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

### **1.1. Назначение методики**

Настоящая методика предназначена для расчета склонового стока талых вод с сельскохозяйственных земель, подверженных антропогенному воздействию, которое привело к значительным изменениям естественного ландшафта и, как правило, к негативному влиянию на элементы окружающей природной среды.

1.1.1. Настоящая методика позволяет делать прогноз величины (объема) поверхностного стока талых вод, как для малых водосборов (лощины, балки), так и для бассейнов малых и крупных рек.

1.1.2. Параметры методики основываются на законе лимитирующих факторов стока талых вод, открытом в результате анализа многолетних материалов исследований в различных природных зонах европейской части России. Ведущими факторами, влияющими на формирование стока, являются снеготзапасы, глубина промерзания и влажность верхнего (0-50 см) слоя почвы.

Суть закона лимитирующих факторов стока состоит в том, что при некотором (лимитирующем) значении одного из факторов (глубина промерзания, влажность почвы, снеготзапасы) сток не формируется независимо от уровня других. Если почва талая или промерзла на небольшую (до 50 см) глубину, то поверхностный сток на сельскохозяйственных землях и лесных угодьях не формируется. Если запасы влаги в почве (в слое 0-50 см) меньше 70-120 мм в зависимости от природной зоны, то сток тоже не формируется независимо от глубины промерзания и количества воды в снеге, т. е. лимитирующим фактором стока является увлажнение почвы. При снеготзапасах, не превышающих объем свободных пор в слое почвы 0-30 см, сток также не формируется независимо от уровня увлажнения и глубины промерзания почвы.

При уровнях факторов выше лимитирующих, т. е. глубине промерзания почвы свыше 50 см, запасах воды в ней больше 70-120 мм и снеготзапасах, превышающих объем свободных пор, сток формируется на всех угодьях и величина (объем) его зависит только от запасов воды в почве и снеге.

1.1.3. Для малых водосборов прогноз стока талых вод дается на основе учета ведущих природных факторов, влияющих на его формирование и соотношения площадей, находящихся под рыхлой (зябь) и уплотненной пашней (озимые, многолетние травы, залежь и др.).

1.1.4. Для расчета стока на бассейнах рек также учитываются эти природные факторы, а соотношение площадей под зябью и уплотненной пашней определяется по регионам в пределах водосборов рек.

1.1.5. Положения настоящей методики основаны на оригинальном подходе и по ним можно давать высокоточный (80-100 %) прогноз величины поверхностного стока талых вод. Если почва талая, то точность прогноза 100 %, а при глубине ее промерзания свыше 50 см точность прогноза зависит от точности определения запасов воды в снеге и почве и составляет 80-90 %.

## **1.2. Область применения разработки**

Настоящая методика, включающая обоснование состава природных факторов поверхностного стока талых вод, будет применяться проектными, сельско- и водохозяйственными организациями для создания прогноза величины поверхностного стока талых вод с целью предотвращения чрезвычайных ситуаций, возникающих при затоплении сельскохозяйственных территорий.

## **1.3. Нормативные ссылки**

При разработке "Методики прогноза поверхностного стока талых вод" учтены основные положения, изложенные в соответствующих законодательных, нормативно-правовых и методических документах, действующих в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также рационального использования и охраны природных ресурсов:

Закон РСФСР "Об охране окружающей природной среды" от 21.02.92 № 2397-1, от 02.06.93 № 5076-1.

ГОСТ 26967-86 (СТ СЭВ 5183-85) "Гидромелиорация. Термины и определения" от 30.07.86 № 2303.

ГОСТ 16256-80 Земледелие. Термины и определения.

ГОСТ 17.4.2.03-86 Охрана природы. Почвы. Паспорт почв.

ГОСТ 17.1.2.04-77 Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов.

ВСН 33-2.1.10-90 Гидромелиоративные системы и сооружения. Инженерно-гидрометеорологические изыскания от 05.11.90 № 44.

Концепция государственной политики в сфере использования, восстановления и охраны водных объектов в 1999-2005 годах. – М., 2000.

Международное руководство по методам расчета основных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1989.

Методические указания по оценке влияния хозяйственной деятельности на сток средних и больших рек и восстановлению его характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. –130 с.

Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984.

СНиП 2.06.04.-82 "Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)". – М.: Минстрой России, 1995. – 45 с.

СНиП 2.06.15-85 "Инженерная защита территорий от затопления и подтопления". – М.: Госстрой СССР, 1986. – 20 с.

СНиП 2.06.01-86 "Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования". – М.: Госстрой СССР, 1987. – 30 с.

СНиП 10-01-94 "Система нормативных документов в строительстве. Основные положения". – М.: Минстрой России, 1994. – 21 с.

СН 435-72 "Указания по определению расчетных гидрологических характеристик" от 24.02.1972.

СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой России, 2004.

Федеральный закон "О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера" от 21.12.94 № 68-ФЗ.

Федеральный закон "О землеустройстве" от 18.06.2001 № 78-ФЗ.

Федеральный закон "О мелиорации земель" от 10.01.96 № 4-ФЗ, изм. и доп. 10.01.2003.

Федеральный закон "Об обороте земель сельскохозяйственного назначения" с изм. и доп. от 24.07.2002 № 101-ФЗ, изм. и доп. от 07.07.2003 № 113-ФЗ.

Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 № 7-ФЗ.

Федеральный закон "Об экологической экспертизе" от 23.11.1995 № 174-ФЗ.

## 1.4. Термины и определения

*Адаптивно-ландшафтная система земледелия* – это сельскохозяйственная деятельность, при которой максимально учитываются особенности природных и антропогенных ландшафтов, требовательность сельскохозяйственных культур к условиям произрастания, оптимально реализуется ресурсный потенциал, каждый земельный участок используется с учетом его агроэкологической оценки.

*Весеннее половодье* – фаза водного режима, вызываемая весенним снеготаянием.

*Водосбор* – часть территории земли, откуда вода стекает в отдельный водоток.

*Водосборная площадь* – территория, с которой стекают поверхностные или подземные воды к водным артериям, – рекам, озерам, а также к бессточным впадинам.

*Водопроницаемость почвы* – способность почвы впитывать талую и дождевую воду.

*Влагоемкость почвы* – величина, количественно характеризующая способность почвы удерживать влагу.

*Водная эрозия почв* – процессы разрушения верхних наиболее плодородных горизонтов почв и подстилающих пород талыми и дождевыми водами.

*Воспроизводство плодородия земель сельскохозяйственного назначения* – сохранение и повышение плодородия земель сельскохозяйственного назначения посредством проведения агротехнических, агрохимических, мелиоративных, фитосанитарных, противоэрозионных и иных мероприятий.

*Запас влаги в почве* – абсолютное количество влаги, содержащееся в определенном слое почвы.

*Земельные угодья* – земли, систематически используемые или пригодные к использованию для конкретных хозяйственных целей и отличающиеся по природно-историческим признакам.

*Земли сельскохозяйственного назначения* – предназначены для использования в сельском хозяйстве.

*Интенсивность снеготаяния* – количество воды, образующееся в процессе таяния снега в единицу времени.

*Интенсивность впитывания талой воды в почву* – количество впитавшейся в почву воды в единицу времени.

*Коэффициент стока* – отношение величины стока к запасам воды в снеге перед снеготаянием и количества осадков, выпавших на время снеготаяния.

*Ландшафт естественный* – территориальная система, состоящая из взаимодействующих природных компонентов, сформировавшаяся под влиянием природных процессов.

*Ландшафт нарушенный* – ландшафт, подверженный антропогенному, в т. ч. сельскохозяйственному воздействию.

*Модуль стока* – средняя величина стока с поверхности водосбора в единицу времени.

*Наименьшая (полевая) влагоемкость (НВ)* – наибольшее количество воды, которое может удержаться в верхней части почвогрунта после свободного стекания воды.

*Объемная масса почвы* – масса единицы объема образца абсолютно сухой почвы с ненарушенным сложением.

*Обеспеченность стока* – частота появления стока расчетной величины в течение длительного промежутка времени.

*Поверхностный сток* – количество воды, попадающей в русло водотока поверхностным путем.

*Полная влагоемкость почвы* – способность слоя почвы вместить (накопить) максимальное количество воды.

*Рыхлая пашина* – поле с зяблевой обработкой.

*Свободная порозность почвы* – разность между полной влагоемкостью почвы и запасом влаги в почве.

*Сельскохозяйственное угодье* – земельное угодье, систематически используемое для получения сельскохозяйственной продукции.

*Склоновый сток* – сток воды, формирующийся в пределах склона.

*Слой стока* – количество воды, стекающей с водосбора, выраженное в виде слоя (мм), равномерно распределенной по площади.

*Снегозапасы* – общее количество воды, содержащееся в снежном покрове.

*Стоковая площадка* – площадка шириной 20 м и длиной 100 м, обвалованная валиками и оборудованная в нижнем углу треугольным водосливом с углом выреза 45° для учета стока.

*Термоинфильтрация* – просачивание снеговой воды в мерзлую почву путем протаивания ее за счет тепла талой воды.

*Удельная масса почвы* – это отношение твердой фазы почвы в сухом состоянии к весу воды равного объема.

Уплотненная пашня – поля без обработки (стерня), под многолетними травами, озимыми.

### 1.5. Принятые условные обозначения

- $W_c$  – запасы воды в снеге, мм;  
 $H$  – глубина промерзания почвы, см;  
 $W_{II}$  – запасы воды в слое почвы 0-50 см, мм;  
 $d_v$  – удельная масса почвы, г/см<sup>3</sup>;  
 $d$  – объемная масса почвы, г/см<sup>3</sup>;  
 $V_{оп}$  – общая порозность почвы, %;  
 $V_{сн}$  – объем свободных пор, %;  
 $S$  – общая площадь водосбора, га (км<sup>2</sup>);  
 $S_p$  – площадь водосбора под рыхлой пашней (зябью), га (км<sup>2</sup>);  
 $S_y$  – площадь водосбора под уплотненной пашней (озимые, многолетние травы, стерня, залежь), га (км<sup>2</sup>);  
 $S_{л}$  – площадь лесных угодий, га;  
 $U$  – величина поверхностного стока, мм.

## 2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

2.1. Для расчета величины поверхностного стока талых вод необходимы следующие характеристики:

- запасы воды в снеге, мм;
- глубина промерзания почвы, см;
- запасы воды в слое почвы 0-50 см, мм;
- удельная масса почвы, г/см<sup>3</sup>;
- объемная масса почвы, г/см<sup>3</sup>;
- общая порозность почвы, %;
- объем свободных пор, %;
- общая площадь водосбора, га (км<sup>2</sup>);
- площадь водосбора под рыхлой пашней (зябью), га (км<sup>2</sup>);
- площадь водосбора под уплотненной пашней (озимые, многолетние травы, стерня, залежь), га (км<sup>2</sup>);
- площадь лесных угодий.

2.2. *Запасы воды в снеге* определяются по данным наблюдений Гидрометслужбы на метеостанциях и постах, на основе аэрокосмического мониторинга и уточняются в результате проведения снегомерных съемок на водосборах.

Формирование снежного покрова происходит под влиянием таких факторов, как ветер, расчлененность территории, экспозиция, крутизна и протяженность склонов, вид угодий, наличие защитных лесных насаждений и др. Снегомерные съемки, проводимые на водосборах, имеют целью определить влагозапасы в снеге на всех водосборах, установить закономерность и особенности снегораспределения на разных угодьях в зависимости от рельефа и экспозиции склонов, выявить снегонакопительную и снегораспределительную роль защитных лесных полос и других насаждений.

На водосборах проводят разовые снегомерные съемки за 20-30 дней до снеготаяния по заранее намеченным постоянным маршрутам, которые наносят на план водосбора, нумеруются и закрепляются в натуре.

На простых водосборах с одним видом угодий (выгон, пашня, сад, лес и др.) намечается 3 маршрута поперек склона на одном рас-

стоянии друг от друга, причем суммарное расстояние между крайними маршрутами в верхней и нижней границами водосбора должно составлять  $2/3$  расстояния между соседними маршрутами. Они пересекают водосбор от одного до другого водораздела. Здесь преобладают маршруты прямолинейного направления. Общая протяженность всех маршрутов близка к 3-5-кратной средней ширине водосбора. На больших комплексных опытных водосборах число маршрутов может достигать до 5-6, причем они должны располагаться как поперек водосбора, так и вдоль него с охватом всех основных угодий, лесных полос и других элементов, сильно влияющих на снегораспределение. Измерения в маршрутах проводятся в точках, расположенных через 5-25 м. Плотность снега на каждом угодье измеряется весовым снегомером ВС-43 в 5 точках и, кроме того, в пунктах с характерным залеганием снега. На водосборе с лесополосами снегомерные маршруты должны проходить перпендикулярно направлениям полосы.

Средний запас воды в снеге (мм) на каждом виде угодий определяется путем перемножения его средней высоты (мм) и средней плотности ( $\text{г/см}^3$ ). На всем комплексном водосборе запас воды в снеге (X) определяется как средневзвешенная величина через площадь отдельных угодий  $S_i$  и всю площадь S:

$$X = \frac{\sum X \cdot S_i}{S},$$

Осадки, выпавшие в период после проведения снегомерной съемки до конца снеготаяния, добавляются к запасам воды в снеге.

2.3. *Глубина промерзания почвы* определяется в те же сроки, что и снегозапасы. При этом применяется копка шурфов в мерзлой земле, бурение и другие способы. Основным признаком мерзлой почвы является наличие в ней кристалликов льда и механическое сопротивление при разломе и разминании кусочков почвы и ее влажность. Динамику промерзания и оттаивания почвы изучают также при помощи мерзлотомера Данилина МД-2, проводя наблюдения три раза в месяц. Одновременно проводят замеры высоты снежного покрова. Следует иметь в виду, что МД-2 фактически показывает глубину проникновения отрицательных температур и поэтому преувеличивает показатели глубины промерзания почвы, а в весенний период занижает скорость ее оттаивания снизу и сверху. Поэтому указанный метод определения промерзания почвы нужно применять в сочетании с другими методами.



Для оценки глубины промерзания почвы можно использовать данные Гидрометслужбы, но только те, которые определялись по кристалликам льда непосредственным бурением почвы на различных видах угодий водосборов. Почва бывает талая или глубоко промерзает обычно на больших территориях, охватывающих сотни и тысячи квадратных километров. Важно определить границу между талой и глубоко промерзшей почвой, если она не выходит за пределы исследуемого водосбора.

2.4. *Влажность мерзлой почвы* определяется в 3-кратной повторности до глубины 50 см. Образцы берутся со следующих глубин: 0, 10, 20, 30, 40 и 50 см. Влажность почвы выражается в процентах, а запасы влаги в миллиметрах послойно и суммарно для всей толщи. Запасы влаги вычисляют по формуле Н. А. Качинского:

$$W = \frac{M \cdot V \cdot K}{10},$$

где  $M$  – мощность слоя почвы, см;  $V$  – общая масса почвы, г/см<sup>3</sup>;  $K$  – влажность данного слоя почвы, %.

Если почва на водосборе талая или промерзла на глубину до 50 см, то запасы воды в почве можно не определять.

2.5. *Удельная масса почвы* [31]. Удельной массой почвы называется отношение веса твердой фазы почвы в сухом состоянии к весу равного объема воды. Это вес в граммах одного кубического сантиметра твердой фазы сухой почвы. Ее определяют пикнометрическим способом. Знание удельной массы необходимо для вычисления скважности почвы. Для вычисления надо знать объем и вес твердой фазы почвы. При пикнометрическом способе объем твердой фазы определяется путем вытеснения воды, взятой навеской почвы.

Порядок определения следующий:

1. Налить в колбу около 250 мл дистиллированной воды, кипятить примерно полчаса для удаления из нее растворенного воздуха и охладить до комнатной температуры.

2. Взять пикнометр (или мерную колбу) объемом 100 мл, налить в него до метки прокипяченную и охлажденную дистиллированную воду, измерить температуру и взвесить на аналитических весах.

3. Взять среднюю пробу из просеянного через миллиметровое сито образца и отвесить на аналитических весах в стеклянный стаканчик или в какую-либо другую тару воздушно-сухую почву в пределах 9-10 г. Одновременно с этим взять навеску для определения гигроскопической влаги, если ее не определяли.

4. Из взвешенного пикнометра (см. пункт 2) вылить немного больше 1/2 объема воды и всыпать в него взятую навеску почвы. Стаканчик, в котором находилась почва, снова взвесить и по разности между стаканчиком с почвой и пустым стаканчиком определить вес почвы, взятой для определения удельного веса.

5. Почву и воду в пикнометре кипятить в течение получаса для удаления воздуха, доливая дистиллированную воду по мере выкипания до половины его объема.

6. После кипячения пикнометр с содержимым охладить до комнатной температуры и долить прокипяченную и охлажденную воду до метки, вытереть снаружи фильтровальной бумагой взвесить на аналитических весах. При этом нужно следить, чтобы температура пикнометра с водой и почвой была одинаковой с первоначальной температурой пикнометра с водой.

Удельную массу вычисляют по формуле:

$$d_v = \frac{A}{(B + A) - C},$$

где  $d_v$  – удельная масса ( $\text{г}/\text{см}^3$ );  $A$  – навеска сухой почвы;  $B$  – вес пикнометра с водой ( $\text{г}$ );  $C$  – вес пикнометра с водой и почвой ( $\text{г}$ ).

$$A = \frac{a \times 100}{100 + \Gamma_{\text{H}_2\text{O}}},$$

где  $a$  – навеска воздушно-сухой почвы,  $\text{г}$ ;  $\Gamma_{\text{H}_2\text{O}}$  – гигроскопическая влага, %.

2.6. *Объемная масса почвы* [31] (плотность грунта) – отношение массы (веса) грунта к его объему,  $\text{г}/\text{см}^3$ , определяется путем отбора образцов с ненарушенным сложением с различных глубин (0, 10, 20, 30, 40, 50 см) при помощи прибора Качинского в 3-кратной повторности с последующим высушиванием и взвешиванием.

Для этого пустое кольцо с пластинами-крышками взвешивается, измеряются его размеры (внутренний диаметр и высота) и вычисляется его внутренний объем с точностью до  $0,1 \text{ см}^3$ . Затем в него набирается грунт и кольцо с грунтом опять взвешивается. Вес грунта разделенный на внутренний объем кольца покажет объемную массу грунта (плотность).

Последовательность определения плотности грунта следующая:

1. Кольцо, смазанное изнутри тонким слоем вазелина, заостренной поверхностью установить на предварительно выровненную поверхность грунта и вдавить его на 1-2 мм в грунт. Перекос и забивание кольца не допускаются.

2. Если нужно, то узким шпателем или ножом прорыть вокруг кольца канавку, формируя грунтовый столбик. Аккуратно и постепенно насадить кольцо на столбик. Снова прорывать канавку и снова вдавить кольцо, пока оно полностью не заполнится исследуемым грунтом и грунт окажется выше кольца на 1-2 мм.

3. Если грунт плотный, подрить его под кольцом на конус и вынуть кольцо с грунтом. Если грунт рыхлый, срезать кольцо ниже его на 10-15 мм плоской лопаткой или пластиной. Одновременно отобрать пробу грунта для анализа влажности.

4. Срезать грунт сверху кольца, выравнивая его по верхней кромке и накрыть стеклянной металлической или пластмассовой, предварительно взвешенной пластиной. Перевернуть кольцо и сравнить грунт с кромкой кольца. Иными словами, нужно сделать так, чтобы в кольце сохранился грунт естественного сложения, заполняющий весь объем кольца.

5. Протереть кольцо и взвесить его с крышкой-пластинкой и грунтом на весах с точностью до 0,01 г. Требуется проводить не менее трех параллельных испытаний. Результат рассчитывают как среднеарифметическое.

6. Объемная масса грунта естественной влажности  $\rho$  вычисляется по формуле:

$$d = \frac{m - m_1 - m_2}{V},$$

где  $m$  – вес образца грунта с кольцом и пластинками, г;  $m_1$  – вес кольца, г;  $m_2$  – вес стекол или пластинок, г;  $V$  – объем грунта, находящегося в полости кольца (внутренний объем кольца), см<sup>3</sup>.

Объемная масса мерзлой почвы меньше, чем талой, и при определении запасов влаги в мерзлой почве, исходя из ее объемного веса, найденного в теплый период, получаются преувеличенные данные, поэтому важно знать объемную массу мерзлой почвы. Для этого рекомендуется пользоваться следующим методом при определении объемной массы мерзлой почвы. Кусок мерзлой почвы опускают в алюминиевый стакан (бюксу) с известным объемом, куда затем насыпают пшено и заполняют им пустоты. После этого избыток пшена снимают со стакана линейкой, объем пшена в бюксе измеряют мензуркой. При разности объемов алюминиевого стакана и всыпанного пшена определяют объем куса мерзлой земли. Указанная работа проводится в поле при морозной погоде, в тени. Затем этот кусок высушивают до абсолютно сухого состояния и взвешивают, после чего вычисляют его объемную массу при данной влажности.

2.7. *Общая порозность почвы* [31] (скважность или пористость) почвы показывает суммарный объем пустот, различных по величине и форме. Скважность зависит от механического, агрегатного состава и структуры почвы, формы частиц, плотности их упаковки, пронизанности почвы корнями, червоточинами и т. д. Она изменяется при набухании почвы. Величина общей порозности определяет в основном водный и воздушный режим почвы, полную влагоемкость и воздухоемкость; от нее зависит передвижение воды в почве: водопроницаемость, глубина промачивания, подъем грунтовых вод, испарение. Если известны объемная ( $\rho$ ) и удельная (УВ) массы почвы, то можно вычислить общую порозность (скважность или пористость в объемных процентах):

$$P_{\text{общ}} = 100\left(1 - \frac{d_v}{d}\right).$$

2.7. Площадь малых водосборов определяется по топографическим планам масштаба 1:10000-1:25000, а бассейнов рек 1:50000-1:1000000.

2.8. Площадь территории, занятой уплотненной пашней и зябью на малых водосборах, определяется на основе статистических данных муниципальных образований, а для бассейнов рек – региональных, а затем они суммируются по водосбору реки.

### **3. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ СВЯЗИ МЕЖДУ СТОКОМ И ПРИРОДНЫМИ ФАКТОРАМИ**

#### **3.1. Анализ материалов по оценке связи поверхностного стока с природными факторами**

Планирование мер борьбы с эрозией почв должно осуществляться на основе знания закономерностей формирования поверхностного стока. Известно, что важнейшими факторами, влияющими на формирование стока, являются увлажнение почвы перед снеготаянием, величина запасов воды в снеге, глубина промерзания почвы, интенсивность и продолжительность снеготаяния и др. Большинство из них влияют на формирование стока комплексно, во взаимодействии. Сейчас в литературе имеется много материалов о роли различных факторов в формировании стока [1, 3, 5-8 10-15, 23-26]. Однако они, как правило, рассматриваются каждый в отдельности без учета совокупности их влияния. Причем взгляды разных исследователей в значительной степени различаются и даже бывают противоположными. Г. Ф. Басов и М. Н. Грищенко [5], исследуя этот вопрос в Воронежской обл., пришли к выводу, что с увеличением снегозапасов коэффициент стока увеличивается. С. И. Небольсин и П. П. Надеев [27], проведя многолетние исследования в Московской обл., пришли к выводу о том, что с увеличением снегозапасов коэффициент стока уменьшается. И. П. Сухарев и Е. М. Сухарева [37] считают, что в ЦЧО с увеличением снегозапасов уменьшается коэффициент стока, а в некоторых случаях и величина стока. Результаты этих исследований относятся к условиям неравномерного распределения снежного покрова под влиянием лесных полос, где в примыкающих к ним зонах откладываются мощные снежные шлейфы. А. И. Чеботарёв и С. И. Харченко [40] пришли к выводу, что снегозапасы прямо влияют на сток весеннего половодья. Г. П. Сурмач [35] отмечает, что не всегда можно выделить в чистом виде влияние снегозапасов на сток, иногда накладывается действие других факторов.

Он приводит обобщенные им результаты исследований многих авторов на серых лесных и каштановых почвах, черноземах типичных, выщелоченных, обыкновенных и южных, которые указывают на то, что с увеличением запасов снеговой воды сток, как правило, возрастает. Одновременно с этим во многих случаях повышается и коэффициент стока. Им также на основании результатов исследований для района Тимашево Самарской обл. установлена математическая связь стока  $U$  со снегозапасами  $X$ , которая выражается уравнением  $U = 0,36X + 35,7$ . На основании анализа этих связей Г. П. Сурмач пришел к выводу о том, что при разнообразии гидрометеорологических условий и агротехники взаимосвязь между мощностью снежного покрова и стоком проявляется по-разному. Для черноземно-степной и каштановой зон он выделил следующие случаи.

1. Снег ложится на иссушенную или умеренно влажную почву, сильные оттепели отсутствуют. В этих условиях сток с рыхлой пашни (а в ряде случаев и с уплотненной пашни) отсутствует независимо от глубины промерзания как при малой или нормальной, так и повышенной мощности снежного покрова.

2. Почва уходит в зиму во влажном состоянии, снежный покров устойчивый и сохраняется в течение всей зимы. В этих условиях на рыхлой пашне формируется очень слабый и слабый сток. По мере увеличения мощности снежного покрова в рамках обычных снегозапасов сток повышается, а его коэффициент остается на том же уровне. На уплотненной пашне, а в более северных районах на оподзоленных черноземах и серых лесных почвах и на зяблевой пахоте увеличение мощности снежного покрова в таких условиях сопровождается значительным увеличением объема стока и некоторым повышением его коэффициента.

3. Снег выпал на переувлажненную в предзимний период и замерзшую почву и сохраняется в течение всей зимы. Вследствие этого весной даже на рыхлой пашне формируется умеренный и сильный сток, не говоря уже об уплотненной пашне и выгонах. По мере увеличения снегозапасов объем и коэффициент стока с рыхлой и особенно с уплотненной пашни повышаются.

4. Почва уходит в зиму различно увлажненной, зимой бывают глубокие оттепели с дождями, вызывающие частичное или полное стивание снега. В дальнейшем почва замерзает в переувлажненном состоянии и теряет способность впитывать талую воду. В этих условиях сток

и коэффициент стока с увеличением снеготолщин повышаются. В результате формируются сильные паводки. В местах, где в течение всей зимы сохраняется снежный покров мощностью не менее 20-25 см (например, в приопушечной зоне лесополос), вся талая вода во время оттепелей просачивается в почву и исключается возможность образования поверхностной ледяной корки. Эти участки и в период завершающего весеннего снеготаяния могут поглощать талую воду, способствуя тем самым сокращению стока. В таких условиях слой и коэффициент стока имеют обратную связь с запасами снеговой воды.

5. Почва уходит в зиму при различном увлажнении, зимний период характеризуется неустойчивой погодой. Периоды умеренного похолодания сменяются оттепелями, осадки выпадают преимущественно в виде снега и дождя, почва слабо замерзает и вновь оттаивает, снежный покров неустойчивый. Весенний сток с зяби в такие годы отсутствует или бывает очень слабый, а с других сельскохозяйственных угодий – очень слабый и слабый до умеренного.

Таким образом, Г. П. Сурмачем проанализирована связь стока и коэффициента стока со снеготолщинами в различных гидрометеорологических условиях, что позволило ему разработать схему прогнозирования стока на качественном уровне – слабый, умеренный и т. д. [34].

Е. В. Полуэктов [30] провел подобный анализ для условий североприазовских черноземов Ростовской обл. и сгруппировал различные сочетания факторов следующим образом:

I группа – почва с осени иссушена. В течение зимы несколько раз выпадает снег, который в результате непродолжительных оттепелей тает без образования стока. Почва промерзает на незначительную глубину. К весне снег в основном сосредоточен в ложбинах, лощинах, балках и лесных полосах. На рыхлой и уплотненной пашне сток отсутствует.

II – почва уходит в зиму различно увлажненной. Умеренно холодная, с частыми снегопадами зима прерывается оттепелями. Происходит частичное или полное стаивание снега с образованием небольшого стока. В дальнейшем почва замерзает в переувлажненном состоянии, водопроницаемость ее резко снижается. Большая часть выпадающих потом осадков стекает со склонов.

III – осенью и в первой половине зимы наблюдаются обильные дожди иногда со снегом, которые сильно увлажняют почву. Похолодание во второй половине зимы сопровождается кратковременными оттепелями. Весной количество осадков ниже нормы. В этих услови-

ях весенний сток небольших объемов формируется на рыхлой и значительно больших – на уплотненной пашне.

IV группа – почва уходит в зиму при различном увлажнении. Зима характеризуется неустойчивой погодой, умеренное похолодание сменяется оттепелями, осадки выпадают в виде снега и дождя. Почва промерзает на небольшую глубину и вновь оттаивает, снежный покров неустойчив. На уплотненной пашне возможно образование ледяной корки. При таком сочетании условий сток талых вод на рыхлой пашне отсутствует или бывает очень слабым, на уплотненной пашне он слабый и умеренный. Группирование природных факторов по влиянию их на сток талых вод также позволило ему предложить метод прогноза стока с рыхлой и уплотненной пашни на качественном уровне. Им удалось глубоко и всесторонне проанализировать связь стока талых вод с природными и антропогенными факторами, но к сожалению прогноз стока не был формализован. Г. П. Сурмач писал, что "прогнозирование стока талых вод, основанное на учете степени увлажнения почвы и погодных условий осенне-зимнего периода (температура воздуха, осадки, наличие оттепелей), не имеет строгой расчетной основы, и поэтому точность этого способа невысока" [34].

В формализованном виде метод прогноза стока рек за период половодья, который можно использовать с определенными допущениями для прогноза поверхностного стока, предложили Б. А. Аполлов, Г. П. Калинин, В. Д. Комаров [1] на основе анализа связи водопоглотительной способности почвы бассейна перед началом снеготаяния с природными факторами. Ими предложено следующее выражение для определения стока рек за период половодья:

$$Y = S - P_o(1 - e^{s/p}), \quad (1)$$

где  $Y$  – речной сток в период половодья, мм;  $S$  – запасы воды в снеге и ледяной корке, мм;  $P_o$  – параметр, характеризующий водопоглотительную способность бассейна перед началом снеготаяния и представляющий собой максимально возможные потери талых вод при таянии снежного покрова с большим, практически бесконечно большим, запасом воды, мм.

Для рек центральной части степной и лесостепной зон европейской территории СССР ими была установлена зависимость параметра  $P_o$  от глубины промерзания  $L$  и льдистости слоя почвы 0-100 см или влажности ее в мерзлом состоянии  $W$ . На основе анализа многолетних наблюдений за стоком, снежным покровом, промерзанием почвы, ее



влажностью и другими факторами половодья получена эмпирическая формула

$$P_o = 750e^{-0,051we} - 0,051WL. \quad (2)$$

Глубина промерзания в этой формуле ограничена 60 см, т. е. все большие величины приравнены к 60 см. Этот подход обладает следующими недостатками:

1. Его можно использовать для расчета поверхностного стока с некоторыми допущениями, так как он разрабатывался для речного стока.

2. Формула (2) показывает, что водопоглотительная способность почвы зависит от глубины ее промерзания, начиная с любой величины больше нуля. Это не так. Экспериментальные данные свидетельствуют (что будет показано ниже) о том, что при глубине промерзания почвы до 50 см сток талых вод отсутствует при любом уровне снегозапасов и увлажнения почвы.

3. Для установления связи стока с льдистостью достаточно иметь влажность мерзлого слоя почвы 0-50 см, а не 0-100 см, как принято у авторов. Дело в том, что за период снеготаяния впитывание талой воды в почву происходит только до 25-30 см, т. е. в процесс водопоглощения вовлечен небольшой слой почвы и его достаточно для оценки влажности как природного фактора стока. Вовлечение более глубоких слоев почвы в расчеты приводит к увеличению ошибки прогноза.

4. Влажность почвы определяется перед началом зимы и делается поправка на увлажнение во время зимних оттепелей. Это тоже приводит к ошибке. Лучше это делать непосредственно перед снеготаянием.

Комаров В. Д. выявил важную роль теплофизического взаимодействия талой воды с мерзлой почвой [17, 18]. Последующие исследования этого вопроса углубили понимание сути процесса впитывания талой воды в мерзлую почву. Наибольший интерес представляют исследования И. Л. Калюжного, К. К. Павловой и С. А. Лаврова [15-16, 38], которые разработали концепцию формирования в мерзлой почве "запирающего слоя", суть которой заключается в том, что при некотором соотношении влажности и температуры мерзлой почвы в ней формируется водонепроницаемый слой. Отмечая большую роль промерзания и влажности почвы в формировании поверхностного стока талых вод и важность концепции "запирающего слоя" для понимания процесса взаимодействия талой воды с мерзлой почвой, следует отметить несогласованность результатов расчетов "запирающего слоя" с данными эксперимен-

тов авторов концепции. Выявлены случаи больших различий в стоке при равных мощностях "запирающего слоя", что не позволяет использовать эти результаты при прогнозировании стока.

Гаршиневым Е. А. [10] выдвинута и обоснована концепция "ледяного экрана", формирующегося на границе талого и мерзлого слоев почвы. Ее суть состоит в том, что при оттаивании верхнего слоя почвы по границе с мерзлым слоем происходит полное перекрытие всех пор почвы льдом и инфильтрация влаги в обычном ее понимании замещается процессом "термоинфильтрации" – протаиванием почвы в результате ее теплообмена за счет притока тепла извне. Формирование "ледяного экрана" и обуславливает сток талых вод даже в условиях, когда верхний мерзлый слой почвы не насыщен полностью.

Алексеевский Н. И., Фролова Н. П., Антонова М. М., Игошина М. И. [28], проанализировав очень большой материал, характеризующий связь речного стока Волги с обуславливающими его факторами, пришли к выводу, что в лесной зоне годовой сток почти линейно связан с суммой годовых осадков, в лесостепной зоне эта связь ослабевает, а в южной части бассейна Волги годовой сток в бóльшей степени зависит от количества осадков за холодный период, т. е. от снеготаяния.

Демидов В. В. выявил связь стока  $C$  со снеготаянием  $S$ , интенсивностью таяния снега  $X$ , временем полного оттаивания мерзлого слоя почвы  $r_x$ , параметром, характеризующим долю водонепроницаемого слоя почвы, приходящуюся на единичную высоту снежного покрова  $K$ , суммой положительных температур за период стока  $\sum t$  и продолжительностью снеготаяния  $T$  [13]. Она выражается уравнением

$$C = 3,23 \cdot 10^{-2} \cdot S^{0,85} \cdot X^{0,7} \cdot r^{0,58} \cdot K^{1,15} \cdot \sum t \cdot T^{0,25}. \quad (3)$$

В уравнении (3) придается большое значение факторам, которые не играют существенной роли в формировании стока (интенсивность снеготаяния, время полного оттаивания мерзлого слоя почвы, соотношение мощности водонепроницаемого слоя почвы и высоты снега, сумма положительных температур и продолжительность снеготаяния), малая роль отводится снеготаянию и совсем не учитываются такие мощные природные факторы, как увлажнение почвы и глубина ее промерзания.

Сурмач Г. П., Ломакин М. М., Шестакова А. П. разработали прогноз коэффициентов стока [33]. Они предложили рассчитывать их по уравнению

$$K_{np} = (\alpha X^n - \nu X - cH + d)x(1 + 0,0000055P_{oc}^2), \quad (4)$$

где  $K_{np}$  – прогнозируемый коэффициент стока;  $X$  – средняя влажность почвы в мерзлом слое, %;  $H$  – глубина мерзлого слоя, см;  $P_{oc}$  – влагозапасы в снеге и ледяной корке, мм;  $a, b, c, d, n$  – параметры уравнения, зависящие от типа и уплотненности почв (для зяби черноземов и каштановых почв соответственно 0,000185; 0,0025; 0,0125; 0,03; 1,25; для рыхлой и уплотненной пашни серых лесных почв, уплотненной пашни черноземов и каштановых почв соответственно 0,000398; 0,0039; 0,0101; 0,075; 1,10).

Исходя из уравнения (4), коэффициент стока талых вод в сильной степени зависит от снегозапасов, влажности мерзлого слоя почвы и его глубины. Это уравнение также имеет ряд недостатков. Во-первых, при отсутствии снега возможен сток, что противоречит здравому смыслу. Во-вторых, по уравнению получается, что чем больше глубина промерзания, тем больше сток. Это не соответствует действительности, на что указывают А. Т. Барабанов, Б. А. Апполов, В. Д. Комаров в своих работах [1, 3]. В-третьих, влажность почвы определяется в слое, равном глубине ее промерзания. В этом нет необходимости, достаточно определить ее до глубины 30-50 см. Вовлечение большей глубины (а глубина промерзания почвы бывает до 150-200 см) приводит к сильному варьированию влажности почвы и к большой ошибке при выявлении связи стока талых вод с природными факторами и его прогнозировании.

Водогрецкий В. Е. с соавторами предлагает оценку изменения поверхностной составляющей речного стока осуществлять на основании зависимости [7]

$$\alpha = f(U_t, I), \quad (5)$$

где  $\alpha$  – коэффициент склонового весеннего стока;  $U_t$  – показатель, характеризующий степень увлажнения в метровом слое и промерзаемости почвогрунтов в период, предшествующий стоку;  $I$  – уклон склона.

В качестве значения  $U_t$  приняты произведения суммарных влагозапасов  $U$  в слое 100 см на сумму отрицательных значений температуры воздуха  $\sum(-t)$  за период от начала устойчивого перехода температуры воздуха через 0 °С до 1 января.

Зависимость (5) не может правильно отражать связь поверхностного стока с природными факторами по следующим причинам. Во-первых, в уравнении не учитываются снегозапасы, хотя известно, что они сильно влияют на сток и коэффициент стока. Во-вторых, произведение влагозапасов на сумму отрицательных температур (индекс  $U_t$ ) не может отражать уровень водопроницаемости почв. Известно, что

снег хорошо изолирует почву и состояние ее часто не зависит от температуры воздуха, т. е. при большой сумме отрицательных температур воздуха почва может остаться талой и сохранить впитывающую способность на высоком уровне. В-третьих, от уклона поверхностный сток талых вод почти не зависит [10, 22, 34]. Г. П. Сурмач писал, что "в отношении влияния уклона на сток талых вод мы, как и М. И. Львович и др., считаем, что оно весьма незначительно или вообще отсутствует. Такой вывод обосновывается следующими соображениями: во-первых, интенсивность впитывания талых вод почвой мало зависит от нанорельефа поверхности, наличия травостоя и других вышеуказанных факторов, так как роль основного фактора, обеспечивающего контакт воды с почвой (ее затопление), выполняет снежный покров; во-вторых, при отсутствии снежного покрова вследствие пониженной инфильтрационной способности мерзлой почвы уклон также очень слабо влияет на величину стока" [34].

Шеппель П. А. на основании математической обработки 25-летнего ряда наблюдений получил следующие уравнения расчета притока паводковых вод  $W_n$  к каскаду водохранилищ Волжско-Камского бассейна в зависимости от максимальных снегозапасов  $h$  [42]:

$$W_n = 14,7 \sqrt{h}, \text{ км}^3; \quad (6)$$

$$W_n = 0,94h + 54, \text{ км}^3. \quad (7)$$

Из уравнений (6), (7) видно, что поверхностный сток с бассейна Волги находится в прямой связи со снегозапасами, т. е., чем больше снега, тем больше сток. Это противоречит многочисленным данным. Сток зависит не только от снегозапасов, но и от других факторов, которые находятся в сложном взаимодействии.

Бураков Д. А. и Литвинова О. С., анализируя роль факторов в формировании речного стока, отмечают, что в районах с глубоким промерзанием почвы влияние многолетней изменчивости глубины промерзания не сказывается на колебаниях потерь стока весеннего половодья по годам [6]. Важным фактором формирования талого стока в этих районах является осеннее увлажнение бассейнов.

Урбанова О. Н. и Семанов Д. А., разрабатывая прогноз притока воды в пруды Татарии, отмечают, что часто при высоких снегозапасах сток половодья может быть низким и, наоборот, при небольших – очень высоким [39]. Причинами такого несоответствия они считают сложившуюся к началу снеготаяния метеорологическую обстановку и различные по величине потери воды на испарение и фильтрацию. Поэтому при прогно-

зировании стока, по мнению авторов этого прогноза, кроме данных о снегозапасах на водосборе необходимо для определения потерь на фильтрацию учитывать сведения о ходе среднесуточных температур воздуха, об осеннем и весеннем (перед паводком) увлажнении почвы, об осадках, выпадающих в период снеготаяния, о промерзаемости почвы.

Двинских С. А., Китаев А. Б., Михайлов А. В., изучая многолетнюю динамику изменения климатических факторов, выявили, что наиболее отдаленным признаком высокого половодья является необычно теплая и дождливая осень и запас снеговой воды [12]. Однако, как отмечают авторы, в 1979 г. запас воды в снеге в 1,5 раза превышал норму, а наводнения не произошло. Они считают, что анализ всех факторов, вызывающих наводнения, пока не позволяет построить модель их формирования из-за противоречивости результатов.

Гагаринова О. В. исповедует ландшафтно-гидрологический подход к исследованию природных факторов, оказывающих влияние на формирование речного стока [8]. Она использует целый ряд физико-географических параметров: геологическое строение, экспозицию склонов, средний уклон водосбора, густоту речной сети, лесистость территории, заболоченность и т. д.

На подходах Гидрометцентра России к прогнозам стока остановимся подробнее, так как по этим прогнозам осуществляется попуск весеннего паводка на Волжско-Камском каскаде водохранилищ.

По В. М. Мухину, "объем весеннего половодья (притока воды в водохранилище) определяется по многим постоянным и переменным факторам. В основе методов прогноза объема воды за половодье лежат различные формы его зависимостей от стокоформирующих факторов, одна часть из которых непосредственно измеряется, другая – рассчитывается и еще часть служит лишь косвенными характеристиками первых. К первым относятся запасы воды в снежном покрове и ледяной корке на почве, влажность того или иного слоя почвы и ее глубина промерзания, осадки, характеристики почвы, прежде всего ее водопроницаемость, температура и дефицит влажности воздуха, которые определяют интенсивность таяния снега и испарение как с его поверхности, так и с поверхности почвы, освободившейся от снега. Ко вторым относятся постоянные характеристики водосборов: размеры, конфигурация бассейна, уклоны его поверхности, рельеф, почвенный состав и растительный покров (залесенность), озерность и заболоченность" [26]. Косвенными показателями стокоформирующих факторов, определяющих объ-

ем половодья, могут служить те или иные характеристики циркуляции атмосферы, температура поверхности океанов в энергоактивных районах, временные автокорреляционные функции многолетнего ряда наблюдений за объемами половодий и др.

В основу долгосрочных прогнозов и расчетов стока равнинных рек В. М. Мухиным положены 3 основных метода: водно-балансовый, физико-статистический и метод, основанный на математических моделях формирования талого стока на равнинах. Такие модели включают расчет накопления запасов воды в снежном покрове и процесса его таяния, расчет влажности, глубины промерзания почвы, а также процесса стекания воды по одному или нескольким относительным водоупорам.

Важнейшим фактором весеннего половодья, по его мнению, является снежный покров, характеризуемый величиной запасов воды в нем, величиной покрытой им площади (%) и его распределением по территории.

"Другим важнейшим фактором формирования половодья на реках, – пишет В. М. Мухин, – является водопоглотительная способность почвы, которая зависит от глубины промерзания почвы, ее влажности и температуры, интенсивности поступления талой воды на поверхность почвы, которая, в свою очередь, зависит от дружности весны. Чем медленнее при прочих равных условиях происходит таяние снега, тем больше почва может впитать и профильтровать талой воды, и наоборот".

Глубина промерзания  $l_i$  зависит от зимней температуры воздуха и толщины снежного покрова и выражается через сумму средних декадных значений температуры воздуха и высоту снега по уравнению

$$l_i = f\left(\sum_{i=1}^n \alpha_i (h)\Theta_i\right)\alpha_i(h)\Theta_i, \quad (8)$$

где  $\alpha_i = \exp(-0,39h_i)$ ;  $h$  – толщина снежного покрова, см;  $\Theta$  – сумма средних декадных значений температуры воздуха;  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от толщины снежного покрова;  $i$  – номер точки бассейна или его части.

Уравнение (8) не может характеризовать глубину промерзания почвы, а тем более нельзя рассчитывать ее. Снег хорошо изолирует почву и состояние ее часто не зависит от температуры воздуха, т. е. при большой сумме отрицательных температур почва может остаться талой и сохранить впитывающую способность на высоком уровне.

Как считает В. И. Мухин, "влажность почвы нередко является более сильным фактором формирования половодья, чем глубина промер-

зания. На влажность же почвы приходится бóльший процент потерь стока, так как при переувлажненной почве величина глубины промерзания практически теряет свое влияние на формирование объема половодья при одном и том же запасе воды в снежном покрове. Наибольшее значение для точности гидрологических прогнозов имеют запасы влаги в почве перед началом снеготаяния. Однако наибольшая часть наблюдений за ней проводится на агрометеорологических станциях в зависимости от посевных площадей. В связи с этим гидрологи используют осеннюю влажность почвы и косвенные показатели влагоемкости всего бассейна, приуроченные, как правило, к осеннему периоду".

Учет такого большого количества факторов, одни из которых не играют существенной роли в формировании стока, а другие (глубина промерзания, влажность почвы и т. д.) рассчитываются по косвенным показателям, приводит к большим ошибкам.

Мухин В. М. также отмечает, что "учесть все факторы, определяющие величину влажности почвы в данный момент для точки, практически невозможно". В связи с этим в основном используются методы расчетов косвенных показателей влажности почвы к осени, а затем производятся вычисления прибавки к ней в период оттепелей по уравнению

$$W = X_n + (X - Z)_k + W_o, \quad (9)$$

где  $W$  – увлажнение почвы;  $X$  – осадки;  $Z$  – испарение;  $n$  – количество суток, за которые суммируются осадки до даты наступления морозов;  $k$  – количество суток, за которые вычислена разность между осадками и испарением (обычно 2-4 месяца);  $W_o$  – начальное значение увлажнения почвы.

Это приводит к значительному снижению точности прогноза, так как расчеты основаны на косвенных показателях, а не непосредственных определениях влажности почвы.

Он пишет, что "известно довольно большое число способов реализации уравнения водного баланса бассейна реки. Выбор способа зависит от ряда обстоятельств, определяемых наличием тех или иных данных наблюдений, их количеством, длиной их ряда. На выборе способа также сказываются физико-географические условия в бассейне и, в конечном счете, концептуальные оценки исследователя соотношений между факторами стока и степенью их воздействия на элементы половодья".

Для прогноза стока талых вод В. М. Мухин использует следующее уравнение:

$$Y(j) = S(j) - P(j)th[S(j)/P(j)], \quad (10)$$

где  $th$  – гиперболический тангенс;  $S(j)$  – запасы воды в снежном покрове на момент составления прогноза в  $j$ -м году, равный  $\alpha_1 S(j) \alpha_2 X(j, k) \exp(-\alpha_3 k)$ ,  $X(j, k)$  – количество осадков в  $k$ -м отрезке времени, на который разделен период от даты составления прогноза до конца второго квартала;  $P(j)$  – характеристика потерь стока, равная  $\alpha_4 \exp\{-\alpha_5 W(j)[1 + \alpha_6 L(j)]\}$ ,  $W(j)$  – характеристика влагозапасов в бассейне накануне составления прогноза,  $L(j)$  – глубина промерзания почвы,  $\alpha_1, \dots, \alpha_6$  – параметры, величины которых определяются путем применения оптимизационных процедур.

В этих подходах применен балансовый метод. Величина стока равна разнице между запасами воды в снеге и потерями ее на впитывание  $P(j)$  (объем воды, просочившейся в почву). Самым сложным является определение потерь воды на впитывание. По уравнению (10) они зависят от запасов воды в почве и глубины ее промерзания. При этом, чем больше запасы влаги в почве, тем больше сток, и чем больше глубина промерзания, тем больше сток.

Эта методика не позволяет получить высокоточный прогноз стока по следующим причинам:

используется очень много факторов, часть из которых не играют существенной роли в формировании стока, но способствуют значительному увеличению ошибки его расчета;

часть факторов стока (глубина промерзания, влажность почвы и др.) рассчитываются по косвенным показателям, а не определяются непосредственно в поле. Например, глубина промерзания определяется по сумме отрицательных температур и высоте снега. Это может приводить к большим ошибкам. Если снежный покров установился на талой почве, то она останется талой, какой бы ни была сумма отрицательных температур. Для расчета стока берется предзимняя влажность почвы и затем делается расчетным путем поправки на ее изменение в течение зимы за счет оттепелей. Это тоже приводит к большим ошибкам; увлажнение почвы также рассчитывается по косвенным показателям.

Калининым Г. П. и Дарман З. С. (по Гельфану А. Н. [11]) предложено определять величины максимального расхода стока весеннего половодья разной вероятности превышения по уравнению

$$Q_{max} = Q_0 + A \frac{S}{\tau}, \quad (11)$$

где  $Q_{max}$  – максимальный расход стока весеннего половодья,  $Q_0$  – средний расход грунтового питания в весенний период,  $A$  – площадь водосбора,  $S$  – максимальные запасы воды в снеге,  $\tau$  – продолжительность половодья.



Из уравнения (11) видно, что максимальный расход стока весеннего половодья прямо пропорционален запасам воды в снеге и обратно пропорционален продолжительности половодья, т. е., чем снеготпасы больше, тем больше сток, и чем больше продолжительность половодья, тем меньше максимальный расход стока весеннего половодья. Это не так. На самом деле связь стока с запасами воды в снеге более сложная, а с продолжительностью половодья ее совсем нет, что будет показано ниже.

Анализ всех уравнений прогноза стока талых вод показал, что при разработке прогноза по применяемым в настоящее время методикам либо используется один фактор (например, снеготпасы), либо десяток и более факторов. Ни то, ни другое неприемлемо. Из этих уравнений видно, что сток в основном зависит от снеготпасов, хотя в них и учитывается водопоглотительная способность почвы через глубину промерзания, ее увлажнение и другие факторы, но, судя по коэффициентам, эти показатели либо играют незначительную роль, либо очень большую.

Таким образом, в литературе много данных по влиянию природных факторов на сток талых вод. Однако эти факторы рассматриваются в основном без учета совокупности их влияния. Причем взгляды разных исследователей в значительной степени различаются и даже бывают противоположными. Это объясняется тем, что ими использовались разные подходы, концепции и, главное, разные методы исследований. Все имеющиеся в литературе результаты исследований, обобщения и анализа связи стока талых вод с природными факторами, а также методы его прогнозирования в настоящее время не дают возможности однозначно определить роль тех или иных факторов в формировании стока, дать точный его прогноз и выявить пути его регулирования эрозионно-гидрологических процессов. Нужен новый методический подход к анализу имеющегося материала и получению дополнительных данных.

### **3.2. Закономерности формирования поверхностного стока талых вод**

#### **3.2.1. Общая характеристика поверхностного стока талых вод с разных сельскохозяйственных угодий**

В ФНЦ агроэкологии РАН (бывший ВНИАЛМИ) в результате многолетних (60-68 лет) исследований элементов водного баланса по

четырем опытными эрозионными объектами, расположенными в трех географических зонах (лесостепной с серыми почвами, степной с обыкновенными черноземами и каштановыми почвами и сухостепной со светло-каштановыми почвами), получен уникальный материал, позволяющий дать характеристику поверхностного стока талых вод с разных видов пашни и оценку стокорегулирующей роли зяблевой обработки почвы (прилож. А, Б, В, Г, Д).

Полученные многолетние материалы наблюдений и обобщение литературных данных позволили построить теоретические кривые вероятности превышения стока талых вод на рыхлой и уплотненной пашне, которые хорошо аппроксимируют эмпирические точки исследуемых рядов наблюдений, вычислить показатели стока разной вероятности превышения и стокорегулирующий эффект зяби.

Показатели поверхностного стока талых вод с уплотненной и рыхлой пашни разной вероятности превышения по природным зонам приведены в табл. 1. Они показывают, что на рыхлой пашне поверхностный сток формируется в лесостепи 5-6 лет в десятилетие, а на уплотненной пашне – 7-8 лет из 10-ти и величина его значительно больше. В степной зоне сток формируется на рыхлой пашне 3-4 года в десятилетие, а в сухостепной – 1-2 года. На уплотненной пашне эти показатели были 7-8 лет из десяти. Величины стока разной вероятности превышения уменьшаются при движении с севера на юг и юго-восток, а разница в стоке на рыхлой и уплотненной пашне увеличивается. Такая тенденция наблюдается и при анализе величин стока по годам. Однако в отдельные годы наблюдается инверсия стока, когда в лесостепной зоне он не формируется или бывает меньше, чем в степной и полупустынной зонах, где он значительный. Это указывает на то, что на формирование стока мощное воздействие оказывают природные факторы, особенно глубина промерзания, влажность почвы и снеготпасы, которые формируются в разных зонах под влиянием различных климатических условий, изменяющихся по годам. Анализ этих данных показал, что средние величины стока с уплотненной пашни при движении от серых лесных почв (лесостепь) до светло-каштановых почв (сухая степь) снижаются от 30 до 15 мм. На зяби темпы снижения значительно ниже.

Ход динамики стока в исследуемые периоды показывает, что величины его как на рыхлой, так и на уплотненной пашне колеблются в значительной степени во всех зонах, и отмечается резкое снижение его в по-

следние два десятилетия. Это связано с тем, что почва перед весенним снеготаянием почти все эти годы в лесостепной и степной зонах Русской равнины была талая или промерзала на небольшую (до 50 см) глубину.

Таблица 1

**Средние и разной вероятности превышения показатели поверхностного стока талых вод с уплотненной и рыхлой пашни, мм**

Зона, область, почва	Вид пашни	Среднее	Вероятность превышения, %							C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>
			1	5	10	50	70	80	90		
Лесостепная, Орловская, серая лесная	1	30	156	101	78	19	5	0	0	1,27	1,68
	2	20	129	81	59	11	0	0	0	1,52	1,96
Лесостепная, Курская: - темно-серая лесная - выщелоченный чернозем	1	37	169	115	91	28	12	4	0	1,07	1,45
	2	20	118	74	55	11	2	0	0	1,36	2,07
	1	37	192	123	93	20	2	0	0	1,44	1,41
	2	15	98	61	44	6	0	0	0	1,76	1,55
Степная, Воронежская, обыкновенный чернозем	1	32	157	102	78	19	5	0	0	1,30	0,95
	2	9	88	53	38	3	0	0	0	2,40	2,11
Степная, Самарская, обыкновенный чернозем	1	36	124	91	75	30	16	9	0	0,87	0,88
	2	7	54	33	24	3	0	0	0	1,79	2,05
Сухостепная, Волгоградская: - темно-каштановая - светло-каштановая	1	17	84	55	42	11	5	2	0	1,24	1,72
	2	5	37	21	15	2	0	0	0	1,80	2,31
	1	15	75	52	41	12	4	0	0	1,19	1,14
	2	3	38	20	12	0	0	0	0	2,43	3,42

*Примечание. Вид пашни: 1 – уплотненная, 2 – рыхлая; C<sub>v</sub> – коэффициент вариации, C<sub>s</sub> – коэффициент асимметрии.*

Приведенные материалы дают представление и о водопоглощении. Среднеголетняя величина инфильтрации (впитывания, водопоглощения) в лесостепи составила на рыхлой пашне 76 мм, на уплотненной 73 мм; в степи на рыхлой пашне – 118 мм, на уплотненной – 85 мм, или на 33 мм меньше. В сухой степи эти показатели были соответственно 45 и 40 мм.

Таким образом, в многолетних исследованиях выявлены нормативные величины поверхностного стока с рыхлой и с уплотненной пашни. Полученные научные материалы являются необходимыми для расчетных методов прогнозирования стока, разработки и проектирования противоэрозионных комплексов.

Было также установлено, что почва способна поглотить и удержать определенное количество воды, максимальная величина которого в мерзлом состоянии может достигать полной влагоемкости верхнего слоя.

### 3.2.2. Зависимость поверхностного стока талых вод от природных факторов. Закон лимитирующих факторов стока

Анализ многолетних материалов, характеризующих связь поверхностного стока с природными факторами, показал, что прямой зависимости стока от снеготаяния, т. е. больше снега – больше сток, нет. Например, в лесостепи в многоснежные зимы (снеготаяния больше 100 мм) стока часто не было или он был очень большим – до 146 мм. В малоснежные зимы (снеготаяния меньше 100 мм) стока в отдельные годы также не было, а в другие он был относительно большим (до 51 мм). Парный корреляционный анализ связи стока со снеготаяниями показал отсутствие прямой зависимости его от запасов воды в снеге. Коэффициент корреляции на рыхлой пашне составил 0,13, стандартная ошибка 38,4. На уплотненной пашне эти показатели были соответственно 0,43 и 35,4. Однако это не значит, что от снеготаяния величина стока не зависит. Средняя величина стока в многоснежные и малоснежные годы сильно различается. На рыхлой пашне в многоснежные годы она была 30 мм, а в малоснежные – 11 мм. На уплотненной пашне эти показатели были соответственно 45 и 20 мм, т. е. снеготаяния влияют на сток в значительной степени, но во взаимодействии с другими факторами: влажностью почвы и глубиной ее промерзания. Подобная закономерность прослеживается и по другим зонам.

Зависимость поверхностного стока от промерзания почвы следующая. Если почва таяя или замерзла на небольшую глубину (не более 50 см), то сток не образуется. При более глубоком промерзании образуется сток разной величины, не зависящий от дальнейшего его увеличения.

Автором [3] были обобщены и проанализированы многолетние собственные и литературные данные, характеризующие связь стока талых вод с рыхлой и уплотненной пашни с запасами воды в снеге и почве (в слое 0-50 см) перед снеготаянием, глубиной ее промерзания и продолжительностью снеготаяния на юге ЦРНЗ, в ЦЧО и Поволжье (прилож. Е, Ж, З, И, К). В результате были определены важнейшие природные факторы стока – снеготаяния, увлажнение и глубина промерзания почвы (интенсивность и продолжительность снеготаяния практически не влияют на величину стока талых вод) и открыт **закон лимитирующих факторов поверхностного стока талых вод.**

**Суть закона лимитирующих факторов состоит в том, что при некотором (лимитирующем) значении одного из них сток не**

**формируется независимо от уровня других.** Определены также максимальные значения факторов, при которых сток не образуется. Например, на юге ЦРНЗ, в ЦЧО и Поволжье, если почва талая или промерзла до глубины не более 50 см, стока не будет независимо от величины ее увлажнения и количества снеготпасов. Дальнейшее увеличение глубины промерзания почвы выше лимитирующей практически не влияет на величину стока, т. е. при любой глубине промерзания выше лимитирующей он формируется одинаково при одинаковых уровнях других факторов. Решающее воздействие на него в этом случае оказывают влагозапасы в почве и снеге. При увлажнении верхнего (0-50 см) слоя до 123 мм в ЦРНЗ и 70-95 мм в Нижнем Поволжье сток не формируется независимо от глубины промерзания почвы и снеготпасов (в данном случае лимитирующий фактор – увлажнение почвы). При снеготпасах, не превышающих объем свободных пор в слое почвы 0-30 см, сток также не формируется независимо от уровня увлажнения и глубины промерзания почвы.

При уровнях факторов свыше лимитирующих сток всегда формируется. Величина его в этом случае зависит от сочетания уровней факторов. Роль этих факторов неодинакова в разных природных зонах при различном антропогенном воздействии. На юге ЦРНЗ и севере ЦЧО наиболее мощный фактор формирования стока, как на зяби, так и на уплотненной пашне – увлажнение почвы, а на уплотненной пашне – снеготпасы. Такая закономерность объясняется особенностями почвенно-климатических условий формирования стока. На основе математического анализа результатов исследований разработаны модели формирования стока на разных типах почв (серые лесные, черноземы и каштановые), видах угодий (луг, пашня, залежь) и пашни (зять, озимые, многолетние травы и др.) (табл. 2). По этим материалам дана методика расчета стока при разных уровнях важнейших лимитирующих его природных факторов с учетом типов почв, видов угодий и пашни.

Было также рассмотрено и оценено влияние хозяйственной деятельности на гидрологические процессы, дана количественная оценка роли антропогенных факторов стока (противоэрозийных мероприятий, обработки почвы, севооборотов, посадки защитных лесных насаждений, создания гидротехнических сооружений, лугомелиорации и др.) на природные факторы и их совместное влияние на формирование стока.

Таким образом, факт отсутствия стока талых вод при уровнях природных факторов ниже лимитирующих установлен нами экспери-

ментально и теоретически на уровне фундаментального закона, т. е. выявлен генезис процесса и создана теория его формирования. Это послужило основой для создания методики высокоточного прогноза стока при этих условиях его формирования, а также для разработки высокоэффективных стокорегулирующих и противоэрозионных приемов путем воздействия на эти факторы.

Таблица 2

**Уравнения связи стока талых вод на рыхлой  $U_p$  и уплотненной  $U_n$  пашне с запасами воды в почве  $W_n$  и снеге  $W_c$ , мм**

Зона, область, почва	Рыхлая пашня	Уплотненная пашня
Лесостепь, Орловская, серая лесная	$U_p = -141 + 0,08W_n + 0,38W_c$ $R_{YpWnWc} = 0,93; M_{yx} = 12,4$	$U_n = -16,4 - 0,15W_n + 0,34W_c$ $R_{YnWnWc} = 0,81; M_{yx} = 13,3$
Лесостепь, Курская, серая лесная	$U_p = -57 + 0,34W_n + 0,26W_c$ $R_{YpWnWc} = 0,61; M_{yx} = 26,8$	Нет данных
типичный чернозем	$U_p = -50 + 0,25W_n + 0,25W_c$ $R_{YpWnWc} = 0,92; M_{yx} = 4,5$	$U_n = -116 + 0,71W_n + 0,41W_c$ $R_{YnWnWc} = 0,74; M_{yx} = 16,0$
Степь, Воронежская, обыкновенный чернозем	$U_p = -40 + 0,19W_n + 0,38W_c$ $R_{YpWnWc} = 0,54; M_{yx} = 21,5$	$U_n = -12 + 0,06W_n + 0,69W_c$ $R_{YnWnWc} = 0,91; M_{yx} = 6,8$
Степь, Самарская, обыкновенный чернозем	$U_p = -53 + 0,51W_n + 0,04W_c$ $R_{YpWnWc} = 0,48; M_{yx} = 8,4$	$U_n = -24 + 0,17W_n + 0,40W_c$ $R_{YnWnWc} = 0,92; M_{yx} = 7,0$
Сухая степь, Волгоградская, каштановая	$U_p = -27 + 0,38W_n + 0,29W_c$ $R_{YpWnWc} = 0,96; M_{yx} = 7,1$	$U_n = -4 + 0,19W_n + 1,14W_c$ $R_{YnWnWc} = 0,92; M_{yx} = 9,2$
светло-каштановая	$U_p = -5,2 + 0,04W_n + 0,44W_c$ $R_{YpWnWc} = 0,64; M_{yx} = 6,3$	$U_n = -21,9 + 0,26W_n + 0,22W_c$ $R_{YnWnWc} = 0,84; M_{yx} = 13,1$

При уровнях же факторов, превышающих лимитирующие, сток формируется на всех угодьях при любых условиях. Объем его связан только с влажностью верхнего слоя почвы и запасов воды в снеге. Генезис этого процесса недостаточно изучен и в литературе можно встретить разные подходы к его толкованию. Мы на основе регрессионного анализа результатов исследований в годы, когда сток формировался, разработали статистические модели расчета его величины на разных типах почв и агрофонов [3]. В общем виде связь стока с этими природными факторами выражается уравнением

$$U = a + b_1x_1 + b_2x_2,$$

где  $x_1$  – запасы воды в почве,  $x_2$  – снеготзапасы.

По уравнению связи процесс формирования стока двухфакторный, а по сути процесса – однофакторный, так как водопоглощение

мерзлой почвой обуславливается запасами влаги в ней. Зная то, что объем стока является разницей между снеготалыми запасами и величиной впитывания талой воды в мерзлую почву, можно утверждать, что впитывающая способность почвы полностью обуславливается ее влажностью, вернее дефицитом влажности. В зональном плане эта связь проявляется по-разному. Эти уравнения при расчетах стока дают относительно хорошую сходимость, но репрезентативность их недостаточна.

Статистический подход не полностью подходит для решения задачи прогнозирования стока. Нужна теоретическая основа его формирования при уровнях природных факторов выше лимитирующих на базе знания генезиса гидрологического процесса. Для этого необходимо знать процесс впитывания талой воды в мерзлую почву с точки зрения обмена теплом между впитывающей водой и почвой, т. е. выявить закономерности взаимодействия талой воды с мерзлой почвой.

Этот процесс исследовался с позиций теплофизического взаимодействия талой воды с мерзлой почвой многими учеными [15-18, 20, 21, 23 и др.]. Наибольший интерес в этом плане представляет разработка Е. А. Гаршинова [10]. Исследуя процесс взаимодействия талой воды и мерзлой почвы, он сформулировал концепцию "ледяного экрана", по которой на границе между оттаявшим и мерзлым слоем создается ледяная прослойка и просачивание воды в почву осуществляется путем "термоинfiltrации".

Нами сформулировано положение: мерзлая почва способна впитать и удерживать талую воду, количество которой потенциально может быть равно объему свободных пор оттаявшего сверху слоя, т. е. свободная порозность обуславливает объем поглощения талой воды в почву [3]. Нами экспериментально установлено, что почва за весь период снеготаяния в разных природных зонах и по годам успевает оттаивать за весь период паводка на небольшую глубину – от 3 до 30 см. Таким образом, водопоглощение в мерзлую почву определяется самым верхним слоем. Это означает, что количество впитавшейся талой воды максимально может быть равно объему свободных пор этого слоя почвы небольшой мощности.

Таким образом, при уровнях природных факторов выше лимитирующих всегда создаются условия для формирования весеннего стока и количество его зависит от запасов воды в снеге и верхнем слое (0-30 см) почвы. Этот слой при оттаивании увлажняется до полной влагоемкости. В нем может поглотиться количество талой воды, равное объему сво-

бодных пор (разницы между полной влагоемкостью и фактическими запасами воды), который в свою очередь зависит от запасов влаги в нем. Объем стока зависит от снеготаяния и объема свободных пор.

Общая схема взаимодействия талой воды с мерзлой почвой иллюстрируется на рис. 1. В исходном состоянии перед снеготаянием часть пор в мерзлой почве занята влагой, а остальные свободны. Когда начинается процесс снеготаяния, талая вода, имея положительную температуру, поступает на поверхность почвы, которая оттаивает за счет ее тепла, при этом заполняются свободные поры. Между оттаявшим и мерзлым слоями образуется ледяной экран. По мере дополнительного поступления воды и тепла, протаивания почвы и опускания ледяного экрана свободные поры над ним заполняются до уровня полной влагоемкости, т. е. этот процесс продолжается в виде термоинфильтрации. На каждом этапе количество впитавшейся воды в оттаявшем слое выше ледяного экрана, равно объему свободных пор или дефициту влажности – разности между полной влагоемкостью и фактическими запасами. Как указывалось выше [3], к концу снеготаяния максимальная глубина оттаивания почвы бывает не более 30 см.

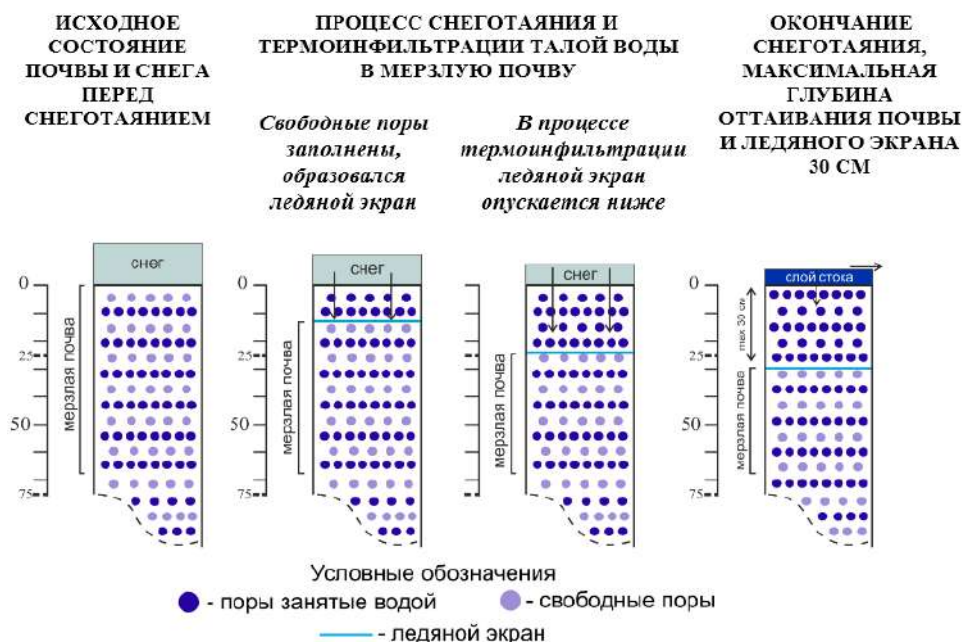


Рис. 1. Схема поглощения (термоинфильтрации) талой воды в мерзлую почву

Общий объем водопоглощения за период снеготаяния равен объему свободных пор этого слоя. Если запасы снеговой воды больше этого



объема, то излишки ее стекают, т. е. из них формируется поверхностный сток талых вод. На основе изложенного автором предложен новый способ расчета стока ( $U$ , мм) для условий, когда природные факторы стока выше лимитирующего уровня: глубина промерзания больше 50 см, запасы влаги в почве больше 70-120 см (по природным зонам).

На этой основе нами разработан новый способ расчета поверхностного стока талых вод при глубине промерзания почвы глубже 50 см. Величина его определяется объемом свободных пор в слое почвы 0-30 см  $V_{сп}$  и снегозапасами  $W_c$ , и может быть рассчитана по уравнению  $U = W_c - V_{сп}$ . Объем свободных пор равен разнице между общей порозностью  $V_{оп}$  и запасами воды в почве  $W_{ф}$ :  $V_{сп} = V_{оп} - W_{ф}$ . Таким образом, величина стока рассчитывается по уравнению:  $U = W_c - (V_{оп} - W_{ф})$ .

#### 4. МЕТОДИКА ПРОГНОЗА ВЕЛИЧИНЫ (ОБЪЕМА) ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ТАЛЫХ ВОД НА ВОДОСБОРНЫХ БАССЕЙНАХ

4.1. Алгоритм прогноза поверхностного стока талых вод в зависимости от уровня природных факторов приведен в табл. 3.

Таблица 3

##### Алгоритм прогноза поверхностного стока талых вод в зависимости от уровня природных факторов

Уровень факторов			Характер формирования стока
глубина промерзания почвы, см	запас воды в почве (слой 0-50 см), мм	снегозапасы, мм	
Меньше 50	Любой	Любой	Сток не формируется
Больше 50	Меньше 70-120 (по зонам)	Любой	Сток не формируется
	Больше 70-120 (по зонам)	Меньше объема свободных пор в слое почвы 0-30 см	Сток не формируется Сток формируется, величина его зависит от уровня запасов воды в снеге и почве

4.2. Сначала анализируются данные по глубине промерзания почвы на водосборе. Если почва талая или промерзла на глубину до 50 см, то поверхностный сток талых вод на сельскохозяйственных и лесных угодьях не сформируется. Если почва промерзла на глубину свыше 50 см, то сток сформируется обязательно и величина его будет зависеть от запасов воды в снеге и почве (в слое 0-30 см). Уровень глубины промерзания почвы свыше лимитирующего на величину стока не влияет.

4.3. При глубине промерзания почвы свыше 50 см анализируются данные по запасам влаги в верхнем (0-50 см) слое почвы. Если они в лесостепной зоне ниже 120 мм, а в степной и полупустынной зонах ниже 70 мм, то сток не формируется. Затем анализируются запасы воды в снеге. Если они меньше объема свободных пор в слое почвы 0-30 см, то сток не формируется.

4.4. При уровнях факторов выше лимитирующих, т. е. при глубине промерзания почвы свыше 50 см, запасах влаги в слое почвы 0-50 см выше 70-120 мм (по зонам), а в снеге – выше объема свободных пор в слое почвы 0-30 см сток сформируется и величина (объем) его будет зависеть только от запасов воды в снеге и почве. При этих условиях величина поверхностного стока талых вод с водосбора ( $Y$ , мм) рассчитывается по выражению

$$Y = \left( \sum_1^n Y_i \cdot S_i / \sum_1^n S_i \right) - Y_{нэм}, \quad (17)$$

где  $Y_i$  – сток с  $i$ -того агрофона, мм, рассчитывается по уравнениям (см. таблицу 2);  $S_i$  – площадь  $i$ -того агрофона, га;  $Y_{нэм}$  – стокорегулирующий эффект от применения системы противоэрозионных мероприятий: противоэрозионная организация территории, лесомелиоративные, агротехнические и гидротехнические приемы, мм. Этот параметр применяется только в том случае, если на водосборе осуществлена полная система мероприятий.

4.5. В связи с тем, что в настоящее время нет многолетних экспериментальных данных, характеризующих влияние природных факторов на формирование поверхностного стока в лесной зоне на дерново-подзолистых и других почвах, для расчета стока в бассейнах верхней Волги, Вятки и Камы можно использовать уравнения, рекомендованные для серых лесных почв лесостепной зоны. Это допущение приведет к снижению точности, но не в сильной степени. В будущем необходимо провести экспериментальные исследования в этой зоне и получить научно обоснованные уравнения.

4.6. Статистический подход не всегда позволяет получить высокоточный прогноз поверхностного стока талых вод. Для этого предлагается способ прогноза стока на теоретической (генетической) основе по следующему уравнению:

$$Y = W_c - \left[ \left( 1 - \frac{d_v}{d} \right) * 100 \right] * h * 10 - W_n,$$

где  $W_c$  – запасы воды в снеге, мм;  $W_n$  – запасы воды в почве, мм;  $h$  – мощность почвенного слоя, м;  $d_v$  – объемная масса почвы, г/см<sup>3</sup>;  $d$  – удельная масса почвы, г/см<sup>3</sup>

## **5. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ**

Для практической реализации методики прогноза поверхностного стока в бассейнах Волги и Дона необходимо проводить мониторинг за природными факторами, влияющими на формирование стока. В настоящее время проводятся наблюдения за снегозапасами, глубиной промерзания и влажностью почвы на метеостанциях и постах гидрометслужбы, в ряде научно-исследовательских институтов. Они работают по разным методикам и получают разные по качеству материалы. Необходимо скоординировать их работу и выработать единую методику сбора материала.

Необходимо проводить мониторинг за природными факторами, влияющими на формирование стока: запасами воды в снеге, глубиной промерзания, влажностью, удельной и объемной массой, порозностью почвы и гидрометеорологическими условиями погоды.

В ФНЦ агроэкологии РАН проводится подробный мониторинг указанных природных факторов только в трех пунктах бассейна Волги: в Орловской обл. (серая лесная почва лесостепи), в Самарской обл. (обыкновенный чернозем степи) и в Волгоградской обл. (светлокаштановая почва сухой степи). На перспективу для более широкого охвата территории бассейнов Волги и Камы наблюдениями за природными факторами стока необходимо создать дополнительно к имеющимся в опытной сети ФНЦ агроэкологии РАН 9 новых пунктов мониторинга за природными факторами стока (рис. 2, прилож. Л). Места размещения пунктов мониторинга природных факторов стока определялись на основе классификации условий формирования стока по природным зонам с учетом типов почв, характера растительного покрова, гидрометеорологических и климатических условий, характера снегоотложения и др. Регионы обслуживания сгруппированы по близким условиям формирования поверхностного стока талых вод. Кроме того, в Камском бассейне и в верховьях Волги (лесная зона) необходимо проводить исследования по оценке влияния природных факторов на формирование поверхностного стока с целью выявления закономерностей.



Рис. 2. Схема размещения пунктов мониторинга за природными факторами весеннего стока в Волжско-Камском бассейне

Для более широкого охвата территории бассейнов Волги и Дона наблюдениями за природными факторами стока потребуется дополнительно проводить их в следующих пунктах:

- в Волжско-Камском бассейне – Саратов, Казань, Нижний Новгород, Рыбинск, Ижевск, Пермь, Уфа, Киров;
- в Донском бассейне – Ростов, Ст. Оскол, Воронеж (можно в Каменной степи), Липецк, Тула.

Кроме того, в Камском бассейне и в верховьях Волги (лесная зона) необходимо проводить исследования по оценке влияния природных факторов на формирование поверхностного стока с целью выявления закономерностей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аполлов Б. А., Калинин Г. П., Комаров В. Д. Курс гидрологических прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 420 с.
2. Барабанов А.Т. Закономерности формирования поверхностного стока талых вод, его прогноз и регулирование // Известия Оренбург. аграр. ун-та. – 2012. – № 1(33). – С. 65-68.
3. Барабанов А. Т. Эрозионно-гидрологическая оценка взаимодействия природных и антропогенных факторов формирования поверхностного стока талых вод и адаптивно-ландшафтное земледелие. – Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2017. – 188 с.
4. Барабанов А. Т. Петелько А. И. Прогнозирование поверхностного стока талых вод с сельскохозяйственных угодий в лесостепной части бассейна Волги // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование, 2018. – № 4(52). – С 1-7 DOI 10.32786/2071-9485-2018-04-5.
5. Басов Г. Ф., Грищенко М. Н. Гидрологическая роль лесных полос. – М.: Гослесбумиздат, 1963. – 201 с.
6. Бураков Д. А., Литвинова О. С. Водно-балансовые зависимости для прогноза стока талых вод на юге Западно-Сибирской равнины // География и природные ресурсы. – 2010. – № 3. – С. 111-120.
7. Водогрещкий В. Е., Зайцева Э. А., Елфимова Л. В. Склоновый сток и его изменение под влиянием агротехнических и лесомелиоративных мероприятий // Вопросы влияния хозяйственной деятельности на водные ресурсы и водный режим: тр. ГГИ. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – Вып. 206. – С. 53-60.
8. Гагаринова О. В. Ландшафтно-гидрологические закономерности формирования стока в бассейне озера Байкал // География и природные ресурсы. – 2012. – № 3. – С. 55-60.
9. Гаршинев Е. А. О влиянии уклона на поверхностный сток // Науч. тр. ВАСХНИЛ. – М.: Колос, 1977. – С. 56-65.
10. Гаршинев Е. А. Эрозионно-гидрологический процесс и лесомелиорация: Теория и модели. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1999. – 196 с.
11. Гельфан А. Н. Динамико-статистическое моделирование формирования талого стока. – М.: Наука, 2007. – 280 с.
12. Двинских С. А., Китаев А. Б., Михайлов А. В. Наводнения на реках бассейна Камы и организация защиты от них // География и природные ресурсы. – 2010. – № 4. – С. 74-79.

13. Демидов В. В. Закономерности эрозии почв лесостепной зоны при снеготаянии как научная основа системы почвозащитных и природоохран-ных мероприятий: автореф. дис. ... д. б. н. – М., 2000. – 47 с.
14. Долгов С. В., Коронкевич Н. И., Барабанова Е. А. Современные изменения поверхностного стока и инфильтрации талых вод на сельскохозяй-ственных угодьях в лесостепной и степной зонах Русской равнины и их по-следствия // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2018. – № 4. – С. 78-91.
15. Калюжный И. Л., Павлова К. К., Лавров С. А. Физическое моде-лирование процессов миграции влаги при промерзании почв // Метеороло-гия и гидрология. – 1984. – № 1. – С. 71-85.
16. 12 Калюжный И. Л., Лавров С. А. Гидрофизические процессы на водосборе: Экспериментальные исследования и моделирование. – СПб.: Нестор-История, 2012. – 616 с.
17. Комаров В. Д. Весенний сток равнинных рек европейской части СССР, условия его формирования и методы прогнозов. – М: Гидрометео-издат, 1959. – 295 с.
18. Комаров В. Д., Макарова Т. Т. Исследование влияния глубины про-мерзания почвы и других факторов на талый сток рек степной и лесостепной зон // Метеорология и гидрология. – 1972. – № 8. – С. 67-74.
19. Комплексные исследования состояния и почвозащитные мероприя-тия на агроландшафтах / Е. В. Полуэктов [и др.] // Научный журнал Россий-ского НИИ проблем мелиорации. – 2013. – № 4(12). – С. 1-14.
20. Коронкевич Н. И., Георгиади А. Г., Ясинский С. В. О гидрологи-ческих изменениях // Вопросы географии. – 2018. – № 145. – С. 739-744.
21. Кучмент Л. С. Модели процессов формирования речного стока. – Л: Гидрометеоиздат, 1980. – 143 с.
22. Львович М. И. Человек и воды. – М.: Географиздат, 1963. – 567 с.
23. Мотовилов Ю. Г. Численное моделирование процесса инфильт-рации воды в мерзлую почву // Метеорология и гидрология. – 1977. – № 9. – С. 67-75.
24. Методические указания по оценке влияния хозяйственной дея-тельности на сток средних и больших рек и восстановлению его характе-ристик. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 130 с.
25. Методические рекомендации по определению расчетных гидро-логических характеристик при наличии данных гидрометрических наблю-дений ГГИ. – СПб., 2005. – 103 с.
26. Мухин В. М. Методы прогнозирования притока воды в водохра-нилища за период весеннего половодья // Труды Гидрометцентра России. Гидрометеорологические прогнозы. – 2014. – Вып. 351. – С. 108-140.
27. Небольсин С. И., Надев П. А. Элементарный поверхностный сток. – М. – Л.: Гидрометеоиздат. – 1937. – 64 с.

28. Оценка влияния изменений климата на водный режим и сток рек бассейна Волги / Н. И. Алексеевский [и др.] // Вода: химия и экология. – 2013. – № 4. – С. 3-12.

29. Петелько А. И., Панов В. И. Характеристика поверхностного стока талых вод с разных угодий за 50 лет // Вестник АПК Ставрополя. – 2014. – № 4(16). – С. 155-162.

30. Полуэктов Е. В. Эрозия почв на Дону и меры борьбы с ней. – Ростов н/Д: Изд-во Ростовского университета, 1984. – 161 с.

31. Пьянков С. А., Азизов З. К. Механика грунтов // Методические указания к лабораторным работам. – Ульяновск, 2003. – 31 с.

32. Пат. № 2347222 А01В13/16, G01N33/24 Способ прогнозирования поверхностного стока талых вод / Барабанов А. Т. (РФ), Гаршинев Е. А. (РФ), Кулик К. Н. (РФ); заявитель ГНУ ВНИАЛМИ. – № 2009126879/12; заявл. 24.07.2006; опубл. 20.02.2009, Бюл. № 5. – 3 с.

33. Сурмач Г. П. Прогнозирование стока талых вод с черноземных и каштановых почв // Вестник с.-х. науки. – 1969. – № 12. – С. 53-56.

34. Сурмач Г. П. Водная эрозия и борьба с ней. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 254 с.

35. Сурмач Г. П., Ломакин М. М., Шестакова А. П. Прогнозирование стока талых вод // Земледелие. – 1989. – № 4. – С. 29-31.

36. Сухановский Ю. П. Вероятностный подход к расчету эрозионных потерь почвы // Почвоведение. – 2013. – № 4. – С. 474.

37. Сухарев И. П., Сухарева Е. М. Пруды Центрально-Черноземной полосы. – Воронеж: Воронежское кн. изд-во, 1957. – 213 с.

38. Теплофизический метод расчета потерь талых вод на инфильтрацию в мерзлую почву / И. Л. Калюжный [и др.] // Метеорология и гидрология. – 1981. – № 1. – С. 76-82.

39. Урбанова О. Н., Семанов Д. А. Методика расчета наполнения прудов для прогнозирования безопасного пропуска весеннего половодья // Там же. – № 4. – С. 144-148.

40. Чеботарев А. И., Харченко С. И. О влиянии зяблевой вспашки на сток // Труды ГГИ. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – Вып. 82. – С. 34-49.

41. Шабаев А. И. Избранные труды. Эрозия почв и адаптивно-ландшафтное земледелие. – Саратов: ФГБНУ "НИИСХЮВ", 2017. – 648 с.

42. Шеппель П. А. Специальный весенний попуск паводковых вод Волги. – Волгоград: Нижне-Волжское кн. изд-во, 1990. – 191 с.



**Средние показатели поверхностного стока талых вод и запасов  
снеговой воды на серых лесных почвах лесостепи, Орловская обл.**

Год	Сток, мм	Запас снеговой воды, мм	Коэффициент стока	Сток, мм	Запас снего- вой воды, мм	Коэффициент стока
	рыхлая пашня			уплотненная пашня		
1	2	3	4	5	6	7
1959	108	146	0,74	106	135	0,78
1960	81	136	0,60	117	150	0,78
1961	7	32	0,22	12	22	0,54
1962	13	22	0,59	21	23	0,91
1963	61	116	0,53	71	115	0,62
1964	58	121	0,48	91	113	0,80
1965	51	70	0,73	46	60	0,77
1966	4	77	0,05	3	105	0,03
1967	146	186	0,78	186	186	1,00
1968	0	169	0	26	145	0,18
1969	24	66	0,36	51	80	0,64
1970	83	192	0,43	94	221	0,42
1971	79	129	0,61	39	81	0,48
1972	15	56	0,27	15	56	0,27
1973	29	62	0,47	31	53	0,59
1974	29	50	0,58	44	49	0,89
1975	0	86	0	0	89	0
1976	0	137	0	3	160	0,02
1977	12	138	0,09	20	149	0,41
1978	0	91	0	20	177	0,11
1979	37	128	0,29	45	135	0,33
1980	29	135	0,21	42	153	0,27
1981	0	162	0	15	132	0,11
1982	2	100	0,02	5	100	0,05
1983	2	97	0,02	27	91	0,29
1984	12	41	0,29	18	67	0,27
1985	0	128	0	2	119	0,02
1986	33	77	0,43	36	175	0,48
1987	27	149	0,18	40	160	0,25
1988	21	118	0,18	42	123	0,34
1989	0	55	0	0	52	0
1990	23	44	0,51	25	49	0,51
1991	34	84	0,40	52	89	0,58
1992	0	88	0	0	85	0
1993	17	42	0,40	14	45	0,31

1	2	3	4	5	6	7
1994	40	139	0,29	50	142	0,35
1995	0	114	0	4	118	0,03
1996	29	81	0,36	26	89	0,29
1997	1	56	0,02	26	71	0,37
1998	0	48	0	-	-	-
1999	0	144	0	-	-	-
2000	0	57	0	-	-	-
2001	0	81	0	-	-	-
2002	0	58	0	-	-	-
2003	46	96	0,48	71	152	0,47
2004	0	86	0	0	97	0
2005	0	115	0	0	115	0
2006	0	137	0	0	111	0
2007	0	79	0	0	62	0
2008	0	76	0	0	83	0
2009	0	97	0	0	102	0
2010	0	106	0	0	100	0
2011	0	122	0	0	107	0
2012	0	86	0	0	78	0
2013	0	122	0	0	144	0
2014	0	26	0	0	25	0
2015	0	43	0	0	42	0
2016	0	53	0	0	65	0
Среднее	20	96	0,21	30	103	0,29

*Примечание. При обобщении использовались данные, приведенные в работах Г. П. Сурмача, Е. А. Гаришинова, А. Т. Барабанова, Н. Е. Петелько, А. И. Петелько, Е. Я. Тубольцева, В. А. Ивановой, О. В. Богачёвой, В. П. Борца.*

**Средние показатели поверхностного стока и запасов снеговой воды  
на обыкновенных черноземах в степи Воронежской обл.**

Год	Сток, мм	Запас сне- говой во- ды, мм	Коэффициент стока	Сток, мм	Запас сне- говой во- ды, мм	Коэффициент стока
	рыхлая пашня			уплотненная пашня		
1	2	3	4	5	6	7
1948	22	71	0,31	-	-	-
1949	2	85	0,02	38	88	0,29
1950	2	57	0,04	9	53	0,17
1951	3	62	0,05	31	109	0,28
1952	48	103	0,47	76	104	0,73
1953	68	106	0,64	92	108	0,85
1954	1	21	0,05	13	47	0,28
1955	73	162	0,45	109	162	0,67
1956	4	74	0,05	100	154	0,65
1957	97	119	0,82	97	119	0,82
1958	6	90	0,07	74	106	0,70
1959	1	43	0,02	54	111	0,49
1960	5	16	0,31	29	60	0,48
1961	0	(63)	0	40	63	0,64
1962	2	48	0,04	25	74	0,34
1963	60	137	0,44	101	120	0,84
1964	1	134	0,01	85	151	0,56
1965	6	57	0,11	14	39	0,36
1966	0	67	0	51	-	-
1967	0	147	0	21	-	-
1968	13	32	0,41	84	133	0,63
1969	0	0	0	36	89	0,40
1970	3	43	0,08	(95)	-	-
1971	14	26	0,53	19	34	0,56
1972	0	46	0	(0)	-	-
1973	0	26	0	(10)	-	-
1974	24	45	0,53	-	-	-
1975	0	58	0	(7)	-	-
1976	0	-	-	(10)	-	-
1977	2	-	-	(41)	-	-
1978	-	-	-	(40)	-	-
1979	-	-	-	37	-	-
1980	-	-	-	117	-	-
1981	-	-	-	11	-	-

1	2	3	4	5	6	7
1989	0	-	0	0	-	0
1992	0	-	0	0	-	0
1995	0	-	0	0	-	0
1998	0	-	0	-	-	-
1999	0	-	0	-	-	-
2000	0	-	0	-	-	-
2001	0	-	0	-	-	-
2002	0	-	0	-	-	-
2004	0	-	0	0	-	0
2005	0	-	0	0	-	0
2006	0	-	0	0	-	0
2007	0	-	0	0	-	0
2008	0	-	0	0	-	0
2009	0	-	0	0	-	0
2010	0	-	0	0	-	0
2011	0	-	0	0	-	0
2012	0	-	0	0	-	0
2013	0	-	0	0	-	0
2014	0	-	0	0	-	0
2015	0	-	0	0	-	0
2016	0	-	0	0	-	0
Среднее	9	70	0,13	32	96	0,33

*Примечание. В таблице приведены материалы наблюдений научно-исследовательской гидрометеорологической обсерватории Каменная степь (вып. 1-23 за 1951-1986 гг.) В остальные годы указаны показатели, полученные путем установления корреляционных связей.*

**Средние показатели поверхностного стока и запасов снеговой воды  
на обыкновенных черноземах в степи Самарской обл.**

Год	Сток, мм	Запас сне- говой во- ды, мм	Коэффициент стока	Сток, мм	Запас снего- вой воды, мм	Коэффициент стока
	рыхлая пашня			уплотненная пашня		
1	2	3	4	5	6	7
1959	0	65	0	32	278	0,12
1960	0	78	0	53	137	0,39
1961	0	68	0	27	120	0,23
1962	0	51	0	11	65	0,17
1963	0	104	0	12	138	0,09
1964	34	170	0,20	58	140	0,41
1965	2	93	0,02	49	135	0,36
1966	27	136	0,20	50	188	0,27
1967	0	51	0	18	110	0,16
1968	24	109	0,22	81	189	0,43
1969	0	58	0	6	74	0,08
1970	16	98	0,16	86	117	0,74
1971	5	45	0,11	44	74	0,59
1972	1	123	0,01	26	98	0,27
1973	8	52	0,15	54	111	0,49
1974	12	106	0,11	65	103	0,60
1975	0	66	0	37	81	0,46
1976	0	114	0	15	79	0,19
1977	1	70	0,01	43	139	0,31
1978	11	112	0,10	30	145	0,21
1979	32	199	0,16	127	164	0,77
1980	17	165	0,10	56	142	0,39
1981	9	154	0,06	50	123	0,41
1982	3	57	0,05	65	87	0,75
1983	8	110	0,08	55	103	0,53
1984	0	114	0	26	97	0,27
1985	52	167	0,31	88	123	0,72
1986	13	154	0,08	75	112	0,67
1987	3	228	0,01	42	214	0,20
1988	54	181	0,30	98	116	0,84
1989	0	192	0	17	185	0,09
1990	14	131	0,11	54	137	0,39
1991	12	113	0,11	60	118	0,54
1992	0	141	0	23	137	0,17

1	2	3	4	5	6	7
1993	0	118	0	7	110	0,06
1994	4	115	0,03	27	138	0,20
1995	0	128	0	-	-	-
1996	0	131	0	-	-	-
1997	40	195	0,20	-	-	-
1998	0	207	0	-	-	-
1999	0	157	0	-	-	-
2000	0	154	0	-	-	-
2001	0	134	0	30	142	0,21
2002	0	128	0	0	117	0
2003	0	134	0	0	154	0
2004	0	124	0	0	102	0
2005	12	112	0,10	41	154	0,27
2006	0	78	0	19	84	0,23
2007	0	91	0	0	109	0
2008	0	121	0	0	139	0
2009	0	50	0	0	63	0
2010	0	112	0	-	-	-
2011	0	128	0	0	126	0
2012	0	148	0	0	137	0
2013	0	129	0	0	138	0
2014	0	115	0	0	182	0
2015	0	98	0	0	162	0
2016	0	105	0	0	174	0
Среднее	7	117	0,06	36	128	0,28

*Примечание. При обобщении использованы материалы исследований Г. С. Боброва, В. И. Панова, И. И. Гункина, Ф. А. Абдульманова, А. В. Лапчук.*

**Средние показатели поверхностного стока талых вод и запасов снеговой воды на каштановых и темно-каштановых почвах в степи Волгоградской обл.**

Год	Сток, мм	Запас снего- вой воды, мм	Коэффициент стока	Сток, мм	Запас снего- вой воды, мм	Коэффициент стока
	рыхлая пашня			уплотненная пашня		
1	2	3	4	5	6	7
<i>Камышинский р-н, каштановая почва</i>						
1946	7	-	-	32	60	0,53
1947	2	77	0,03	38	79	0,48
1948	13	50	0,26	38	62	0,61
1949	0	31	0	5	57	0,07
1950	0	-	0	14	-	-
1951	3	-	-	30	-	-
1952	0	-	0	20	-	-
1953	0	-	0	20	-	-
1954	0	-	0	14	-	-
1955	5	-	-	30	-	-
1956	12	-	-	30	-	-
1957	27	-	-	75	-	-
1958	7	-	-	28	-	-
1959	0	-	0	20	-	-
1960	4	90	0,04	47	80	0,59
1961	2	46	0,04	23	50	0,46
1962	4	37	0,11	19	47	0,40
1963	4	85	0,05	88	107	0,82
1964	1	61	0,02	12	71	0,17
1965	10	-	-	30	-	-
1966	0	-	-	9	-	-
1967	0	108	0	0	99	0
1968	0	122	0	1	109	0,01
1969	17	52	0,33	30	50	0,60
1970	21	115	0,18	70	108	0,65
1971	30	52	0,58	45	62	0,73
1972	0	14	0	0	21	0
1973	0	-	0	0	-	0
1974	4	47	0,09	2	67	0,03
1975	1	92	0,01	2	92	0,02
1976	0	-	0	50	-	-
1977	1	51	0,02	-	-	-
1978	5	49	0,10	-	-	-
1979	11	106	0,10	-	-	-
1980	2	64	0,03	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7
1981	6	23	0,26	-	-	-
1982	3	49	0,06	8	47	0,17
1983	29	52	0,56	45	54	0,82
1984	0	18	0	2	28	0,11
1985	0	(65)	0	19	65	0,29
1986	38	54	0,71	45	71	0,63
1987	0	159	0	17	152	0,11
1988	21	47	0,45	32	81	0,40
1989	4	87	0,09	12	49	0,24
1990	19	40	0,48	33	40	0,83
1991	-	-	-	11	48	0,21
1992	0	44	0	0	42	0
1993	0	22	0	0	26	0
<i>Клетский р-н, темно-каштановая почва</i>						
1996	0	48	0	0	48	0
1997	0	19	0	0	19	0
1998	0	35	0	0	35	0
1999	-	-	-	10	27	0,37
2000	0	31	0	0	31	0
2001	0	17	0	0	17	0
2002	0	29	0	0	29	0
2003	-	-	-	26	80	0,30
2004	0	-	0	0	-	0
2005	0	28	0	0	(28)	0
2006	0	43	0	0	(43)	0
2007	0	51	0	0	(51)	0
2008	0	22	0	0	(22)	0
2009	0	(23)	0	0	23	0
2010	0	14	0	0	(14)	0
2011	0	10	0	0	(10)	0
2012	0	55	0	0	(55)	0
2013	0	14	0	0	(14)	0
2014	0	25	0	0	(25)	0
2015	0	21	0	0	(21)	0
2016	0	(10)	0	0	(10)	0
Среднее	5	50	0,10	17	52	0,33

*Примечание. При обобщении использованы материалы А. Т. Барабанова, В. И. Антонова, А. И. Узolina, В. П. Борца, Н. М. Пынзря. В скобках указаны показатели, полученные путем установления корреляционных связей.*



**Средние показатели снеготазпасов и поверхностного стока талых вод  
на светло-каштановой почве Волгоградской обл.**

Год	Сток, мм	Запас снего- вой воды, мм	Коэффициент стока	Сток, мм	Запас снего- вой воды, мм	Коэффициент стока
	рыхлая пашня			уплотненная пашня		
1	3	2	4	6	5	7
1950	0	35	0	12	45	0,27
1951	22	31	0,70	-	-	-
1952	4	101	0,04	-	-	-
1953	0	28	0	-	-	-
1954	0	55	0	-	-	-
1955	0	22	0	-	-	-
1956	26	55	0,47	-	-	-
1957	4	26	0,15	25	40	0,63
1958	8	47	0,16	25	40	0,63
1959	0	93	0	51	92	0,55
1960	0	16	0	10	16	0,62
1961	0	21	0	13	18	0,73
1962	1	74	0,02	34	77	0,44
1963	36	92	0,39	76	137	0,55
1964	2	61	0,03	27	74	0,36
1965	4	31	0,14	25	41	0,61
1966	0	15	0	7	15	0,47
1967	0	143	0	0	189	0
1968	16	44	0,36	30	150	0,20
1969	0	11	0	3	17	0,18
1970	7	129	0,05	36	136	0,26
1971	1	75	0,01	33	85	0,39
1972	0	22	0	0	23	0
1973	0	89	0	2	96	0,02
1974	0	41	0	5	49	0,10
1975	1	20	0,05	7	27	0,26
1976	0	26	0	7	36	0,19
1977	5	54	0,09	43	124	0,35
1978	13	17	0,76	35	73	0,48
1979	45	147	0,31	58	164	0,35
1980	0	41	0	10	63	0,16
1981	0	0	0	0	0	0
1982	0	17	0	-	-	-
1983	0	0	0	0	0	0
1984	0	0	0	0	0	0

1	3	2	4	6	5	7
1985	0	39	0	-	-	-
1986	6	30	0,20	7	32	0,22
1987	0	99	0	0	98	0
1988	5	44	0,11	21	27	0,84
1989	3	25	0,12	39	45	0,87
1990	0	38	0	5	47	0,11
1991	0	22	0	0	17	0
1992	0	39	0	0	42	0
1993	0	17	0	0	14	0
1994	13	55	0,23	58	64	0,90
1995	0	52	0	0	58	0
1996	0	79	0	0	70	0
1997	0	60	0	0	60	0
1998	0	10	0	0	37	0
1999	-	-	-	10	27	0,37
2000	0	21	0	0	24	0
2001	0	14	0	-	-	-
2002	0	219	0	-	-	-
2003	3	50	0,06	11	35	0,31
2004	1	26	0,04	12	32	0,37
2005	0	18	0	0	19	0
2006	0	78	0	-	-	-
2007	0	5	0	-	-	-
2008	0	31	0	-	-	-
2009	0	44	0	0	31	0
2010	0	89	0	2	58	0,03
2011	0	15	0	-	-	-
2012	0	70	0	-	-	-
2013	0	41	0	-	-	-
2014	0	88	0	-	-	-
2015	0	43	0	0	78	0
2016	0	8	0	0	10	0
Среднее	3	47	0,06	15	55	0,27

*Примечание. При обобщении были использованы материалы Г. П. Сурмача, А. Т. Барабанова, В. П. Борца, И. Г. Зыкова, Ю. В. Бондаренко, В. М. Ивонина.*

Приложение Е

**Показатели стока талых вод и факторов, обуславливающих его формирование на серых лесных почвах лесостепи, Орловская обл.**

Год	Сток, мм		Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, см	Продолжительность снеготаяния, сут.	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, см	Продолжительность снеготаяния, сут.	
	2	3	4	5				6	7			8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
	рыхлая пашня						уплотненная пашня					
	<i>Годы без стока</i>											
1966	0	157	108	0	18	1	189	101	10	20		
1968	0	123	150	29	11	0	124	161	8	11		
1975	0	154	86	30	14	-	-	-	-	14		
1976	0	123	113	130	8	-	-	-	-	-		
1977	2	132	114	30	22	0	172	174	45	22		
1978	0	201	177	45	29	0	163	194	50	29		
1980	0	153	158	30	13	0	152	153	35	13		
1981	0	172	104	38	18	0	233	122	0	18		
1982	0	184	101	50	23	-	-	-	-	-		
1983	0	166	111	40	13	-	-	-	-	-		
1984	3	129	51	120	18	-	-	-	-	-		
1985	0	173	120	10	10	2	166	113	10	10		
1989	0	168	41	0	11	-	-	-	-	-		
1992	0	169	88	17	14	0	167	85	17	14		
1995	0	240	114	25	20	0	165	121	25	20		
1997	1	247	55	45	8	-	-	-	-	-		
1998	0	197	48	20	10	-	-	-	-	-		
1999	0	178	144	0	28	-	-	-	-	-		

Продолжение прилож. Е

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2000	0	166	57	20	21	-	-	-	-	-
2001	0	210	80	0-5	24	-	-	-	-	-
2002	0	185	58	8	26	-	-	-	-	-
2004	0	220	86	5-20	6	0	258	97	20	6
2005	0	166	115	1-12	15	0	196	115	26	15
2006	0	205	137	51	8	-	-	-	-	-
2007	0	201	79	0	15	-	-	-	-	-
2008	0	184	76	25	9	-	-	-	-	-
2009	0	209	97	22	-	-	-	-	-	-
2010	0	192	89	35	35	-	-	-	-	-
2011	0	156	122	0	15	-	-	-	-	-
2012	0	160	86	18	9	-	-	-	-	-
2013	0	171	123	22	10	-	-	-	-	-
2014	0	203	35	0-19	5	-	-	-	-	-
2015	0	172	58	18	-	-	-	-	-	-
<i>Годы со стоком</i>										
1964	52	151	211	60	10	-	-	-	-	-
1967	150	248	196	76	20	55	156	127	80	20
1969	22	175	52	182	23	46	173	77	165	23
1970	82	183	191	137	23	96	171	203	75	23
1971	52	165	154	100	18	42	188	74	100	18
1972	22	166	60	160	22	15	157	37	100	22
1973	31	190	70	97	11	38	168	63	100	11
1974	50	193	64	124	3	44	216	49	104	3
1979	41	174	137	68	23	64	167	132	80	23

Окончание прилож. Е

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1986	32	175	80	110	11	25	180	77	110	11
1987	33	152	153	69	14	42	118	149	69	14
1988	21	137	118	60	10	29	161	132	60	10
1990	21	190	44	68	5	-	-	-	-	-
1991	34	172	84	84	13	52	214	90	84	13
1993	17	174	42	83	12	14	151	45	83	12
1994	37	156	136	68	14	50	269	142	68	14
1996	29	164	81	80	15	25	153	89	80	15
2003	26	208	96	52	17	71	230	152	110	17

Примечание. При обобщении использовались данные, приведенные в работах Г. П. Сурмача, Е. А. Гаршинёва, А. Т. Ба-  
рабанова, Н. Е. Петелько, А. И. Петелько, Е. Я. Тубольцева, В. А. Ивановой, О. В. Богачёвой, В. П. Борца.

**Показатели стока с рыхлой и уплотненной пашни  
и обуславливающих его факторов  
на обыкновенных черноземах Воронежской обл.**

Год	Сток, мм	Фактор			
		запас воды, мм		глубина промерзания почвы, см	продолжительность снеготаяния, сут.
		в почве (0-50 см)	в снеге		
<i>Рыхлая пашня</i>					
1952	68	166	81	70	21
1953	58	195	109	60	15
1954	4	188	27	100	16
1956	6	111	130	60	16
1968	35	143	120	50	12
1969	9	188	26	100	17
1981	11	188	78	40	7
1982	2	213	34	42	3
1983	9	175	42	46	5
1984	9	218	41	50	12
1985	24	211	101	40	12
<i>Уплотненная пашня</i>					
1953	92	178	112	80	13
1954	3	101	18	50	16
1956	70	94	133	60	20
1959	46	148	56	55	17
1964	84	169	116	64	15
1965	30	168	36	64	11
1969	15	149	23	72	29
1980	44	181	64	70	7

*Примечание. В таблице приведены материалы наблюдений научно-исследовательской гидрометеорологической обсерватории Каменная степь (вып. 1-23 за 1951-1986 гг.).*

**Показатели стока с рыхлой пашни и факторов, обуславливающих его формирование на обыкновенных черноземах, Самарская обл.**

Год	Сток, мм	Фактор		
		запас воды, мм		глубина промерзания почвы, см
		в почве (0-50 см)	в снеге	
<i>Годы без стока</i>				
1960	0	177	57	-
1961	0	124	62	60
1962	0	147	30	70
1969	0	101	49	150
1972	0	96	124	150
1975	0	107	73	87
2000	0	99	154	31
2001	0	108	134	25
2002	0	116	128	15
2003	0	107	134	37
2004	0	-	124	28
2006	0	104	78	75
2007	0	77	91	34
2008	0	105	121	24
2009	0	108	50	48
2010	0	130	112	63
2011	0	152	128	0
2012	0	187	148	29
2013	0	195	129	42
2014	0	170	115	43
2015	0	166	98	27
2016	0	193	105	38
<i>Годы со стоком</i>				
1968	22	111	70	150
1970	8	120	73	150
1971	5	116	48	150
1973	6	113	54	80

Приложение И  
Показатели стока талых вод и факторов, обуславливающих его формирование на каштановых почвах степи, Волгоградская обл.

Годы	Сток, мм		Запас воды, мм		Глубина промерзания поч-вы, см	Продолжи-тельность снеготая-ния, сут.	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерза-ния почвы, см	Продолжитель-ность снеготая-ния, сут.
	2	3	4	5				6	7		
рыхлая пашня											
уплотненная пашня											
Годы без стока											
1967	0	61	108	0	0	-	0	49	99	0	-
1968	0	47	124	5	5	15	0	46	111	5	15
1972	0	77	14	150	150	-	0	85	21	150	-
1973	0	50	44	83	83	-	-	-	-	-	-
1984	0	66	17	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	0	70	141	33	33	15	-	-	-	-	-
2001	0	89	17	26	26	6	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	0	51	29	20	9
2005	0	75	28	42	42	15	-	-	-	-	-
2006	-	-	-	-	-	-	0	181	43	33	12
2007	0	95	91	30	30	14	-	-	-	-	-
2008	-	-	-	-	-	-	0	91	22	24	9
2010	-	-	-	-	-	-	0	230	14	50	14
2011	0	219	10	37	37	8	-	-	-	-	-
2012	-	-	-	-	-	-	0	250	55	15	13
2013	0	216	14	22	22	10	-	-	-	-	-
2014	-	-	-	-	-	-	0	219	25	38	17
2015	0	230	21	25	25	4	-	-	-	-	-
2016	-	-	-	-	-	-	0	224	10	24	6



Продолжение прилож. И

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1969	17	74	52	150	-	31	67	48	150	-
1971	31	101	73	110	-	45	128	61	83	-
1982	5	87	55	-	-	-	-	-	-	-
1983	15	83	40	-	-	-	-	-	-	-
1985	20	71	66	-	-	-	-	-	-	-
1986	36	-	71	-	26	-	-	-	-	-
1988	21	88	47	56	31	-	-	-	-	-
1989	4	-	47	65	12	-	-	-	-	-
1990	19	92	40	57	3	-	-	-	-	-
2003	25	119	80	65	13	-	-	-	-	-

Примечание. При обобщении использованы материалы А. Т. Барабанова, В. И. Антонова, А. И. Узолина, В. П. Борца, Н. М. Пынзая.

Показатели стока талых вод и факторов, обуславливающих его формирование на светло-каштановых почвах степи, Волгоградская обл.

Год	Сток, мм		Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, см	Продолжительность снеготаяния, сут.	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, см	Продолжительность снеготаяния, сут.
	2	3	в почве	в снеге				в почве	в снеге		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
рыхлая пашня											
уплотненная пашня											
Годы без стока											
1966	0	57	7	0	12	-	-	-	-	-	-
1967	0	119	155	0	20	0	98	189	15	20	20
1969	0	99	15	189	2	-	-	-	-	-	-
1971	0	71	76	100	8	-	-	-	-	-	-
1972	0	94	28	160	3	0	83	23	160	3	3
1973	0	66	45	0	12	0	74	90	0	12	12
1974	0	70	48	0	6	-	-	-	-	-	-
1981	0	-	0	20	0	-	-	-	-	-	-
1982	0	90	17	0	2	-	-	-	-	-	-
1983	0	87	0	30	0	-	-	-	-	-	-
1984	0	64	0	40	0	-	-	-	-	-	-
1985	0	205	39	20	12	0	-	39	17	12	12
1986	0	223	31	30	15	0	-	32	30	15	15
1987	0	73	99	10	2	0	87	96	20	20	20
1988	0	115	44	40	8	-	-	-	-	-	-
1989	0	213	25	40	5	-	-	-	-	-	-
1990	0	64	31	35	8	-	-	-	-	-	-
1991	0	105	22	42	4	-	-	-	-	-	-

Продолжение прилож. К

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1992	0	73	39	10	2	0	104	41	20	2
1993	0	120	17	80	5	0	73	14	80	5
1995	0	120	70	10	5	0	91	75	10	5
1996	0	131	54	20	4	0	86	59	20	4
1997	0	111	90	0	7	-	-	-	-	-
1998	0	140	10	55	3	-	-	-	-	-
2000	0	78	21	0	2	0	75	24	0	2
2001	0	86	14	0	2	-	-	-	-	-
2002	0	59	0	0	7	-	-	-	-	-
2005	0	81	18	12	6	0	85	19	12	6
2006	0	78	78	100	8	-	-	-	-	-
2007	0	98	5	35	2	-	-	-	-	-
2008	0	127	31	15	4	-	-	-	-	-
2009	0	124	44	10	9	0	104	31	15	9
2010	0	150	89	20	12	0	245	72	20	12
2012	0	91	70	12	6	0	105	108	5	6
2013	0	114	41	20	3	0	112	69	10	3
2014	0	168	88	25	3	0	127	101	20	3
Годы со стоком										
1964	1	52	32	70	10	-	-	-	-	-
1965	4	46	31	52	5	-	-	-	-	-
1968	16	122	60	100	8	35	124	151	100	8
1969	-	-	-	-	-	3	72	19	150	2
1971	-	-	-	-	-	33	120	85	115	8
1991	-	-	-	-	-	4	89	17	61	4
1994	13	159	55	60	6	58	159	64	70	6

Окончание прилож. К

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1999						10	115	25	55	7
2003	3	145	50	90	16	11	148	35	95	16
2004	1	160	26	60	4	12	131	32	60	4
2011	15	112	42	112	4	23	77	70	75	4

*Примечание. При обобщении были использованы материалы Г. П. Сурмача, А. Т. Барабанова, В. П. Борца, И. Г. Зыкова, Ю. В. Бондаренко, В. М. Ивонина.*

Приложение Л  
Размещение пунктов мониторинга за природными факторами весеннего стока и регионы обслуживания

Место размещения пунктов	Регион обслуживания (область, республика)	Краткая почвенно-климатическая характеристика			
		природная зона	почвы	осадки, мм	высота снега, см
1	2	3	4	5	6
<i>Существующие пункты мониторинга</i>					
Мценск Орловской обл.	Орловская	Лесостепь	Серые лесные – 28 %, черноземы оподзоленные – 13 %, черноземы выщелоченные – 40 %	500	40-50
Самара	Самарская	Север области находится в лесостепной зоне, юг в степной	Почвенный покров лесостепной зоны представлен в основном выщелоченными и типичными черноземами – 73,3 %, степная зона – обыкновенные и южные черноземы	372	35-75
Волгоград	Волгоградская	Степная	Черноземы – 22 %, каштановые – 44 %	270-400	13-22
<i>Планируемые к созданию пункты мониторинга</i>					
Киров	Кировская	Северная часть области – подзона средней тайги, центральная – подзона южной тайги; южная – зона смешанных хвойно-широколиственных лесов	Подзолистые – 6,4 %, дерново-подзолистые – 52 %, подзолы – 15 %	500-680	40-60
Тверь	Тверская	Область в лесной зоне, в подзоне южной тайги, переходящей в широколиственные леса на северо-западе	Дерново-подзолистые – 70 %	650	23
	Московская	Смешанные и широколиственные леса	Дерново-подзолистые – 70 %, подзолы – 8,6 %, серые лесные – 6,1 %	500-700	45-50

Продолжение прилож. Л

1	2	3	4	5	6
Тверь	Ярославская	В природной зоне тайги, в подзоне южно-таежных еловых лесов	Дерново-подзолистые – 75 %, пойменные кислые – 8 %	500-600	30-50
	Костромская	Таежно-лесная зона, подзона южной тайги	Подзолистые – 6 %, дерново-подзолистые – 80 %, пойменные кислые – 10 %.	550-600	25-40
	Владимирская	Смешанный лес (тайга)	Дерново-подзолистые 60 %, светло-серые лесные 6,1 %, серые лесные 5,5 %, пойменные кислые – 12 %.	550-600	55
Пермь	Пермская	Юг региона занят смешанными лесами с лесостепью, северная часть края занята таежными хвойными лесами	Дерново-подзолистые 38,8 %, подзолистые 22,8 %	410-650	80-90
		Тайга (северная часть), смешанные леса (центр и юго-запад) и лесостепь (центр и юго-восток области)	Дерново-подзолистые – 43 %, серые лесные – 13 %	600-650	70-80
Казань	Удмуртия	Южная тайга/смешанные леса	Дерново-подзолистые – 70 %, серые лесные – 14 %	500-600	70
	Татарстан	Лесная и степная	Серые лесные – 44 %, черноземы выщелоченные – 25 %	460-520	35-45
	Чувашия	Лесостепная и лесная природные зоны	Дерново-подзолистые – 28 %, светло-серые лесные – 8 %, серые лесные – 30 %, черноземы выщелоченные – 15 %	500	30-40
Уфа	Башкортостан	Лесная, лесостепная, степная, горно-лесная и горно-лесостепная	Серые лесные – 27 %, темно-серые лесные – 10 %, черноземы выщелоченные – 15 %, черноземы типичные – 10 %	400-500	60-70

Окончание прилож. Л1

1	2	3	4	5	6
Тула	Тульская	Зона смешанных и широколиственных лесов	Серые лесные 26%, черноземы выщелоченные – 27%, черноземы оподзоленные – 20%.	575	30-40
	Рязанская	Северная часть относится к зоне смешанных хвойно-широколиственных лесов, среднерослых лесов, самые южные районы – к лесостепной зоне	Дерново-подзолистые – 21%, подзолы – 8,5%, серые лесные – 12%, темно-серые лесные – 13%, черноземы оподзоленные – 13%	550	30-50
Тамбов	Калужская	Смешанный лес (тайга)	Дерново-подзолистые – 70%, серые лесные – 12%	690-800	40
	Орловская	Лесостепь	Серые лесные – 28%, черноземы оподзоленные – 13%, черноземы выщелоченные – 40%	500	40-50
	Тамбовская	Лесостепь	Дерново-подзолистые – 9%, черноземы выщелоченные – 21%, черноземы типичные – 23%, лугово-черноземные – 31%	450-550	17-37
	Пензенская	На стыке лесной, лесостепной и степной природных зон	Дерново-подзолистые – 9%, черноземы выщелоченные – 21%, черноземы типичные – 23%, лугово-черноземные – 31%	450-550	17-37
Ульяновск	Самарская	Север области находится в лесостепной зоне, юг в степной	Почвенный покров лесостепной зоны представлен в основном выщелоченными и типичными черноземами – 73,3%, степная зона – обыкновенные и южные черноземы	372	35-75
	Ульяновская	Лесостепь	Выщелоченными и типичными черноземами – 73,3%, остальные степная зона – обыкновенные и южные черноземы	372	35-75

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b> .....	355
<b>1. Общие положения</b> .....	360
1.1. Назначение методики.....	360
1.2. Область применения.....	361
1.3. Нормативные ссылки.....	361
1.4. Термины и определения.....	333
1.5. Принятые условные обозначения.....	355
<b>2. Исходные данные</b> .....	366
<b>3. Закономерности формирования поверхностного стока. Количественная связь между стоком и природными факторами</b> .....	372
3.1. Анализ материалов по оценке связи поверхностного стока с природными факторами.....	372
3.2. Закономерности формирования поверхностного стока талых вод	384
3.2.1. Общая характеристика поверхностного стока талых вод с разных сельскохозяйственных угодий.....	384
3.2.2. Зависимость поверхностного стока талых вод от природных факторов. Закон лимитирующих факторов стока.....	387
<b>4. Методика прогноза поверхностного стока талых вод в бассейнах Волги и Дона</b> .....	393
<b>5. Практическая реализация методики</b> .....	395
<b>Литература</b> .....	397
<b>Приложения</b> .....	400



---

---

**А. Т. Барабанов, А. В. Кулик, О. А. Гордиенко**

**МОНОГРАФИЯ**

**НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ  
ВЫБОРА КРИТЕРИЕВ И ПАРАМЕТРОВ  
ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
СИСТЕМЫ МЕРОПРИЯТИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ  
ЭРОЗИОННО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ**

Волгоград \*ФНЦ агроэкологии РАН\*2020

УДК 631.6.02

**Барабанов А. Т., Кулик А. В., Гордиенко О. А.** Научное обоснование выбора критериев и параметров для проектирования и оценки эффективности мероприятий и приемов управления эрозионно-гидрологическим процессом (монография). – Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2020. – 100 с.

В работе приводятся нормативы и критерии проектирования и оценки стокорегулирующей и противозэрозийной эффективности системы мероприятий по управлению эрозионно-гидрологическим процессом и режимом весеннего паводка; дано обоснование критериев управления эрозионно-гидрологическим процессом; созданы модели для расчета эрозионно-гидрологических характеристик стокорегулирующих лесополос; приводятся критерии оценки ветроломной роли лесополос, оценки инфильтрации влаги в почву и стокорегулирующей роли лесополос, расчета стока и смыва почвы и расстояний между стокорегулирующими лесными полосами; даются параметры оптимизации формирования системы стокорегулирующих лесных полос; рассматриваются критерии и параметры размещения и оценки эффективности агротехнических, лесомелиоративных, гидротехнических, лугомелиоративных противозэрозийных мероприятий.

**Barabanov A. T., Kulik A. V. Gordienko O. A.** Scientific justification of the selection of criteria and parameters for designing and evaluating the effectiveness of measures and techniques for managing the erosion-hydrological process. – Volgograd: FSC of Agroecology RAS, 2020. – 100 p.

The paper presents the standards and criteria for the design and evaluation storage-erouxel and erosion of the effectiveness of measures to manage erosion and hydrological process and the regime of spring floods; the substantiation of criteria for the control of erosion and hydrological process; created models for calculation of erosion and hydrologic characteristics storehouse belts; provides evaluation criteria verolomno the role of shelterbelts, evaluating the infiltration of moisture into the soil and storehouse the role of shelterbelts, the calculation of runoff and soil loss and the distance between stateregulation forest strips, are the optimization parameters of formation of the system stateregulated forest belts; discusses the criteria and parameters for the placement and evaluation of the effectiveness of agricultural, agro forestry, hydraulic engineering, legalization erosion control measures.

Рецензенты: **В. В. Бородычев**, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, профессор; **П. Н. Проездов**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

ISBN 978-5-6044587-4-7

©Барабанов А. Т., Кулик А. В., Гордиенко О. А. 2020  
© ФНЦ агроэкологии РАН, 2020

## **ВВЕДЕНИЕ**

Разработка системы противоэрозионных мероприятий должна осуществляться на основе знания закономерностей формирования поверхностного стока талых вод. Эта проблема является фундаментальной, очень актуальной и до сих пор нерешенной. Для ее решения необходимо выявить закономерности формирования стока под влиянием природных и антропогенных факторов и определить пути использования этих разработок в прикладной науке и практике. Конкретной задачей является проведение анализа и обобщение результатов собственных исследований, литературных данных и фондовых материалов, характеризующих связь поверхностного стока с природными (снегозапасы, глубина промерзания, влажность почвы и др.) и антропогенными (обработка почвы, лесополосы, агротехнологии, гидротехника и др.) факторами. Задача создания системы мероприятий по управлению эрозионно-гидрологическим процессом и режимом весеннего паводка довольно сложная. Она может быть решена усилиями различных специалистов на междисциплинарном уровне. Для ее решения необходимо научное обоснование критериев оценки стокорегулирующей и противоэрозионной эффективности системы мероприятий по управлению эрозионно-гидрологическим процессом, предназначенных для ее проектирования.

В рассматриваемой работе в основу идеологии почвозащитного обустройства водосборов положен адаптивно-ландшафтный принцип (подход). При этом целью ставится стабилизация структурно-функциональных свойств ландшафта путем адаптации (приспособления хозяйственной деятельности, в т. ч. в земледелии: структуры посевных площадей, севооборотов, технологии выращивания сельскохозяйственных растений, их требовательности к условиям среды обитания и т. п.) к этим свойствам, тем самым обеспечивая максимальное приближение агроландшафтов к состоянию, характерному для естественных (девственных в доземледельческую эпоху) ландшафтов.

Вопрос о методах эрозионно-гидрологических исследований имеет большое значение. В гидрологии сейчас широко распространены два главных направления: статистический и генетический. В на-

ших исследованиях и при анализе материалов мы использовали эти методы. Статистические методы применялись для оценки поверхностного стока с сельскохозяйственных угодий разной вероятности превышения, выявления стокорегулирующей, противоэрозионной и агрономической эффективности различных приемов, элементов противоэрозионного комплекса и их сочетаний и др. При этом получаем сравнительную интегральную оценку приемов, но нам неизвестно почему один прием эффективнее другого, как он влияет на показатели его эффективности и на какие рычаги воздействовать, чтобы совершенствовать приемы. Генетический подход мы использовали при изучении закономерности формирования стока и эрозии. Дело в том, что характер формирования стока, процессов смыва – главных показателей оценки антропогенного воздействия на них – обусловлен многими природными факторами (снегозапасы, характер увлажнения и промерзания почвы, погодные условия и др.) и хозяйственной деятельностью людей, действующими в совокупности. Антропогенное воздействие на эрозионно-гидрологические процессы и сельскохозяйственные культуры осуществляется через эти факторы. Нам важно знать не только цену того или иного воздействия, а и как, через какие факторы и показатели оно происходит. А это позволяет научиться управлять процессами, разрабатывать новые приемы борьбы с эрозией почв.

## **1. КРАТКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ МЕРОПРИЯТИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ЭРОЗИОННО- ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ**

Деградация и опустынивание сельскохозяйственных земель в России обусловлены в основном нерациональной антропогенной деятельностью. Приоритетной целью применяемой в настоящее время системы земледелия является получение максимального количества продукции, а защита почв от деградации и опустынивания отодвигается на второй план. Современные системы земледелия (в частности, паровая), интенсифицируемые за счет насыщения ресурсами, обеспечивают высокую продуктивность сельхозкультур ценой снижения почвенного плодородия вследствие эрозии, дефляции и дегумификации почв [34]. Они не имеют необходимой почвозащитной направленности. Не осуществляется почвозащитная организация территории, не выделяются смытые земли под почвозащитные (травопольные) севообороты и постоянное залужение. В ограниченных объемах выполняются противоэрозионные агротехнические и лугомелиоративные мероприятия, не создаются защитные лесные насаждения, а устройство простых и сложных гидротехнических сооружений у вершин оврагов без применения комплекса противоэрозионных мероприятий на водосборе приводит к неоправданным затратам труда и средств, а в ряде случаев к усилению эрозионных процессов.

Нерациональное ведение сельского хозяйства привело к изменениям в почвенном покрове, обусловленные ее обработкой: разрушение почвенной структуры, ухудшение водно-физических и химических свойств, в том числе резкое снижение гумуса. Это привело к интенсификации эрозионных процессов, что в свою очередь обусловило изменения водного баланса в ландшафте, ухудшение влагообеспеченности и в итоге уменьшение биопродуктивности фитомассы и увеличение деградации природной среды [34].

В целях предупреждения процессов деградации предлагается концепция адаптивно-ландшафтного природопользования, направленного на стабилизацию функционирования ландшафта путем адаптации

сельскохозяйственной деятельности: структуры посевных площадей, севооборотов, технологий выращивания сельхозкультур с учетом их требовательности к условиям среды.

Для решения проблемы защиты почв от деградации необходим адаптивно-ландшафтный подход к системе земледелия [23]. Для этого нужно пересмотреть идеологию систем земледелия. На первое место необходимо ставить природоохранный принцип природопользования. Адаптивно-ландшафтное земледелие – это сельскохозяйственная деятельность, при которой максимально учитываются особенности природных и антропогенных ландшафтов, требовательность сельскохозяйственных культур к условиям произрастания, оптимально реализуется ресурсный потенциал, каждый земельный участок используется с учетом его агроэкологической оценки. Целью адаптивно-ландшафтного земледелия является создание таких условий, при которых сохранялись бы природные ландшафты, улучшались агроландшафты и восстанавливались деградированные земли [6]. Адаптивно-ландшафтный принцип предполагает неистощительный характер использования земли, предотвращающий деградацию почв, растительности, животного мира и в целом среды обитания человека.

Для разработки таких систем земледелия необходимо знание закономерностей эрозионно-гидрологического процесса и роли природных и антропогенных факторов в его формировании. Наиболее важные природные факторы эрозии почв являются: рельеф местности, геологическое строение, особенности почвенного покрова, климатические факторы и др. Рельеф местности является важнейшим условием, определяющим адаптивно-ландшафтное обустройство территории и систему защиты почв от эрозии. От геологического строения территории и литологического состава пород в значительной степени зависит интенсивность эрозии, особенно оврагообразование. Наиболее подвержены размыву лёссовидные суглинки и лёссы. Поэтому интенсивное оврагообразование происходит в районах, где залегают мощные толщи лёссов и лёссовидных суглинков, а также глин. Интенсивность эрозии зависит также от противоэрозионной устойчивости почв, их химических и водно-физических свойств и механического состава. Более тяжелые почвы лучше противостоят смыву и размыву. Наиболее податливы смыву при наличии стока песчаные и супесчаные почвы из-за слабой связности их частиц. Наиболее устойчивыми в противоэрозионном отношении являются выщелоченные и типичные черноземы. Растительный покров яв-

ляется мощным фактором защиты почв от эрозии. Климат влияет на эрозионные процессы через природные факторы, определяющие характер формирования стока талых и ливневых вод. Очень сильное влияние на смыв почвы оказывает снежный покров. В зависимости от характера снегоотложения на ветроударных и снегозаносимых склонах почва в разной степени подвергается эрозии. Из-за меньшей мощности снега на нижележащих участках ветроударных склонов и более высокой интенсивности снеготаяния нижние отрезки склонов обычно раньше освобождаются от снега, поэтому на них усиливается смыв почвы из-за поступающей сверху воды.

В силу того обстоятельства, что рельеф территории является ведущим фактором в проявлении эрозии, то рельефообразованию всегда уделялось большое внимание как у нас в стране так и за рубежом. Первые наиболее серьезные попытки исследовать склоновый сток и рельефообразование связаны с деятельностью экспедиции В. В. Докучаева в южных районах России, главным образом в Каменной Степи [7]. Ему принадлежит попытка теоретического рассмотрения вопросов рельефообразования на равнине в части, касающейся генезиса гидрографической сети (перехода оврагов в балки, а балок в речные долины).

Выдающийся вклад в разработку теории рельефообразования и эрозионно-гидрологического процесса принадлежит А. С. Козменко [20], Г. П. Сурмачу [36], Е. А. Гаршинева [15] в период их деятельности во Всесоюзном (затем Всероссийском) научно-исследовательском институте агролесомелиорации (ныне ФНЦ агроэкологии РАН).

Они создали стройную схему рельефообразования и формирования лёссов в ходе четвертичных эрозионно-аккумулятивных циклов, обусловленных наступлением-таянием ледников на Русской равнине [20, 36], и уточнили условия формирования эрозионно-аккумулятивных форм рельефа [15], что позволяет объяснить механизм эрозии, аккумуляции и закономерности залегания лёссовых пород. С учетом их исследований и современных разработок можно считать, что теоретической основой рельефообразования является учение об эрозионно-гидрологическом и эрозионно-аккумулятивном процессах.

Гидрологический и эрозионный процессы в совокупности составляют понятие эрозионно-гидрологического процесса – очень сложного явления, протекающего под воздействием природных и антропогенных факторов [15]. При его исследовании гидрологический и эрозионно-аккумулятивный процессы рассматриваются как взаимо-

связанные и взаимообусловленные совокупности (имеющие прямые и обратные связи). При нерациональном ведении сельскохозяйственного производства (интенсивное земледелие, чрезмерный выпас скота) уменьшается противоэрозионная устойчивость и инфильтрационная способность почвы, приводящие к увеличению слоя и интенсивности склонового стока. Эрозионно-аккумулятивный процесс усиливается и приводит к уменьшению мощности гумусового горизонта и содержания гумуса и ухудшению водно-физических и химических свойств почвы, снижению плодородия в целом [34].

Во ВНИАЛМИ на протяжении многих лет разрабатывалась технология адаптивно-ландшафтного обустройства территории. Она строится на комплексном подходе к разработке системы мероприятий на всем водосборном бассейне на основе новейших достижений науки. Для защиты почвы от эрозии необходимо знание закономерностей формирования поверхностного стока, процессов смыва и размыва, инфильтрационной способности почв, особенностей характера впитывания воды в мерзлые и талые грунты и др.

Полученные многолетние материалы наблюдений и обобщение литературных данных позволили построить теоретические кривые вероятности превышения стока талых вод на рыхлой и уплотненной пашне, которые хорошо аппроксимируют эмпирические точки исследуемых рядов наблюдений, вычислить показатели стока разной вероятности превышения и стокорегулирующий эффект зяби. Они показывают, что на рыхлой пашне поверхностный сток формируется в лесостепи 5-6 лет в десятилетие, а на уплотненной пашне – 7-8 лет из 10-ти и величина его значительно больше. В степной зоне сток формируется на рыхлой пашне 3-4 года в десятилетие, а в сухостепной – 1-2 года. На уплотненной пашне эти показатели были 7-8 лет из десяти. Величины стока разной вероятности превышения уменьшаются при движении с севера на юг и юго-восток, а разница в стоке на рыхлой и уплотненной пашне увеличивается. Такая тенденция наблюдается и при анализе величин стока по годам. Однако, в отдельные годы наблюдается инверсия стока, когда в лесостепной зоне он не формируется или бывает меньше, чем в степной и полупустынной зонах, где он значительный. Это указывает на то, что на формирование стока мощное воздействие оказывают природные факторы, особенно глубина промерзания, влажность почвы и снеготпасы, которые формируются в разных зонах под влиянием различных климатических условий, изменяющихся по годам.



Анализ этих данных показал, что средние величины стока с уплотненной пашни при движении от серых лесных почв (лесостепь) до светло-каштановых почв (сухая степь) снижаются от 30 до 15 мм. На зяби темпы снижения значительно ниже.

Ход динамики стока в исследуемые периоды показывает, что величины его как на рыхлой, так и на уплотненной пашне колеблются в значительной степени во всех зонах, и отмечается резкое снижение его в последние два десятилетия. Это связано с тем, что почва перед весенним снеготаянием почти все эти годы в лесостепной и степной зонах Русской равнины была талая или промерзала на небольшую (до 50 см) глубину.

Наши многолетние исследования закономерностей формирования поверхностного стока талых вод в лесостепной, степной и полупустынной зонах и обобщение литературных данных по влиянию природных факторов на поверхностный сток позволили сформулировать и обосновать закон лимитирующих факторов поверхностного стока талых вод [3-4, 6]. Он формулируется так: при некотором минимальном значении одного из трех лимитирующих факторов (снегозапасы, глубина промерзания и влажность почвы) поверхностный сток талых вод не формируется независимо от уровня двух других. Определены максимальные значения лимитирующих факторов, при которых сток не формируется. На юге Центрального района Нечерноземной зоны (ЦРНЗ), в Центрально Черноземных областях (ЦЧО) и Поволжье, если почва талая или промерзла до глубины не более 50 см, стока не бывает независимо от уровня ее увлажнения и снегозапасов. Дальнейшее увеличение глубины промерзания почвы выше лимитирующего уровня не влияет на величину стока. При увлажнении верхнего (0-50 см) слоя почвы до уровня менее 120-130 мм на юге ЦРНЗ и 70-95 мм в Нижнем Поволжье сток не формируется независимо от глубины промерзания почвы и снегозапасов. При уровнях факторов выше лимитирующих сток формируется всегда и зависит он только от запасов воды в снеге и в почве. Глубина промерзания почвы напрямую зависит от наличия и высоты снежного и травянистого покрова, лесной подстилки, а также суммы отрицательных температур холодного периода [4-5, 21]. Увлажненность верхнего 0-30-сантиметрового слоя почвы является одним из основных факторов, влияющих на формирование поверхностного стока талых вод при глубине промерзания выше 50 см. От влажности почвы также зависит характер промерзания почвы (ее льдистость).

Предотвратить глубокое промерзание почвы в холодные зимы повсеместно невозможно. Регулируя характер снегоотложения, можно добиться предохранения почвы от промерзания полосно, что будет способствовать хорошему водопоглощению.

Таким образом, в результате предыдущих многолетних исследований установлены закономерности формирования поверхностного стока талых вод при уровнях факторов ниже лимитирующих, т. е. выявлен генезис процесса и создана теория его формирования.

Это позволяет разработать высокоэффективные мероприятия по управлению эрозионно-гидрологическим процессом, воздействуя на эти факторы. При уровнях факторов выше лимитирующих на основе математического анализа результатов исследований разработаны статистические модели формирования стока на разных типах почв (серые лесные, черноземы, каштановые и светло-каштановые), видах угодий (пашня, луг, залежь) и пашни (зябрь, озимые, многолетние травы и др.). Они при расчетах стока дают довольно близкую сходимость, но репрезентативность их недостаточна.

Важную роль в этом играет характер снегоотложения. Были выявлены закономерности снегоотложения на склонах, характер замерзания, оттаивания и увлажнения почвы, определены главные факторы, влияющие на эти процессы, определена доля каждого из них и дана им количественная оценка. Это в свою очередь, позволило определить на какие природные и антропогенные факторы и чем нужно воздействовать, чтобы управлять эрозионно-гидрологическим процессом. К природным факторам гидрологического процесса относятся: глубина промерзания почвы, влажность почвы, запасы воды в снеге. На эрозионный процесс влияет много природных факторов: рельеф (крутизна, длина склона и др.), растительность, свойства почвы, экспозиция склонов, облесенность территории величина, характер формирования стока и многие другие. К антропогенным факторам эрозионно-гидрологического процесса относится хозяйственная (в основном сельскохозяйственная) деятельность. Причем антропогенные факторы влияют как отрицательно, так и положительно. К факторам, оказывающим положительное влияние, относится система мероприятий по управлению эрозионно-гидрологическим процессом.

Основными элементами адаптивно-ландшафтной системы земледелия является почвозащитная организация землепользования и создание агролесомелиоративного экологического каркаса, которые преду-

смаатривают: классификацию земель по характеру их использования; выделение на водосборах севооборотных массивов; определение схем севооборотов; и размещения полей; определение места стокорегулирующих лесополос на местности; назначение агротехнологий, гидротехнических и лугомелиоративных мероприятий.

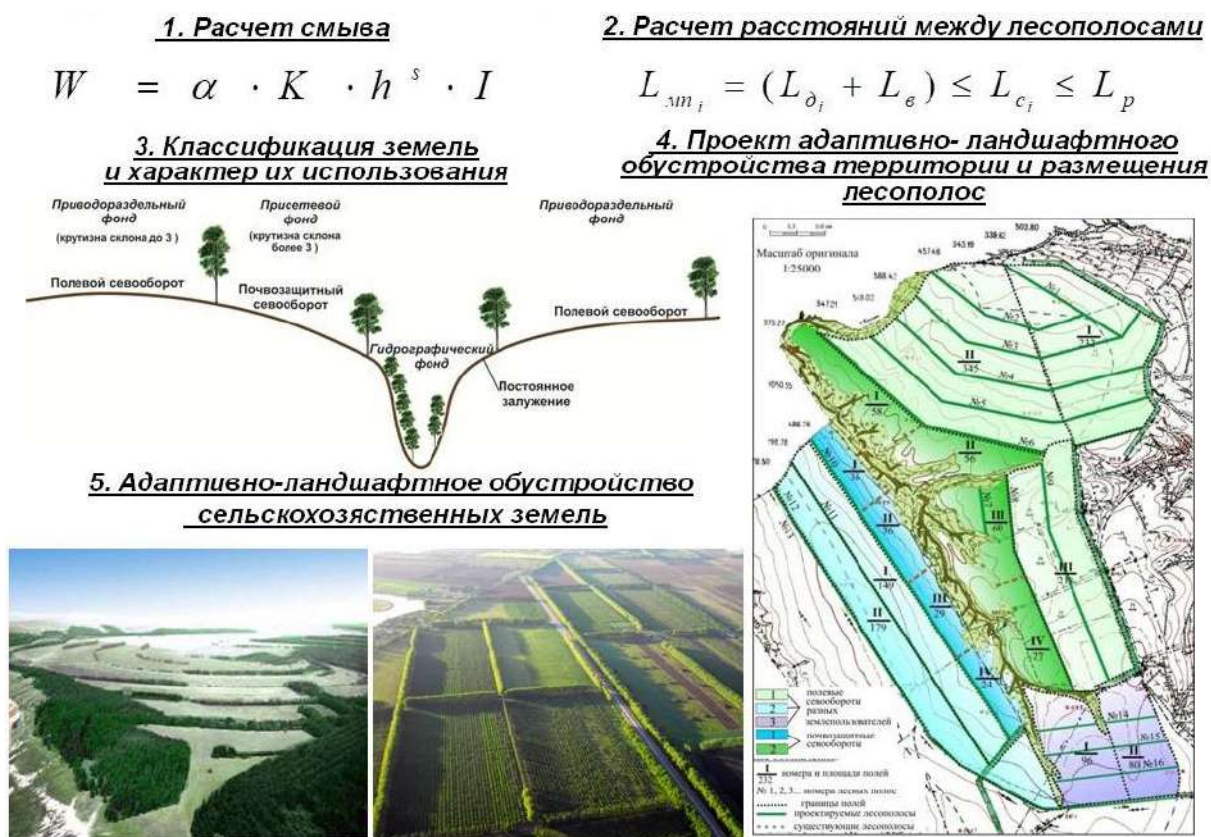


Рис. 1. Технология адаптивно-ландшафтного обустройства территории и создания агролесомелиоративного экологического каркаса

При классификации земель надо исходить из того, что в результате формирования рельефа и под влиянием различных природных, факторов и хозяйственной деятельности людей на водосборных бассейнах сложились различные условия. В верхней части склонов небольшой крутизны интенсивность смыва небольшая (1-2 т/га), но сток бывает большой. На нижерасположенных более крутых участках склонов (круче 2-3°) интенсивно смывается почва. В гидрографической сети протекают процессы оврагообразования и смыва. Поэтому использовать эти земли необходимо дифференцированно. Для определения характера их использования учитываются закономерности

эрозионно-гидрологических процессов, степень смывости почв, требовательность сельскохозяйственных культур к условиям произрастания, их почвозащитная роль и др. При такой организации территории создаются благоприятные условия для регулирования стока, защиты почв от эрозии и эффективного использования сельскохозяйственных земель с учетом разнообразия агроэкологических условий.

Одновременно с противоэрозионной организацией территории предусматривается создание агролесомелиоративного экологического каркаса из защитных лесных насаждений. Основными видами защитных лесных насаждений на сельскохозяйственных склоновых землях являются стокорегулирующие, прибалочные и приовражные лесные полосы, насаждения в гидрографической сети. Наибольшее мелиорирующее влияние защитных лесных насаждений проявляется при их системном пространственном размещении. Создание экологического каркаса осуществляется в несколько этапов: расчет стока талых вод и смыва почвы, расчет расстояний между стокорегулирующими лесополосами и другими рубежами, определение параметров проектируемых лесополос (подбор конструкции, рядность, породный состав и др.) (рис. 1).

## 2. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАШНИ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТОКА ТАЛЫХ ВОД

Дифференцированная оценка закономерностей формирования поверхностного стока талых вод на разных видах пашни (рыхлая и уплотненная) позволяет более точно прогнозировать его и разрабатывать систему мероприятий по управлению эрозионно-гидрологическим процессом. Анализ многолетних данных показал закономерное увеличение разницы в стоке на рыхлой и уплотненной пашне при уменьшении величины поверхностного стока талых вод.

Она увеличивается при движении от лесостепи к степи и полупустыне и изменяется в зависимости от водности года. В маловодные годы разница в стоке с рыхлой и уплотненной пашни небольшая, а в многоводные – очень большая.

Кривые, характеризующие связь стока с рыхлой и уплотненной пашни близки к прямой линии (рис. 2) и по всем исследуемым пунк-

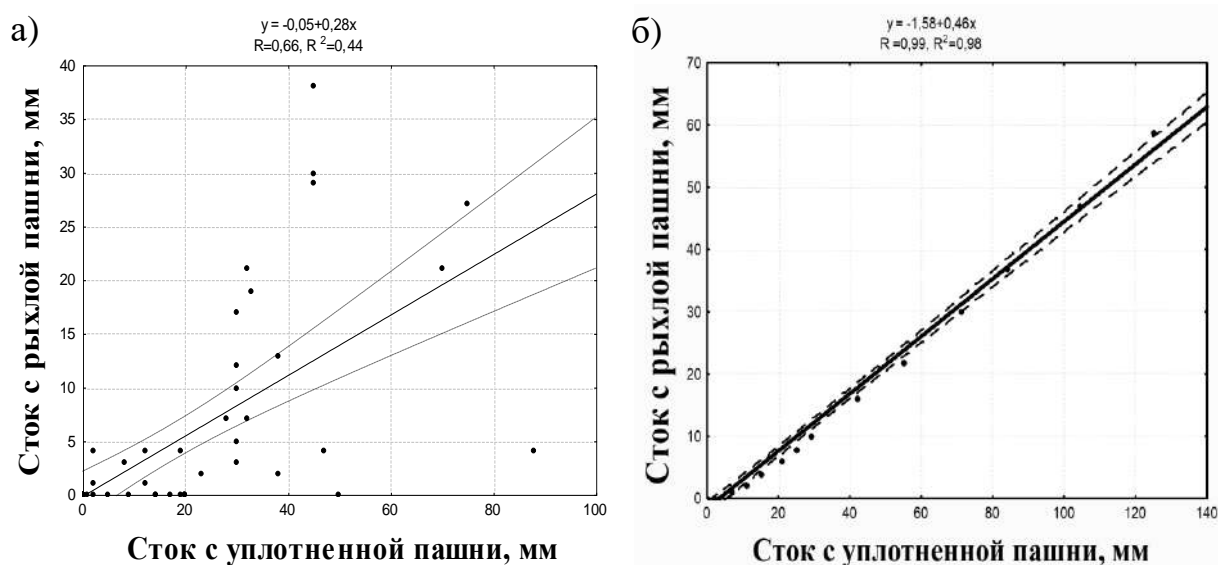


Рис. 2. Графики связи стока с рыхлой и уплотненной пашни, построенные по экспериментальным данным (а) и равнообеспеченным показателям (б)

там идут примерно параллельно. Эти кривые аппроксимируются уравнением:

$$Y = a + bx,$$

где  $x$  – сток с уплотненной пашни, мм;  $y$  – сток с рыхлой пашни, мм.

Корреляционный анализ материалов выявил высокую тесноту связи равнообеспеченных величин. Относительные ошибки расчетных показателей стока по сравнению с экспериментальными данными в области значений стока с рыхлой пашни свыше 1 мм колеблются всего от  $-5$  до  $+6$  %.

По приведенным уравнениям связи можно рассчитывать сток разной вероятности превышения по одному из видов пашни, имея данные по-другому.

### **3. КРИТЕРИИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОТИВОЭРОЗИОННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕРРИТОРИИ**

В эрозионных ландшафтах первоочередная задача оптимизации земледелия связывается с противоэрозионной организацией территории, предусматривающей выделение севооборотных массивов с учетом крутизны склона, эродированности почв, интенсивности процессов эрозии; выбор и разработку схем севооборотов; определение размеров полей и размещение их на территории; рациональное размещение лесных полос и других линейных рубежей; определение приемов и технологий обработки почвы, мест гидротехнических сооружений и способов улучшения суходольных лугов.

Определяющим моментом агроландшафтного обоснования организации землепользования является типология земель (выделение контуров по однородным агроэкологическим условиям) и определение характера их использования, а также применение технологий, приемов и мероприятий, обеспечивающих нормальное функционирование агроэкосистем.

При планировании комплекса противоэрозионных мероприятий необходимо исходить из того, что в ходе процессов рельефообразования, а также под воздействием природных и антропогенных факторов на водосборных бассейнах разного ранга и их склонах сложились различные почвенно-экологические условия, чем и обусловлено выделение ландшафтных поясов – эрозионных земельных фондов.

В приводораздельной части склонов крутизной до 2-3° почвы несмытые и слабосмытые. Процессы эрозии здесь протекают слабо, интенсивность смыва часто не превышает скорость естественного почвообразовательного процесса (1-2 т/га). Однако эта территория является ареной формирования стока, который, поступая на присетевые участки склонов и в гидрографическую сеть, приводит к смыву почвы и размыву почвогрунтов, а также к выносу биогенных веществ в водные источники. Здесь противоэрозионные мероприятия должны быть направлены на задержание воды на месте или безопасный сброс в зависимости от природной зоны.

В присетевой части на склонах круче 2-3° образуется полоса средне- и сильносмывных почв, характеризующихся пониженным содержанием гумуса, ухудшенными водно-физическими и химическими свойствами и сильной податливостью эрозии. Здесь в основном протекают процессы смыва (часто и размыва – оврагообразования) как за счет собственного стока, так и за счет подтока с вышележащей территории, поэтому противоэрозионные мероприятия должны быть направлены на защиту почв от смыва, восстановление и повышение плодородия.

В гидрографической сети протекают в основном процессы размыва и смыва, распространены здесь сильно и весьма сильно смывные почвы, но имеются и несмывные, слабо- и среднесмывные, а также намытые почвы. Мероприятия на этих угодьях должны быть направлены на предохранение их от размыва и смыва.

Приводораздельные и присетевые склоны, а также земли гидрографической сети выделяются в виде ландшафтных поясов (фондов) при составлении ландшафтных карт местности. Для каждого из этих фондов определяется свой характер использования и набор противоэрозионных мероприятий.

Учитывая это, необходимо пересмотреть идеологию систем земледелия. Она должна строиться на адаптивно-ландшафтных принципах [5, 14, 24]. Они предусматривают смену приоритетов – на первое место ставится природоохранный принцип природопользования. При этом максимально учитываются особенности природных и антропогенных ландшафтов, требовательность сельскохозяйственных культур к условиям произрастания, оптимально реализуется ресурсный потенциал, каждый земельный участок используется с учетом его экологических условий и типологии земель.

Критериями для выделения разных групп земель на склонах являются характер гидрологических и эрозионных процессов, состояние почв, местонахождение в рельефе, доступность для проведения механизированных работ и др. [19].

При определении характера использования земель важно учитывать биологические особенности и почво-скрепляющие свойства сельскохозяйственных культур. Они по-разному реагируют на условия произрастания. В табл. 1 приведены данные, характеризующие степень снижения урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от степени смывности почвы [32].



Таблица 1

**Уровень урожайности сельскохозяйственных культур  
на почвах разной степени эродированности, % к несмытой почве**

Культура	Степень смытости почв		
	слабая	средняя	сильная
Озимая пшеница	85-90	50-60	30-35
Озимая рожь	85-90	55-65	35-40
Яровая пшеница	70-80	40-50	15-20
Яровой ячмень	80-85	45-55	30-40
Овес	80-85	55-60	30-45
Кукуруза	80-85	60-70	15-25
Горох, вика	85-95	60-70	50-60
Сахарная свекла, картофель	80-90	30-40	10-15
Подсолнечник	70-80	40-50	20-30
Вика + овес	85-90	65-70	35-45
Суданка	80-90	55-60	30-40
Многолетние травы	90-95	85-90	60-75

Такие культуры, как сахарная свекла, кукуруза, картофель, яровая пшеница, подсолнечник высокотребовательны к условиям произрастания; озимая пшеница, озимая рожь, ячмень, суданка – среднетребовательны; многолетние травы, бобовые и викоовсяная смесь – малотребовательны.

Почвозащитная роль сельскохозяйственных культур характеризуется следующими коэффициентами эрозионной опасности: черный пар – 1,00; свекла, кукуруза – 0,85; картофель, подсолнечник – 0,75; яровые зерновые – 0,50; смесь кукурузы с горохом и викой, горох, вика + овес – 0,35; многолетние травы первого года пользования – 0,08, второго года – 0,03, третьего года – 0,01.

Коэффициенты эрозионной опасности показывают, что почва под черным паром и пропашными культурами в наибольшей степени подвергается эрозии. Многолетние травы характеризуются высокой почвозащитной ролью.

С учетом вышеизложенного рекомендуется классификация склоновых земель, в соответствии с которой на территории от водораздела до дна гидрографической сети выделяются 3 земельных фонда (ландшафтные пояса): приводораздельный – ровные участки и пологие склоны, имеющие крутизну до 2° на каштановых и светло-каштановых поч-

вах и 3° на черноземах и темно-каштановых почвах; присетевой – земли крутизной свыше 2-3°, примыкающие к гидрографической сети; гидрографический – берега, крутосклоны (обычно круче 7-8°) и днища лощин, суходолов (балок) и речных долин обычно с малой крутизной (рис. 3).

Определение границ земельных фондов осуществляется на основе расчета по выражениям (1, 3-6, см. гл. 4.2). Для иллюстрации приводится схема, поясняющая способ выделения земельных фондов (рис. 4).

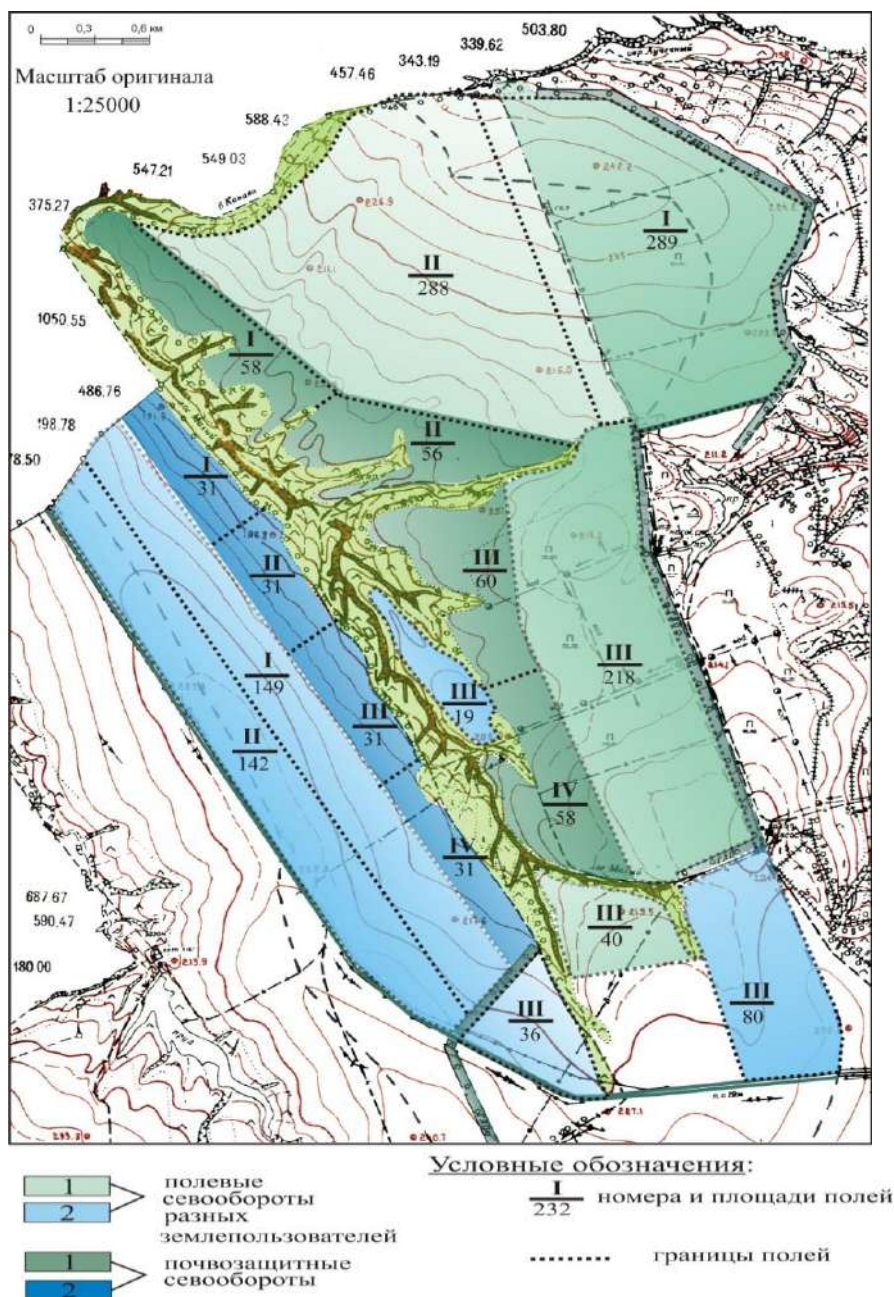


Рис. 3. Схема противоэрозионной организации территории

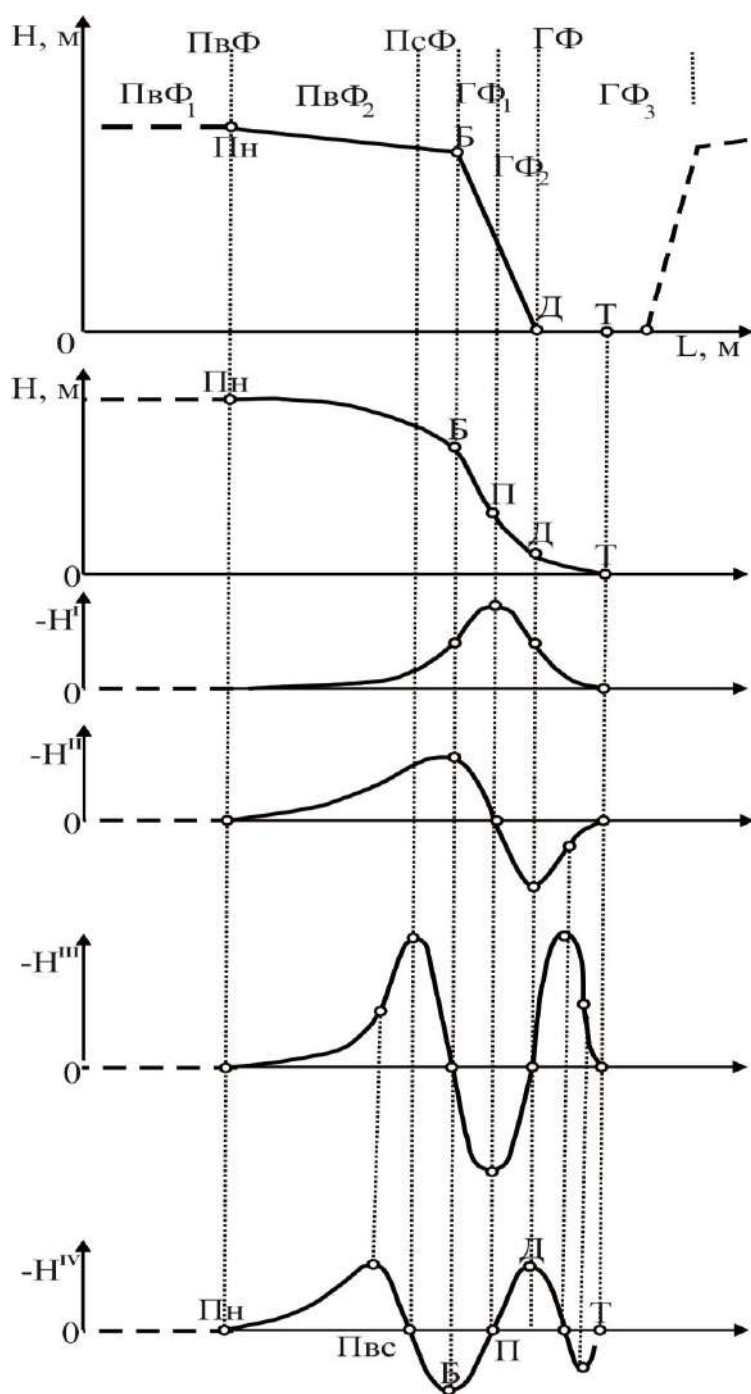


Рис. 4. Принципиальная схема аналитического определения характерных геоморфологических точек и границ ландшафтных поясов:

эрозионные фонды (ландшафтные пояса): П<sub>вФ</sub>, П<sub>вФ1</sub>, П<sub>вФ2</sub> – приводораздельный; П<sub>сФ</sub> – присетевой; ГФ, ГФ<sub>1</sub>, ГФ<sub>2</sub>, ГФ<sub>3</sub> – гидрографический. Границы и характерные точки: П<sub>н</sub> – граница плакора нерасчлененного; П<sub>вс</sub> – граница между приводораздельным и присетевым фондами; Б – бровка гидрографической сети (ГС); П – точка перегиба; Д – граница между берегом ГС и дном; Т – тальвег

Исходя из вышесказанного, рекомендуется земли на приводораздельных склонах крутизной меньше 2-3° использовать интенсивно в зернопропашных или зернопаропропашных севооборотах с максимальным насыщением парами и пропашными культурами. Земли на присетевых склонах круче 2-3°, где наиболее интенсивно протекают эрозионные процессы, отводятся под почвозащитные севообороты с максимальным насыщением малотребовательными к условиям произ-

растания и обладающими высокой почвозащитной способностью многолетними травами. Соотношение культур в севооборотах определяет и структуру посевных площадей. На границе между севооборотами и внутри полей размещаются стокорегулирующие лесные полосы поперек склона или по контуру.

В почвозащитном севообороте многолетние травы надежно защищают почву от эрозии. На зяби, а в ряде случаев и на озимых смыв почвы был значительным. При наличии стокорегулирующей лесополосы на границе полей зернопаропропашного и почвозащитного севооборотов талая вода с вышележащего поля не поступает на нижележащее и смыв в почвозащитном севообороте не увеличивался. При отсутствии лесополосы смыв обычно (такова закономерность) вниз по склону увеличивается. После распашки многолетних трав и если нет подтока смыв бывает незначительный или совсем не проявляется.

#### **4. МОДЕЛИ И КРИТЕРИИ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭРОЗИОННО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТОКОРЕГУЛИРУЮЩИХ ЛЕСОПОЛОС**

Излагаемые ниже модели эрозионно-гидрологического процесса на водосборах и различных функций лесополос служат для получения некоторых нормативных характеристик для обоснования агролесомелиоративных комплексов адаптивно-ландшафтного обустройства территории и позволяют выполнять расчет параметров систем защитных лесных насаждений с использованием этих нормативов при проектировании систем управления эрозионно-гидрологическим процессом.

##### **4.1. Критерии для расчета поверхностного стока талых вод**

Показатели величины поверхностного стока талых вод нужны для оценки эффективности мероприятий, входящих в систему по управлению эрозионно-гидрологическим процессом [9, 11].

Сток талых вод с рыхлой и уплотненной пашни характеризуется вероятностью его превышения и средними величинами, представленными в табл. 2, на рис. 5 и 6 для европейской части РФ и сопряженных территорий (Белоруссия, Украина).

На картах отражается фактическая картина изменения стока в связи с природными и антропогенными факторами в лесостепных и степных районах европейской территории РФ.

Используя карты изолиний среднего поверхностного стока талых вод и модульные коэффициенты (табл. 3) можно рассчитывать показатели стока различной вероятности превышения в любой точке и применять их при проектировании системы мероприятий по управлению эрозионно-гидрологическим процессом.

В результате обобщения и анализа многолетних (свыше 60 лет) данных ВНИАЛМИ (ныне ФНЦ агроэкологии РАН) и литературных источников установлено, что важнейшими природными факторами стока являются снегозапасы, увлажнение и глубина промерзания почвы.



Таблица 2

**Средние и разной вероятности превышения показатели  
поверхностного стока талых вод с уплотненной и рыхлой пашни, мм**

Почва	Вид пашни	Среднее	Вероятность превышения, %							C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>
			1	5	10	50	70	80	90		
<i>Лесостепная зона, Орловская обл.</i>											
Серая лесная	1	30	156	101	78	19	5	0	0	1,27	1,68
	2	20	129	81	59	11	0	0	0	1,52	1,96
<i>Лесостепная зона, Курская обл.</i>											
Темно-серая лесная	1	37	169	115	91	28	12	4	0	1,07	1,45
	2	20	118	74	55	11	2	0	0	1,36	2,07
Выщелоченный чернозем	1	37	192	123	93	20	2	0	0	1,44	1,41
	2	15	98	61	44	6	0	0	0	1,76	1,55
<i>Степная зона, Воронежская обл.</i>											
Обыкновенный чернозем	1	32	157	102	78	19	5	0	0	1,30	0,95
	2	9	88	53	38	3	0	0	0	2,40	2,11
<i>Степная зона, Самарская обл.</i>											
Обыкновенный чернозем	1	36	124	91	75	30	16	9	0	0,87	0,88
	2	7	54	33	24	3	0	0	0	1,79	2,05
<i>Сухостепная зона, Волгоградская обл.</i>											
Темно-каштановая	1	17	84	55	42	11	5	2	0	1,24	1,72
	2	5	37	21	15	2	0	0	0	1,80	2,31
Светло-каштановая	1	15	75	52	41	12	4	0	0	1,19	1,14
	2	3	38	20	12	0	0	0	0	2,43	3,42

Примечание. Вид пашни: 1 – уплотненная, 2 – рыхлая; C<sub>v</sub> – коэффициент вариации, C<sub>s</sub> – коэффициент асимметрии.

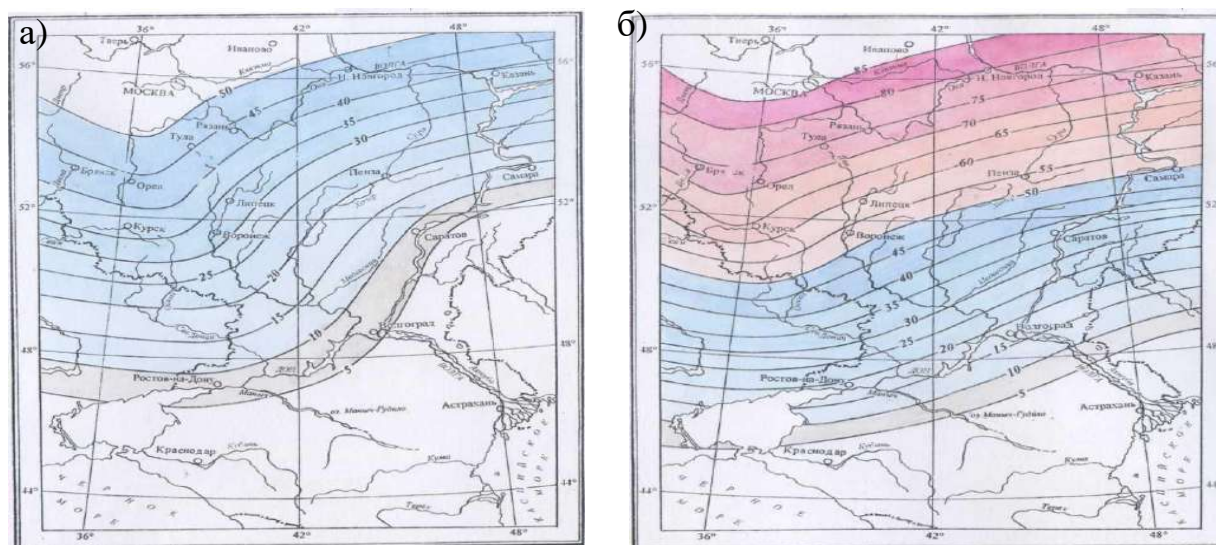


Рис. 5. Изолинейные карты поверхностного стока талых вод на рыхлой (а) и уплотненной (б) пашне в европейской части РФ

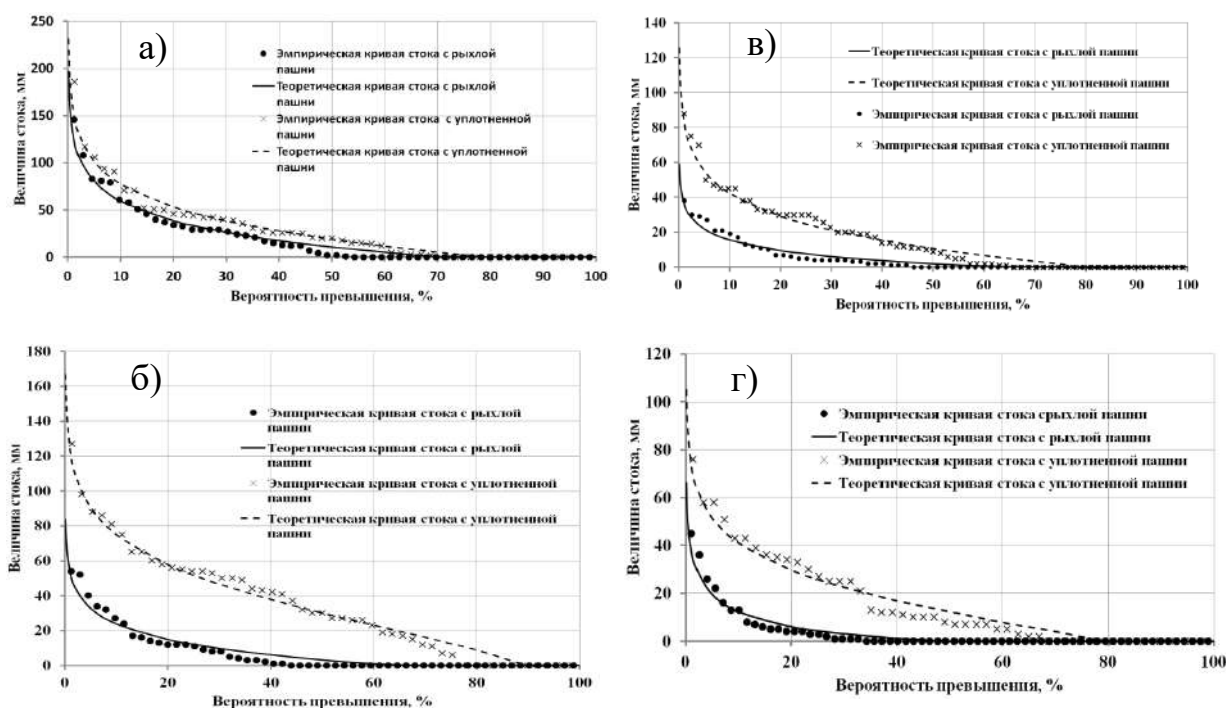


Рис. 6. Кривые вероятности превышения поверхностного стока талых вод с рыхлой и уплотненной пашни на серых лесных почвах Орловской обл. (а), на обыкновенных черноземах Самарской обл. (б), на каштановых и темно-каштановых почвах Волгоградской обл. (в), на светло-каштановых почвах Волгоградской обл. (г)

Таблица 3

**Модульные коэффициенты перехода от среднего стока к стоку разной вероятности превышения**

Зона, область, почва	Вид пашни	Вероятность превышения, %						
		1	5	10	50	70	80	90
Лесостепная, Орловская, серая лесная	Уплотненная	5,38	3,48	2,69	0,65	0,17	0	0
	Рыхлая	6,45	4,05	2,95	0,55	0	0	0
Лесостепная, Курская, темно-серая лесная	Уплотненная	4,57	3,11	2,46	0,76	0,32	0,11	0
	Рыхлая	5,90	3,70	2,75	0,55	0,10	0	0
Лесостепная, Курская, выщелоченный чернозем	Уплотненная	6,00	3,48	2,91	0,62	0,06	0	0
	Рыхлая	7,54	4,69	3,38	0,46	0	0	0
Степная, Воронежская, обыкновенный чернозем	Уплотненная	5,41	3,52	2,69	0,65	0,17	0	0
	Рыхлая	9,78	5,89	4,22	0,33	0	0	0
Степная, Самарская, обыкновенный чернозем	Уплотненная	3,65	2,68	2,20	0,88	0,47	0,26	0
	Рыхлая	7,71	4,71	3,43	0,43	0	0	0
Степная, Волгоградская, темно-каштановая	Уплотненная	5,25	3,44	2,62	0,83	0,31	0,12	0
	Рыхлая	7,40	4,20	3,00	0,40	0	0	0
Сухостепная, Волгоградская, светло-каштановая	Уплотненная	4,69	3,25	2,56	0,75	0,25	0	0
	Рыхлая	12,67	6,67	4,00	0	0	0	0

На основе математического анализа результатов исследований разработаны модели формирования поверхностного стока талых вод на разных типах почв (серые лесные, черноземы, каштановые и светло-каштановые), видах угодий (пашня, луг, залежь) и пашни (зябь, озимые, многолетние травы и др.) при глубине промерзания почвы больше 50 см.

Уравнения связи стока с природными факторами приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Критерии для расчета стока талых вод на рыхлой  $Y_p$  и уплотненной  $Y_n$  пашне по уравнениям связи его с запасами воды в почве  $W_n$  и снеге  $W_c$ , мм**

Зона, область, почва	Рыхлая пашня	Уплотненная пашня
Лесостепь, Орловская, серая лесная	$Y_p = -141 + 0,08W_n + 0,38W_c$ $R_{Y_p W_n W_c} = 0,93; M_{yx} = 12,4$	$Y_n = -16,4 - 0,15W_n + 0,34W_c$ $R_{Y_n W_n W_c} = 0,81; M_{yx} = 13,3$
Лесостепь, Курская, серая лесная	$Y_p = -57 + 0,34W_n + 0,26W_c$ $R_{Y_p W_n W_c} = 0,61; M_{yx} = 26,8$	Нет данных
типичный чернозем	$Y_p = -50 + 0,25W_n + 0,25W_c$ $R_{Y_p W_n W_c} = 0,92; M_{yx} = 4,5$	$Y_n = -116 + 0,71W_n + 0,41W_c$ $R_{Y_n W_n W_c} = 0,74; M_{yx} = 16,0$
Степь, Воронежская, обыкновенный чернозем	$Y_p = -40 + 0,19W_n + 0,38W_c$ $R_{Y_p W_n W_c} = 0,54; M_{yx} = 21,5$	$Y_n = -12 + 0,06W_n + 0,69W_c$ $R_{Y_n W_n W_c} = 0,91; M_{yx} = 6,8$
Степь, Самарская, обыкновенный чернозем	$Y_p = -53 + 0,51W_n + 0,04W_c$ $R_{Y_p W_n W_c} = 0,48; M_{yx} = 8,4$	$Y_n = -24 + 0,17W_n + 0,40W_c$ $R_{Y_n W_n W_c} = 0,92; M_{yx} = 7,0$
Сухая степь, Волгоградская, каштановая	$Y_p = -27 + 0,38W_n + 0,29W_c$ $R_{Y_p W_n W_c} = 0,96; M_{yx} = 7,1$	$Y_n = -4 + 0,19W_n + 1,14W_c$ $R_{Y_n W_n W_c} = 0,92; M_{yx} = 9,2$
светло-каштановая	$Y_p = -5,2 + 0,04W_n + 0,44W_c$ $R_{Y_p W_n W_c} = 0,64; M_{yx} = 6,3$	$Y_n = -21,9 + 0,26W_n + 0,22W_c$ $R_{Y_n W_n W_c} = 0,84; M_{yx} = 13,1$

## 4.2. Критерии для расчета смыва почвы

Рельеф наряду со стоком является важнейшей характеристикой, определяющей интенсивность эрозии [22, 29, 37]. В силу того обстоятельства, что рельеф территории является ведущим фактором в проявлении эрозии, то рельефообразованию всегда уделялось большое внимание как у нас в стране, так и за рубежом. В. В. Докучаеву принадлежит первая попытка теоретического рассмотрения вопросов рельефообразования на равнине в части, касающейся генезиса гидро-



графической сети (перехода оврагов в балки, а балок в речные долины). На начальном этапе исследований рельефа на первое место выдвигались вопросы эрозионного размыва – оврагообразования. Были предложены разнообразные классификации размывов по их положению (донные, береговые, склоновые) на водосборе и стадиям развития во времени (водороины, промоины, овраги). Существенно меньшее значение на начальном этапе исследований уделялось изучению смыва почв. Принято обычно для суждения о рельефе территории (склонов) использовать характеристики длины, крутизны склонов и их формы (сочетания длины и крутизны), экспозиции. Установлено, что рельеф с необходимой полнотой может быть охарактеризован функцией формы склона по линиям тока (продольным профилям склонов). Для этой цели Е. А. Гаршиневым [16] предложено использовать логистическую функцию. Модель эрозионно-аккумулятивного процесса строится на положении, что функция формы склона и функция эрозионно-аккумулятивного процесса тождественны, т. е. математическое выражение функция формы склона является адекватным выражением для функции эрозионно-аккумулятивного процесса.

Функция формы склона выражается уравнением логистической кривой (логфункции) [13, 25, 33]:

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

где  $H$ ,  $H_{\max}$ ,  $H_{\min}$  – текущая, максимальная и минимальная отметки поверхности склонов;  $L$  – длина склона (горизонтальное проложение); параметр  $b$  отражает изменение уклона в процессе эволюции склона (уменьшается во времени), параметр  $a$  параллельное отступление склона. Иной способ представления логарифмической функции – функция падения склона [14]:

$$P = (P_{\max} - P_{\min}) / (1 + \exp(a - bL)) + P_{\min}, \quad (2)$$

где  $P$ ,  $P_{\max}$ ,  $P_{\min}$  – текущее, асимптотическое максимальное и минимальное падение склона, м.

Функции отметок  $H(L)$  и падения  $P(L)$  совершенно симметричны и различаются лишь положением начала координат относительно водораздела и соответственно 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.

Производные для функции падения  $P(L)$  имеют вид [16]:

$$I = P^1 = \Delta P b c \varphi P_{\Delta}^2, \quad (3)$$

где  $\Delta P = P_{\max} - P_{\min}$ ;  $c = \exp(a)$ ;  $\varphi = \exp(-bL)$ ;  $P_{\Delta} = 1/(1 + c\varphi)$ ,

$$P^{\text{II}} = \Delta P b^2 c \varphi (c\varphi - 1) P_{\Delta}^3, \quad (4)$$

$$P^{\text{III}} = \Delta P b^3 c \varphi ((c\varphi - 1)^2 - 2c\varphi) P_{\Delta}^4, \quad (5)$$

$$P^{\text{IV}} = \Delta P b^4 c \varphi ((c\varphi - 1)^3 - 2^3 c \varphi (c\varphi - 1)) P_{\Delta}^5, \quad (6)$$

где  $I$  – уклон.

Численные значения производных позволяют определять основные морфометрические характеристики рельефа. Первая производная есть функция текущих значений уклонов в любой точке склона. Вторая производная падения позволяет определять положение точки перегиба, в которой производная обращается в ноль (перехода выпуклой части склона в вогнутую, эрозионной части склона в эрозионно-аккумулятивную) и строить морфоизографы. Третья производная определяет скорость изменения приращения уклонов, позволяя рассчитать расстояние от водораздела до бровки гидрографической сети (ложбин, лощин, суходолов) и границу перехода ее берегов в днища, четвертая – границу между приводораздельным и присетевым фондами. Положение тальвегов и нижней границы нерасчлененного плакора определяется по первой производной функции отметок (падения). Экстремумы функций соответствуют не только указанным точкам и границам между земельными фондами (ландшафтными полосами), но и, как правило, максимальным скоростям изменения почвенно-микrokлиматических и эрозионно-гидрологических характеристик.

Применение аналитического подхода к определению границ ландшафтных поясов существенно облегчает построение на объективной основе изолинейных карт (уклонов, морфоизограф, границ ландшафтных полос и т. п.).

После получения характеристик формы склона расчеты текущего смыва выполняют по выражению [16]:

$$W_{\text{T}} = \alpha [K] (h_c)^s (\varphi_1 P^2)^n L^p, \quad (7)$$

где  $\alpha$  – коэффициент размерности и пропорциональности (зябь – 0,02250, озимые – 0,00650, многолетние травы 1-го года – 0,00650, последующих лет – 0,00020, выгон с задернением: хорошим –  $5,4 \cdot 10^{-6}$ , средним –  $1,6 \cdot 10^{-4}$ , слабым – 0,00210);  $[K]$  – произведение коэффициентов ( $K_m$ ,  $K_z$ ,  $K^{\circ}$ ), характеризующих противоэрозионные свойства почв и агрофонов;  $h_c$  – слой стока;  $\varphi_1 = bc\varphi/\Delta P$ ,  $P = \Delta H \cdot P_{\Delta} = \Delta H/(1 + c\varphi)$ ,  $\Delta H = H_{\max} - H_{\min}$ ;  $n$ ,  $p$ ,  $s$  – параметры ( $n \approx 1-2$ ,  $p \approx 0,5-2,0$ ,  $s = 0,95$ ).

Коэффициент  $K_m$  характеризует относительную податливость смыву почв разных типов и подтипов: чернозем типичный ( $U_{\text{T}}$ ), вы-

щелоченный ( $Ч_{\text{в}}$ ), обыкновенный ( $Ч_{\text{об}}$ ) – 1,00; чернозем оподзоленный ( $Ч_{\text{оп}}$ ) и южный ( $Ч_{\text{ю}}$ ), темно-серая лесная и темно-каштановая ( $К_{\text{т}}$ ) – 1,07; серая лесная ( $С_{\text{л}}$ ), каштановая ( $К$ ) – 1,15; светло-серая лесная, дерново-подзолистая ( $Д_{\text{п}}$ ), светло-каштановая ( $К_{\text{с}}$ ) – 1,23.

Коэффициент  $K_{\text{э}}$  характеризует влияние гранулометрического состава почв на их относительную податливость эрозии: глинистые – 0,90, тяжелосуглинистые – 0,95, среднесуглинистые – 1,00, легкосуглинистые – 1,07, супесчаные – 1,15, песчаные – 1,20.

Коэффициент  $K^{\circ}$  характеризует влияние степени смывости почв на их относительную податливость эрозии: несмытая – 1,00, слабосмытая – 1,03, среднесмытая – 1,08, сильносмытая – 1,14, весьма сильносмытая – 1,20.

### 4.3. Критерии для расчета расстояний между стокорегулирующими лесными полосами

Расстояние между стокорегулирующими лесными полосами ( $L_{\text{МП}}$ ) определяют из неравенства [14]:

$$L_{\text{МП}} = (L_{\text{дi}} + L_{\text{в}}) \leq L_{\text{ci}} \leq L_{\text{р}}, \quad (8)$$

где  $L_{\text{дi}}$  – длина отрезков склона, м, на каждом из которых текущий смыв  $W_{\text{т}}$  достигает допустимой величины  $W_{\text{д}}$  (табл. 5), т/га;  $i = 1, 2, 3, \dots$  – порядковый номер (от водораздела) межполосного пространства;  $L_{\text{в}}$  – суммарная ширина прилегающих к верхней и нижней опушкам лесополосы поясов, в пределах которых темпы восстановления почвенного плодородия превышают темпы смыва, м;  $L_{\text{р}}$  – расстояние между основными лесными полосами, м, на территории с отсутствием эрозии и не превышающей допустимых величин (см. табл. 5);  $L_{\text{ci}}$  – расстояние между основными лесными полосами с учетом уменьшения дальности их ветрорегулирующего влияния на склонах, м.

Расчет расстояний  $L_{\text{ci}}$  выполняется по уравнению [16, 25]:

$$L_{\text{ci}} = L_{\text{р}}(1 - 3\text{tg}\bar{\alpha}_i), \quad (9)$$

где  $L_{\text{р}}$  – дальность ветрорегулирующего влияния основных лесополос на равнине, м;  $\bar{\alpha}_i$  – средняя крутизна склона между верхней и нижней лесополосами 1-го межполосного пространства (при  $\bar{\alpha}_i \geq 2^\circ$ ).

Размещение стокорегулирующих лесополос (СЛП) осуществляется на основе расчета смыва почвы по методике ВНИАЛМИ, разработанной Е. А. Гаршиным.

Положение стокорегулирующих лесополос на склоне определяется следующими условиями:

1) величина текущего смыва не должна превышать некоторого допустимого предела – допустимого смыва  $W_{\delta}$ ;

2) около каждой СЛП формируется вдоль верхней и нижней опушек так называемый пояс восстановления плодородия почвы суммарной шириной ( $L_b$ ), равной 90 м;

3) сток и смыв всякий раз прерывается на рубеже лесополосы вследствие устройства в ней гидротехнического сооружения (ГТС), поглощающего часть сточной воды, а часть – отводящего вдоль лесополосы;

4) если величина текущего смыва не достигает  $W_{\delta}$  при расстояниях между лесополосами  $L_p$ , принятыми для "равнинных" условий ( $L_p = 400$  м), то расстояние между лесополосами  $L_{мп}$  определяется из неравенства  $L_p \geq L_{мп} \geq L_c$ ;

5) из-за уменьшения дальности ветроломного влияния лесных полос на ветроударных склонах  $L_{мп} = L_c = L_p(1 + 3tgL)$ , где  $L$  – средняя крутизна склона между лесополосами, град.

Таблица 5

**Величины допустимого среднегодового смыва почвы  $W_{\delta}$  (т/га) и параметры постоянных членов  $L_b$  и  $L_p$  уравнения (8)**

Степень смытости почв и параметры $L_b$ и $L_p$	$D_{п}, C_{л}$	$Ч_в, Ч_{оп}$	$Ч_{об}$	$Ч_{ю}$	$K, K_T$	$K_c$
<i>Степень смытости почв</i>						
Несмытые и слабосмытые	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5
Среднесмытые	1,5	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5
Сильносмытые	1,0	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0
<i>Величины параметров постоянных членов <math>L_b</math> и <math>L_p</math></i>						
$L_p$	600	600	500	400	350	250
$L_b$	100	90	60	50	40	40

Во всех случаях, разумеется,  $L_{мп} = (L_g + L_b) \leq (L_p - L_b)$ , для первой стокорегулирующей лесополосы от водораздела, если  $L_g \geq L_p$ , величина  $1/2L_{мп} = 1/2(L_p - 1/2L_b)$ . Это означает, что на водоразделе лесная полоса не создается, а вместо нее проектируются две приводораздельные лесополосы по обе стороны водораздела так, что расстояние  $L_{мп}$  между ними в сумме равно расстоянию  $L_p$  для ветроломных лесополос на "равнине", поскольку при малой крутизне приводораздельных склонов смыв не достигает предельных значений, а малые значения уклона и водораздела на дальность ветроломного влияния не сказываются.

Таким образом, с учетом изложенных условий, расчет стокорегулирующих лесополос по специальной программе выполняется по уравнению связи текущего смыва со слоем стока, характеристиками формы склона и коэффициентами почвенных условий до тех пор, пока расстояние до первой от водораздела лесополосы не станет равным  $1/2L_p$  или величина смыва на некотором расстоянии  $L_g \leq 1/2(L_p - L_b)$  не достигнет предельно допустимого размера. Положение нижележащей 2-й СЛП получают расчетом от точки, расположенной на расстоянии от водораздела  $L_2 = L_g + L_{лп} + 1/2L_b$  и т. д. до бровки ложинно-балочной сети.

Для примера приводим расчет расстояний между лесополосами и определения их местоположения на водосборе "Малый лог". Всего для оценки текущего смыва заложено 13 профилей (рис. 7). Длина профилей колебалась от 1,1 до 3,7 км. В целом рассматриваемая территория имеет довольно длинные склоны преимущественно выпукло-вогнутые и выпуклые со значительными уклонами (табл. 6).

Смыв, в зависимости от сочетания длины, уклонов и формы склонов, сильно варьирует. На пологих длинных склонах его величина небольшая (до 2 т/га), а на склонах длинных и крутых она достигает почти 7 т/га. Расчеты смыва на склонах без лесных полос показали недопустимо высокие его величины на агрофоне с 50 % зяби + 50 % уплотненной пашни (озимые). Требуется его снижение до приемлемого уровня. Наиболее эффективно это возможно при создании системы противоэрозионных рубежей.

Сущность противоэрозионного действия рубежей заключается в следующем. Как только величина смыва на склоне достигает предельно допустимого значения – 2 т/га, при котором темпы почвообразования обеспечивают восстановление почвенного плодородия, на пути стока должен быть создан рубеж, перехватывающий воду и отводящий ее со склона или переводящий в почвогрунт. Этой цели максимально служат лесные полосы, создаваемые в сочетании с гидротехническими устройствами – валами или канавами в сочетании с валами. Опыт исследований Клетского опорного пункта и внедрение систем лесных полос, усиленных гидротехническими сооружениями, показал их высокую стокорегулирующую и почвозащитную эффективность.

Расчет позволяет определить основной параметр системы лесополос – ширину межполосного пространства, т. е. расстояния между ними, обеспечивающие снижение смыва до допустимого уровня. Они колеб-

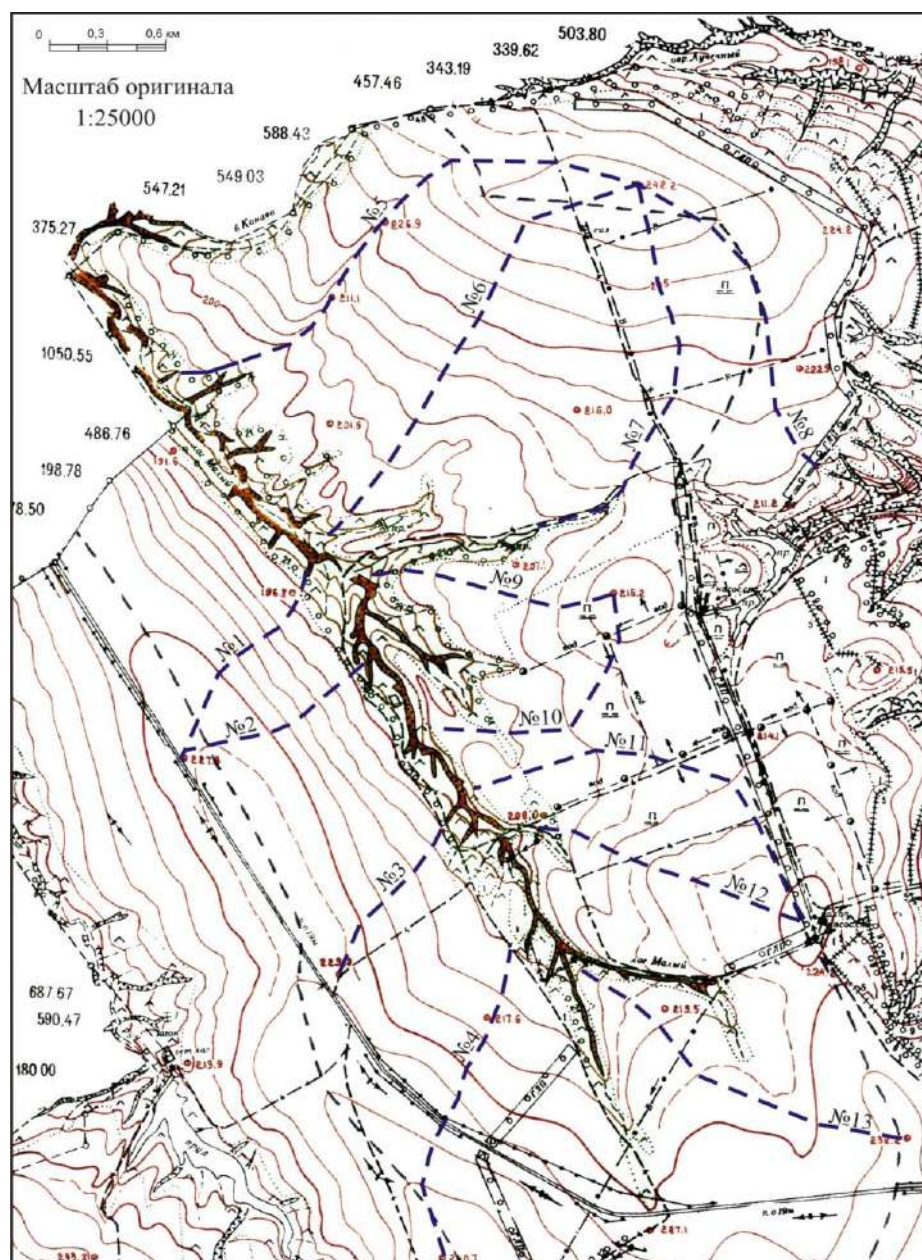


Рис. 7. Схема линий тока водосбора лога "Малый" (№ 1, 2, 3 ... – номера линий тока; --- линии тока)

Таблица 6  
Характеристика склонов водосбора лога "Малый" по величинам уклонов и смыву на разном расстоянии от водораздела

Расстояние от водораздела, м	Уклон		Смыв почвы, т/га
	$\text{tg}L \times 10^{+3}$	L, град.	
1	2	3	4
<i>Профиль 1</i>			
250	6,2	0,4	0,1
500	5,0	0,3	0,1
750	50,0	2,9	2,3

Продолжение табл. 6

1	2	3	4
1000	67,0	3,8	4,7
1250	40,0	2,3	2,7
<i>Профиль 2</i>			
250	3,2	0,2	0,1
500	8,0	0,5	0,1
750	50,0	2,9	2,3
1000	44,0	2,6	2,5
<i>Профиль 3</i>			
250	14,2	0,8	0,1
500	5,0	0,3	0,1
750	20,0	1,2	0,6
1000	40,0	2,3	2,2
<i>Профиль 4</i>			
250	0,8	0,1	0,1
500	10,8	0,6	0,2
750	16,0	0,9	0,4
1000	20,0	1,2	0,8
1250	28,0	1,6	1,6
1500	20,0	1,2	1,1
1750	16,0	0,9	1,0
2000	18,0	1,0	1,3
<i>Профиль 5</i>			
250	4,4	0,3	0,1
500	8,8	0,5	0,1
750	4,0	0,3	0,1
1000	4,0	0,2	0,1
1250	14,0	0,8	0,6
1500	26,0	1,5	1,7
1750	24,0	1,5	1,8
2000	30,0	1,7	2,80
2250	26,0	1,5	2,60
2500	34,0	2,0	4,30
3000	30,0	1,7	4,20
<i>Профиль 6</i>			
250	3,5	0,2	0,10
500	3,5	0,2	0,10
750	15,0	0,9	0,40
1000	24,0	1,5	1,00

Продолжение табл. 6

1	2	3	4
1250	24,0	1,5	1,20
1500	28,0	1,6	1,80
1750	22,0	1,3	1,50
2000	16,0	0,9	1,00
2250	18,0	1,0	1,50
2500	12,0	0,7	0,90
2750	44,0	2,5	6,60
<i>Профиль 7</i>			
250	5,9	0,3	0,10
500	14,9	0,9	0,30
750	20,0	1,2	0,60
1000	32,0	1,8	1,50
1250	16,0	0,9	0,70
1500	15,0	0,9	0,70
1750	15,0	0,9	0,80
2000	18,0	1,0	1,25
2250	12,0	0,7	0,70
<i>Профиль 8</i>			
250	4,8	0,1	0,10
500	7,2	0,4	0,10
750	12,0	0,7	0,30
1000	11,0	0,6	0,30
1250	25,0	1,4	1,30
1500	20,0	1,2	1,10
1750	18,0	1,0	1,10
2000	30,0	1,7	2,70
<i>Профиль 9</i>			
250	9,8	0,6	0,10
500	15,0	0,9	0,20
750	10,0	0,6	0,2
1000	8,0	0,5	0,2
1250	30,0	1,7	1,7
<i>Профиль 10</i>			
250	4,0	0,2	0,1
500	12,8	0,7	0,2
750	5,2	0,1	0,1
1000	12,8	0,7	0,4



1	2	3	4
1250	15,0	0,9	0,6
1500	10,0	0,6	0,4
<i>Профиль 11</i>			
250	4,8	0,1	0,1
500	12,0	0,7	0,2
750	12,0	0,7	0,3
1000	19,2	1,1	0,7
1250	4,8	0,1	0,1
1500	4,0	0,2	0,1
1750	8,0	0,5	0,3
2000	6,0	0,3	0,2
2250	9,0	0,5	0,5
<i>Профиль 12</i>			
250	4,8	0,1	0,1
500	5,0	0,3	0,1
750	5,0	0,3	0,1
1000	10,0	0,4	0,3
1250	20,0	1,1	0,9
1500	20,0	1,1	1,1
1750	20,0	1,1	1,3
<i>Профиль 13</i>			
250	13,8	0,8	0,1
500	13,0	0,7	0,2
750	6,0	0,3	0,1
1000	4,0	0,2	0,1
1250	4,0	0,2	0,1
1500	6,0	0,3	0,2
1750	12,0	0,7	0,6
2000	10,0	0,6	0,5

лется в пределах 200-350 м. Минимальные расстояния получаются для крутых склонов. Максимальные расстояния (350 м) приняты для лесополос на при-водораздельных пологих склонах, где эрозия не достигает критических значений и обычно не превышает 0,2-0,4 т/га, но более редкое размещение рубежей не позволит зарегулировать сток и не обеспечит должного ветроломного эффекта, оптимизацию снегоотложения и получение максимального агрономического эффекта. Если разместить

здесь лесополосы реже, то на более крутых участках будет невозможно снизить смыв до приемлемых значений. Ориентировочная ширина межполосных пространств для стокорегулирующих лесных полос на почвах разных типов приведена в табл. 7.

Таблица 7

**Ширина межполосных пространств  $L_{МП}$  (м) для стокорегулирующих лесных полос на почвах разных типов на выпуклой части склона длиной 1000 м ( $\Delta H = P_m = 100$  м;  $a = 5$ ;  $b = 0,005$ ;  $\bar{\alpha} = 2,86^\circ$ ; агрофон: 50 % зябь, 50 % озимые)**

Номер лесополосы от водораздела	Почва					
	серые лесные	черноземы			темно-каштановые	светло-каштановые
		выщелоченные	обыкновенные	южные		
1*	<u>300</u> 0,6	<u>300</u> 0,6	<u>250</u> 0,6	<u>200</u> 0,5	<u>175</u> 0,4	<u>125</u> 0,3
2	<u>360</u> 3,1	<u>400</u> 3,7	<u>470</u> 4,1	<u>400</u> 2,9	<u>350</u> 2,2	<u>250</u> 1,1
3	<u>210</u> 5,9	<u>240</u> 6,7	<u>250</u> 7,0	<u>270</u> 6,3	<u>350</u> 6,4	<u>250</u> 3,4
4	-	-	-	-	-	<u>250</u> 6,6

\*Для первого межполосного пространства приводится расстояние от водораздела. Знаменатель – крутизна склона на верхней границе пояса восстановления плодородия почвы.

Второй параметр системы лесополос – их ширина – определяется многими факторами: стокорегулирующей способностью лесополос, необходимостью минимального отвода пашни под ЛП, создания оптимальной конструкции ЛП, их устойчивостью.

Опыт показал, что для этих целей приемлемы 2-3-рядные ЛП с шириной междурядий 3 м. Они обеспечивают поглощение около 300-400 мм талых вод (10-15 мм полевого стока талых вод), проведение механизированных уходов за почвой и создание экскаватором канав с отсыпкой вала на нижнюю закрайку.

Размещение стокорегулирующих лесополос осуществляется с учетом рельефа поперек склона или по горизонталям. Обобщенные оценки параметра максимального водопоглощения и разработанные математические модели позволяют получать для лесополос разной

ширины расчетные характеристики водопоглощения и слоя сокращения полевого стока в зависимости от водности весен, длины склонов, почвенно-климатических условий и др. Схема размещения лесных полос приведена на рис. 8.

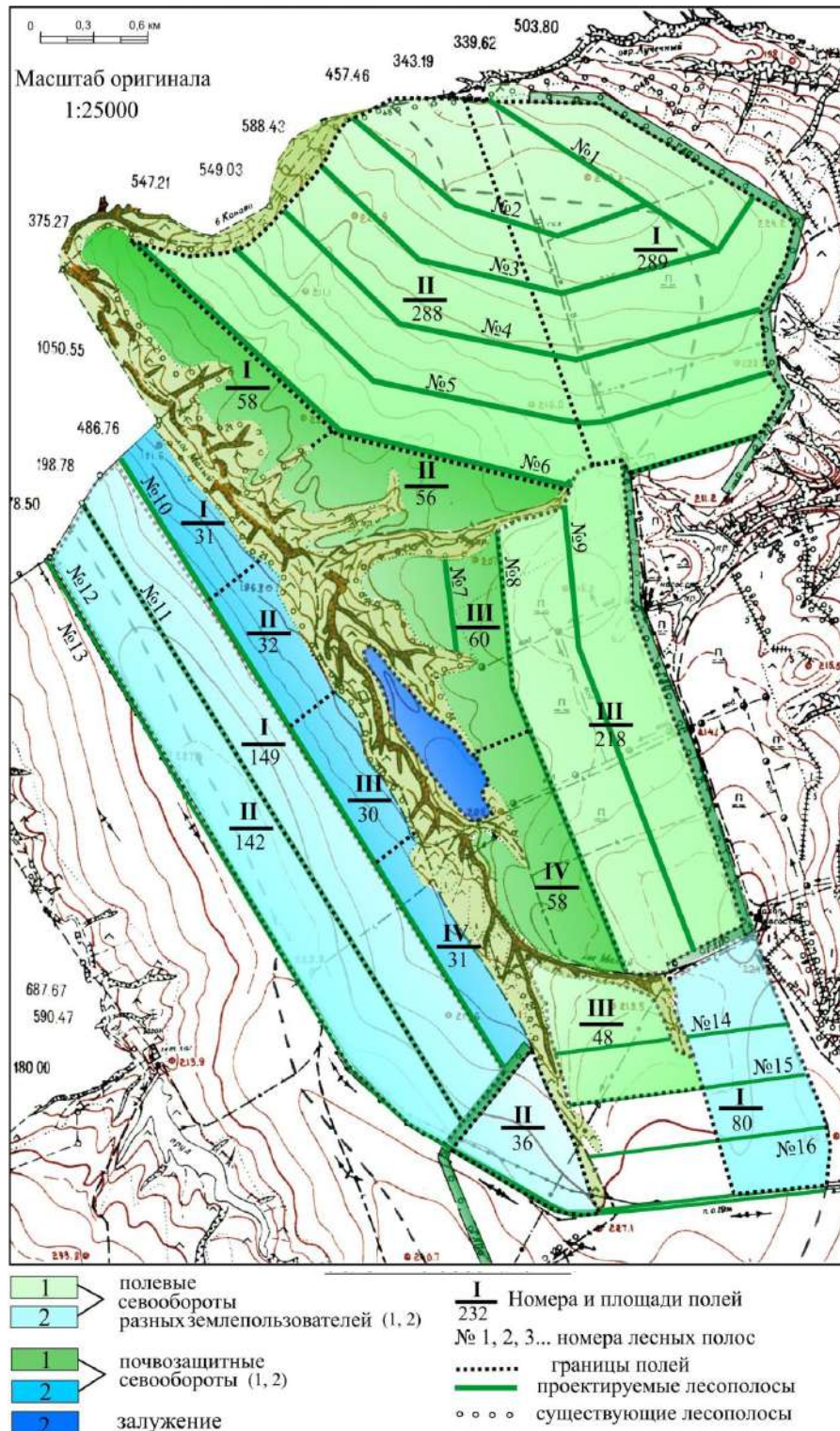


Рис. 8. Схема размещения стоко-регулирующих лесополос

Общая схема трассирования стокорегулирующих лесополос осуществляется следующими способами (рис. 9):

- параллельно-прямолинейно – на склонах с прямым поперечным профилем;
- параллельно, контурно-горизонтально, криволинейно – на склонах собирающего и рассеивающего типа с равномерным расстоянием между горизонталями;
- непараллельно, контурно-горизонтально, криволинейно – на склонах собирающего и рассеивающего типа с равномерным расстоянием между горизонталями;
- субгоризонтально, непараллельно, криволинейно – на склонах собирающего и рассеивающего типа с неравномерным расстоянием между горизонталями;
- контурно-параллельно со спрямлением в ложбинах на склонах с неравномерным расстоянием между горизонталями.

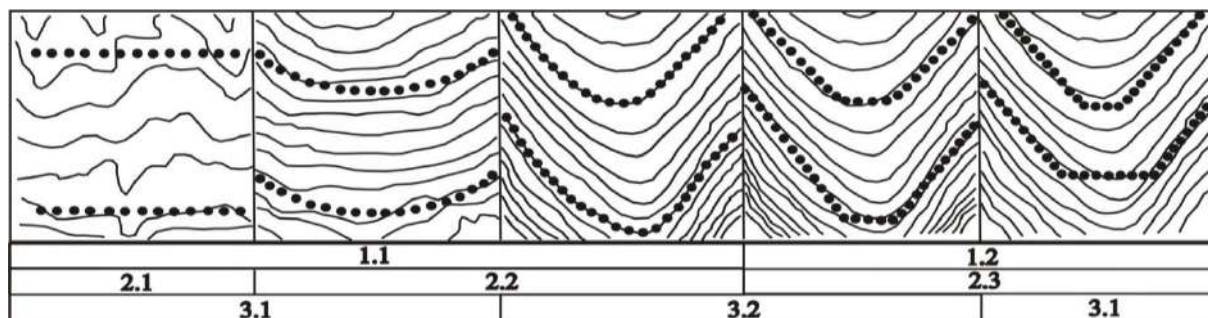


Рис. 9. Варианты трассирования стокорегулирующих лесополос (Е. А. Гаршинев): 1.1 – горизонтальное (контурное), 1.2 – субгоризонтальное (субконтурное), 2.1 – прямолинейное, 2.2 – криволинейное, 2.3 – криволинейно-прямолинейное, 3.1 – эквидистантное (параллельное), 3.2 – неравнорядное (непараллельное)

При проектировании стокорегулирующих лесных полос необходимо стремиться к их параллельности. При этом контурность (кривизна) лесных полос, если они являются направляющими линиями обработки, должна проектироваться такой, чтобы начав обработку от лесных полос, радиусы загонов на всем участке были бы не менее 60-70 м.

Лесополосы, размещаемые с учетом рельефа, способны сократить склоновый сток на величину от 4-7 мм в маловодные годы до 24-34 мм в многоводные, что намного превышает стокорегулирующий эффект обычных агротехнических приемов.

Доля поглощенного полевого стока составляет величину от 0,13-0,54 в многоводные годы, до 0,74-0,89 в маловодные и 0,25-0,84 в средневодные. Вместе с тем стокорегулирующий эффект лесополос может быть повышен различными приемами: мульчированием почвы в междурядьях и особенно применением гидротехнических средств – валов, канав и их сочетаний, – обеспечивающих слабое промерзание почвы или его отсутствие (особенно в днищах канав). При этом максимальное водопоглощение возрастает в несколько раз – до 3000-5000 мм и более. Это обеспечивает поглощение талых вод в средневодные годы до 40-50 мм и более.

При определении лесоводственно-мелиоративных параметров проектируемых лесополос руководствовались следующими положениями:

1) функциональное назначение лесных полос на склонах заключается в сочетании главным образом стокорегулирующих, почвозащитных и ветроломных функций. При этом ветроломные функции хотя и играют вспомогательную роль, обеспечивая агроэкономическую эффективность лесополос, их использование важно в первую очередь в противоэрозионно-гидрологическом плане;

2) главное функциональное назначение стокорегулирующих и прибалочных лесополос – поглощение вод поверхностного стока и защита почв от эрозии – определяется в первую очередь сочетанием их с гидротехническими сооружениями. Ветроломные их функции определяются конструкцией лесополос, которая, в свою очередь, зависит от породного состава, схемы смешения и размещения пород, числом рядов и др.;

3) максимум мелиоративного эффекта должен обеспечиваться минимумом отвода земли (в первую очередь, пашни) под лесополосы;

4) технологичность параметров лесных полос, обеспечивающая удобство выполнения операций по закладке, выращиванию насаждений и лесоводственным уходам.

Ориентировочная ширина лесных полос, как с водозадерживающими, так и с водонаправляющими гидротехническими сооружениями дифференцирована по природным зонам и крутизне склона (табл. 8). Расстояние между рядами рекомендуется в степи 3 м, в лесостепи 2,5 м, а в нижнем междурядье, в котором устраивается канава, 3 м. Во всех случаях общая ширина лесных полос, включая верхнюю закрайку и гидротехническое сооружение (канавы, основание вала), не должна превышать 12 м.

**Оптимальная ширина лесных полос в сочетании с гидротехническими сооружениями**

Крутизна склона, град.	Тип сооружений	Рабочая высота земляного вала, м	Ширина* лесной полосы, м	
			ступень	лесоступень
1,0-2,0**	Водозадерживающий или водонаправляющий земляной вал	0,3-0,4	9	8
2,1-3,0	Канавы с валом	0,4-0,5	9	8
3,1-4,0	Канавы с валом	0,5-0,7	9	6
4,1-5,0	Канавы с валом увеличенного размера при подсыпке грунта бульдозером	0,7-0,9	6	6
5,1-6,0	То же	0,9-1,1	6	6

*\* Уменьшение ширины лесных полос с увеличением крутизны склонов проводят при одновременном сокращении межполосных расстояний; \*\* для районов интенсивного проявления водной эрозии.*

**4.4. Критерии оценки инфильтрации влаги в почву и стокорегулирующей роли лесополос**

При инфильтрации воды в талую почву и взаимодействии осадков с субстратом, как только все поры и поверхность элементарных почвенных частиц и почвенных агрегатов будут полностью заняты водой, на поверхности субстрата образуется сплошная менисковая пленка. Сток формируется только после ее образования [16]. При снеготаянии проникновение воды в почву происходит в результате теплообмена и находит объяснение с позиций концепции ледяного экрана. Суть этой концепции в следующем. При снеготаянии в результате теплообмена талая вода, отнимая часть запасов холода почвы, превращается в лед, полностью перекрывающий все почвенные поры и создающий феномен неводопроницаемого слоя (экрана). Лишь после разрушения ледяного экрана (оттаивания почвы) начинается собственно инфильтрация. За период снеготаяния, как правило, почва не успевает полностью оттаять, и количество усвоенной влаги, поэтому в точности равно объему свободных пор в оттаявшем слое [3, 14]. Мощность этого слоя в годы со стоком варьирует в пределах 3-30 см, составляя в среднем 9-27 см на зяби и



8-10 (до 24) см на уплотненной пашне, и убывает от 15-27 см в лесостепи до 9-19 см в сухой степи. Таким образом, усвоение влаги мерзлой почвой определяется самым верхним (приповерхностным) слоем незначительной мощности. Было также установлено [3], что верхний слой почвы в гидрологическом отношении является саморегулирующейся системой. Он способен поглотить и удержать определенное количество воды, максимальная величина которого в мерзлом состоянии может достигать полной влагоемкости верхнего слоя. Дефицит влаги (разница между полной влагоемкостью  $W_{пв}$  и фактическими влагозапасами  $W_{ф}$ ) обуславливает величину водопоглощения. Слой стока  $У$  зависит от дефицита влаги в почве  $\Delta W$  и снегозапасов перед снеготаянием  $W_c$ . В общем виде уравнение можно записать так:

$$У = W_c - (W_{пв} - W_{ф}) = W_c - \Delta W.$$

В рамках концепции ледяного экрана и термоинfiltrации находят свое объяснение указанные парадоксы усвоения влаги мерзлой почвой, а также низкий стокорегулирующий эффект или его отсутствие при применении агротехнических приемов регулирования стока (поделка микрорельефа, поперечная вспашка, рыхление, кротование и т. д.) во всех тех случаях, когда они не обеспечивают контакт воды с талыми (незамерзшими) слоями почвы. Этот контакт могут обеспечить лишь глубокое (ниже границы промерзания) щелевание почвы, устройство водопоглощающих канав, создание лесополос, обеспечивающих резкое уменьшение глубины промерзания почвы или исключаящих его, особенно при их сочетании с гидротехническими устройствами (канавами с талым дном).

Изложенные концепции сплошной менисковой пленки и ледяного экрана позволили разработать математические модели инfiltrации [15], в т. ч. с использованием известных разработок [10].

Аналитическое описание интегральных характеристик инfiltrации при подтоке (в насаждение или на иной стокорегулирующий фон), а также при обычных дождевых и весенних паводках имеет вид следующих математических моделей:

$$w = w_m [1 - \exp(-i_o/w_m)] - \text{для скорости процесса, мм/мин}$$

$$\text{и } W = W_m [1 - \exp(-I_o/W_m)] - \text{для слоя инfiltrации, мм,}$$

где  $w$  и  $W$  – текущие значения характеристик инfiltrации;  $i_o$ , и  $I_o$  – текущие значения характеристик осадков;  $w_m$  и  $W_m$  – значения максимальной инfiltrационной способности почвы.

При определении подтока в лесные насаждения применяются следующие выражения:

$$W_{л} = W_{лм}[1 - \exp(-P_c/W_{лм})], \quad (10)$$

$$Kw_c = W_{л}/P_c = W_{лм}(1 - \exp(-P_c/W_{лм}))/P_c, \quad (11)$$

$$P_c = P_{п} + h_{л}, \quad (12)$$

$$P_{п} = S_{п}(L_{п}/B_{л}), \quad (13)$$

$$\Delta S_{п} = B_{л}(W_{л} - h_{л})/L_{п}, \quad (14)$$

где  $W_{л}$  и  $W_{лм}$  – текущее суммарное и максимальное водопоглощение в лесном насаждении;  $Kw_c$  – коэффициент суммарного водопоглощения;  $P_{п}$  и  $P_c$  – слой полевого и суммарного подтока в насаждение;  $h_{л}$  – осадки под пологом насаждения;  $S_{п}$  – слой полевого стока;  $L_{п}$  – длина полевого склона;  $B_{л}$  – ширина лесного насаждения;  $\Delta S_{п}$  – слой сокращения полевого стока за счет поглощения в насаждении. Выражения 10-14 применимы и для других агрофонов.

Из соотношения  $W = h_{сн} - S$ , где  $h_{сн}$  – запасы снеговой воды и  $S$  – слой стока, получается выражение для расчета стока [19]:

$$S = W_m \left\{ \frac{h_{сн}}{W_m} - [1 - \exp(-h_{сн}/W_m)] \right\}. \quad (15)$$

#### **4.5. Критерии оценки ветроломной роли лесополос**

В районах активного проявления эрозии почв, где возможно достижение критических значений смыва (1-2 т/га), стокорегулирующие лесополосы на пахотных склонах и иных сельскохозяйственных угодьях размещаются поперек склона или по контуру горизонталей независимо от степени преобладания метельных или суховейных ветров по румбам или осям направлений.

В районах совместного проявления вредоносного действия воды и ветра применение критериев предельной крутизны склона при выборе способа ориентации лесополос (размещение с учетом рельефа при крутизне более 1-3°) некорректно, ибо смыв почвы определяется не только крутизной склона, но и его длиной. Более приемлем критерий минимума проявления вредоносного явления. Минимум эрозии достигается при контурном размещении лесополос. Учет ветроломного влияния лесополос необходим для оценки снегораспределительного эффекта стокорегулирующих лесополос при разной их ориентации относительно преобладающего направления (румба или оси) метельного ветра. Изменение дальности влияния лесополосы описывается зависимостью [12, 16, 26, 27]:

$$L_{\alpha} = L_{\alpha \max} \cos \alpha, \quad (16)$$



где  $L_{\alpha \max}$  – максимальная дальность влияния лесополосы при перпендикулярном к ней направлении ветра ( $\alpha = 0^\circ$ ),  $\alpha$  – угол между перпендикуляром к лесополосе и направлением ветра.

По данным Е. А. Гаршинева [16] выражение (16) выявляет очень слабое изменение дальности влияния лесополос при отклонении ветра от перпендикулярного к ним направления. Так, отклонение на угол  $10-20^\circ$  изменяет дальность влияния всего на 2-6 %. При отклонении на  $30^\circ$  это изменение ощутимо (13 %), но невелико. Лишь при отклонении на угол  $30-45^\circ$  уменьшение дальности влияния достигает 20-30 %.

Следовательно, расчет размещения ветроломных лесополос по данному выражению неточен. Требуется определить преобладающее направление ветра. Часто за него принимается румб с наибольшей повторяемостью ветра  $n$  (%). Однако более правильно ориентировать лесополосы с учетом суммы повторяемости ветров по парным противоположным направлениям (осям). Ее рассчитывают по суммарной дальности ветроломного влияния лесополосы ( $R$ ) как суммы проекций дальности влияния лесополос.

Для оценки интегральной ветроломной эффективности лесополосы применяется выражение для 16-румбовой градации направления ветра [16]:

$$R = K_0 \sum n_{1,9} + K_{22,5} \sum n_{2,8,10,16} + K_{45} \sum n_{3,7,11,15} + K_{67,5} \sum n_{4,6,12,14} + K_{90} \sum n_{5,13}, \quad (17)$$

где  $K = \cos \alpha$  (индексы при  $K$  – углы  $\alpha$  в градусах),  $n$  – повторяемость направлений, % (индексы при  $n$  – порядковые номера румбов при счете по часовой стрелке от северного румба). Для 8 румбов применяется то же выражение с нумерацией румбов от 1 до 8 и градацией угла  $\alpha = 45^\circ$ .

Характеристика  $R$  рассчитывается в двух вариантах: "абсолютная"  $R_{\text{абс}}$  по выражению (17) и "относительная"  $R_{\text{отн}} = 100R_{\text{абс}}/R_{\text{п}}$ , где  $R_{\text{п}}$  – оценка для преобладающей оси с максимальным значением  $R$ .

Для преобладающей оси направлений обычно  $70\% > R_{\text{п}} > 60\%$  [12, 14]. Таким образом, направление преобладающих ветров на рассматриваемой территории выражено слабо и отклонение трасс лесополос от перпендикуляра к оси  $R_{\text{п}}$  на угол  $45^\circ$  и даже  $90^\circ$  не приводит к существенному уменьшению их ветроломной эффективности. Размещение лесополос с учетом рельефа позволяет в подавляющем большинстве случаев оптимально использовать и их ветроломные функции.

## 5. КРИТЕРИИ ОПТИМИЗАЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ СТОКОРЕГУЛИРУЮЩИХ ЛЕСНЫХ ПОЛОС

Создание стокорегулирующих и противоэрозионных лесных полос обуславливает ряд специфических особенностей проявления факторов, воздействующих на эрозионно-гидрологический процесс. Е. А. Гаршинёв разработал концептуальную модель (схему) мелиоративного воздействия стокорегулирующих и противоэрозионных лесных полос лесополос на природные факторы ЭГП (рис. 10) [16].

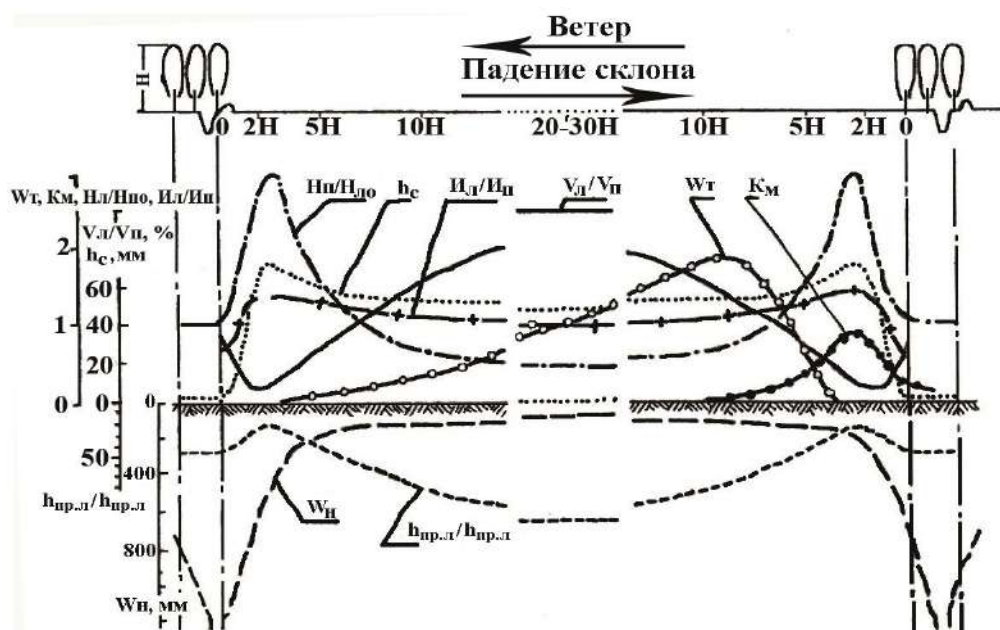


Рис. 10. Схема мелиоративного действия противоэрозионных лесополос:

$U_{л}, U_{п}$  – скорость ветра,  $H_{л}, H_{п}$  – высота снега,  $h_{пр. л}, h_{пр. п}$  – глубина промерзания почвы,  $W_{л}$  – водопоглощение,  $K_{м}$  – кольматаж мелкозема,  $u_{л}, u_{п}$  – урожайность. Индекс "п" означает открытое поле вне влияния ЛП и "л" – защищенное лесополосами поле или лесополосу (лес – л<sub>о</sub>)

Изменяя ветровой режим, лесополосы способствуют дополнительному снегоотложению в зоне их влияния, уменьшению глубины промерзания почвы, вследствие чего повышается их инфильтрацион-

ная способность, сокращается или совсем предотвращается поверхностный сток, увеличиваются запасы почвенной влаги, влагообеспеченность сельскохозяйственных растений и их урожайность. По этим критериям мы должны давать оценку эффективности системы мероприятий по управлению ЭГП.

Выбор параметров системы контурных стокорегулирующих лесных полос осуществляется по нескольким критериям: по расположению лесных полос относительно стран света, по ширине межполосного пространства, по подбору пород, по конструкции лесополос (ширина, число рядов, соотношение главных, вспомогательных пород и кустарников, по сочетанию лесополос с гидротехническими сооружениями).

### **5.1. Выбор параметров размещения стокорегулирующих лесных полос на водосборе**

В рекомендациях инструктивных документах по внутрихозяйственному землеустройству и размещению лесных полос строго предписывалось нарезать поля в виде больших прямоугольников с размещением длинной стороны поперек наиболее вредоносных господствующих ветров.

Многолетние исследования ученых и наблюдения практиков [2, 14, 16, 17] показали, что на подавляющей территории степного региона не выражено преобладающее направление вредоносных метельных и суховейных ветров; как правило, розы ветров очень редко имеют резкую асимметричность и обычно характерны для предгорных районов и, как исключение, для районов "Армавирского коридора" и Кулунды. В целом ветры дуют с разных направлений, а эрозионная самоорганизация рельефа приводит к тому, что склоновые земли водосборных бассейнов различной иерархии (ложбин, лощин, суходолов, малых рек и т. д.) имеют самую разную ориентацию по отношению к странам света. Прямолинейность границ полей и лесных полос, и прямоугольность самих полей входят в противоречие с нелинейной формой склоновых катен; при этом вспомогательные полосы, расположенные вдоль склона, накапливают на прилегающих полях мощные снежные шлейфы, которые становятся источниками концентрированного поверхностного стока и в местах их прохождения на полях формируются промоины и размывы.

Важным аргументом в пользу дифференциации способа размещения лесополос с учетом крутизны склона было бы резкое измене-

ние их ветроломной эффективности при отклонении от перпендикулярного к вредоносным ветрам направления, однако этот вопрос нуждается в специальной проработке. Анализ ветрового режима, осуществленный Е. А. Гаршиным [12, 16] по материалам более 2000 метеостанций страны позволил сделать ему вывод о том, что на значительной части территории Северной Евразии отклонение размещения лесополос от перпендикуляра к оси преобладающих направлений ветра на угол 45 и даже 90° не приводит к существенному уменьшению их ветроломной эффективности.

Очень важным аргументом в пользу критерия размещения лесных полос с учетом рельефа местности (поперек склона), а не направления вредоносных ветров, служит тот факт, что сток талых вод формируется на склонах независимо от их крутизны. Результаты наших исследований и анализ литературных данных показывают, что весенний сток формируется на любых склонах и он почти не зависит от их крутизны. Если почва промерзла глубже 50 см и она сильно увлажнена, то сток формируется на склонах любой крутизны [6, 16].

Эти выводы очень важны при решении вопроса о размещении лесополос в районах совместного проявления эрозии и вредоносных ветров (главным образом Нечерноземье, ЦЧО, Среднее Поволжье). Иными словами, в таких районах лесополосы необходимо размещать, ориентируясь на рельеф местности. На значительной части территории (районы Северного Кавказа, Средней Азии, Западной Сибири), где направления ветра сильно выражены и где, как правило, высока вероятность дефляции, при размещении лесополос 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 вредоносных ветров не свидетельствует об ухудшении ветроломной функции лесополос. Наоборот, это означает, что их ветроломная эффективность будет примерно одинаковой почти по всем направлениям. Это очень важно, так как обеспечивает оптимальное сочетание ветроломной, стокорегулирующей и противозэрозийной функций лесополос.

Совокупность изложенных выше 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 стокорегулирующей и противозэрозийной функций лесополос.

Поэтому в районах проявления водной эрозии почв все защитные лесные полосы независимо от крутизны склона должны размещаться поперек склона (или контурно, перпендикулярно линии стока).

## 5.2. Критерии формирования лесополос по породному и видовому составу

Рекомендуемый породный и видовой состав для противоэрозионных защитных лесных насаждений приведен в табл. 9.

Таблица 9

### Ассортимент древесных и кустарниковых пород для создания систем защитных лесных насаждений на водосборах [1]

Порода	Категория мелиоративно-хозяйственных площадей											
	склоны от водораздела до берегов рек		лощины, берега балок, коренные берега рек		дно				откосы оврагов		прирусловая часть долины	
	I	II	I	II	балок		оврагов		I	II	м	п
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Главные породы</i>												
Дуб черешчатый (т, л)	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-
Береза повислая (л)	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+-
Робиния лжеакация (м)	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-
Лиственница сибирская	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+
Сосна обыкновенная (л)	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+
Ясень зеленый	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Осина	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+
Тополь бальзамический	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+
Тополь канадский	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+
Тополь белый	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+
Осокорь	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+
Ива белая (т, м)	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+
Ива ломкая (т, м)	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+
<i>Сопутствующие породы</i>												
Груша лесная (п-я)	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+
Рябина обыкновенная (п-я)	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+
Клен остролистный (м)	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-
Вяз обыкновенный	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-
Липа мелколистная (м)	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+
Клен ясенелистный	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Лиственница сибирская	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+
Сосна обыкновенная (л)	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+
Ясень зеленый	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Осина	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+
Тополь бальзамический	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+
Тополь канадский	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+
Тополь белый	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+
Осокорь	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+
Ива белая (т, м)	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+
Ива ломкая (т, м)	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+
<i>Сопутствующие породы</i>												
Груша лесная (п-я)	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+
Рябина обыкновенная (п-я)	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+
Клен остролистный (м)	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-
Вяз обыкновенный	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-
Липа мелколистная (м)	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+
Клен ясенелистный	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-
Вяз обыкновенный	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+
Клен полевой (м)	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+
Шелковица белая (п-я)	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+
Алыча (п-я)	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-	+
Берест (м)	-	+	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-
Ольха серая и черная	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+
<i>Кустарники</i>												
Лещина (т)	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+
Жимолость (м)	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Клен татарский (м)	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
Смородина золотая (п-я)	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-	+
Бирючина	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Облепиха (п-я, л)	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-	+
Ирга (п-я)	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Бузина красная	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Спирея	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Терн (п-я)	+	+	+	+	+	--	-	-	+	+	-	-
Арония черноплодная (п-я)	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-
Карагана древовидная	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Вишня магалебка (п-я)	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+
Айва японская (п-я)	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Калина обыкновенная		-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Айва японская (п-я)	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Калина обыкновенная		-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+
Шиповник (л)	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+
Скумпия (т)	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-
Боярышник (л)	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Ива корзиночная	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+
Ива трехтычинковая	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+
Ива красная	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+
Ива пятитычинковая	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+
Ива пурпурная	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+
Ива остролистная	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+
Ива каспийская	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+
Ива серая	-		-	-	+	+	+	+	-	-	+	+

*Примечание.* Помимо общепринятого деления ассортимента пород на главные, сопутствующие и кустарниковые, приведены и дополнительные обозначения: индексом "т" обозначена возможность применения породы как технической, "м" – медоносной, "л" – лекарственной, "п-я" – плодово-ягодной; I – лесостепь, II – степь; м – меженные берега, п – прибрежная часть долины.

В лесостепной и степной зонах необходимо шире использовать малорядные (2-4-рядные) полосы с древесно-кустарниковым типом смешения главных пород с низкорослыми, совместимыми с главной породой, кустарниками (кизильники, смородина альпийская, вишня степная и войлочная, дикий миндаль и другие). В качестве главных пород рекомендуется использовать березу, лиственницу, дуб, липу, ель. Смешение проводится рядное и внутри рядов (главная порода в ряду чередуется с кустарником).

### 5.3. Критерии оптимизации лесополос по аэродинамической конструкции

Многолетними исследованиями ВНИАЛМИ (сейчас ФНЦ агроэкологии РАН) и его опытной сети, других научных учреждений установлены 3 главные аэродинамические конструкции лесных полос: продуваемая, ажурная и плотная. Лесные полосы различной конструкции влияют на характер снегоотложения неодинаково. В плотных лесополо-

сах (практически без просветов по всему профилю) и в их приопушечной части собираются большие снежные сугробы за счет снега, сдуваемого с межполосного пространства. Это обеспечивает предохранение почвы от промерзания, но талая вода теряется с полей, кроме того из-за продолжительного периода таяния сугробов в приопушечной части задерживается начало проведения весенних полевых работ.

Продуваемые лесные полосы (крупные просветы между стволами и практически без просветов в кронах) обеспечивают относительно равномерное распределение снежного покрова в межполосном пространстве, однако в самих лесных полосах вследствие выдувания его откладывается недостаточно, чтобы предохранить почву от промерзания. Такая конструкция уменьшает кольматирующую способность лесополосы, что связано с отсутствием кустарника в опушечных рядах.

Лесные полосы ажурной и плотной конструкции по характеру снегоотложения занимают промежуточное положение. В некоторые годы они накапливают возле себя большие сугробы, как и плотные. Также бывают случаи, когда снег из них выдувается, как из продуваемых. В целом ажурные лесополосы обеспечивают предохранение почвы от глубокого промерзания, однако не обеспечивают оптимального снегоотложения в межполосном пространстве.

Наилучший эффект на защищаемых полях дают лесополосы продуваемой конструкции, несколько хуже – ажурной (существенно укороченный снежный шлейф на прилегающих полях) и плотной (весь задерживаемый снег располагается в виде больших сугробов внутри самой лесной полосы). Каждая конструкция имеет свои преимущества и недостатки. Так, продуваемые полосы отлично распределяют снег на защищаемых полях, но в самой полосе он практически не накапливается и они испытывают недостаток влаги, вследствие чего ослабляются и начинают разрушаться. Как видно из анализа, ни одна из вышеперечисленных конструкций не удовлетворяет условиям, необходимым для рационального воздействия на эрозионно-гидрологический процесс и, следовательно, необходим поиск новой конструкции. В идеале нужна такая конструкция лесной полосы, которая бы оптимально распределяла снег на защищаемых полях, как продуваемая, но и в достаточной степени обеспечивала потребности самого насаждения в воде. Для этого к концу зимы слой снега внутри полосы должен быть высотой 40-55 см.

Для выполнения этих функций нами была предложена комбинированная конструкция стокорегулирующей лесополосы [28]. Как из-



вестно, около 90 % метельного снега переносится на высоте до 10 см от поверхности почвы. Следовательно, создав препятствие необходимой высоты (в нашем случае 50 см), можно накапливать переносимый метелью снег до высоты преграды, а далее он будет через нее переноситься и равномерно откладываться в межполосном пространстве. На этом основано снегонакопительное и снегораспределительное действие лесополосы комбинированной конструкции. Поставленная цель достигается путем создания на водосборе системы стокорегулирующих лесополос из двух-трех рядов деревьев и одного ряда низкорослых кустарников (рис. 11, 12). Лесная полоса такой конструкции имеет следующий вертикальный профиль по продуваемости: в нижней части, примерно до 0,5 м от поверхности земли – плотная, выше – до 1,5-2,0 м продуваемая (без сучьев), а еще выше ажурная. Плотную нижнюю часть лесополос создают методом подбора низкорослого кустарника при посадке или путем подрезки высокорослого кустарника до необходимой высоты в существующих лесополосах. Продуваемую часть профиля лесополосы формируют подбором пород без сучьев или с небольшим их количеством на высоте до 2 м при посадке или путем обрезки сучьев на деревьях в существующих лесополосах.

При этом продуваемость лесополос по профилю формируют следующую: в нижней части (до 0,3-0,5 м от поверхности земли) лесополоса должна быть плотная (до 10 % просветов и ветропроницаемость до 25-30 %), в средней (до 1,5-2,0 м) – продуваемая (свыше 60 % просветов и ветропроницаемость более 70 %) и в верхней (выше 2 м) ажурная или плотная (до 15-35 % просветов и ветропроницаемость 25-75 %). Она



Рис. 11. Лесополоса комбинированной конструкции с низкорослым кустарником (фото В. И. Панова)

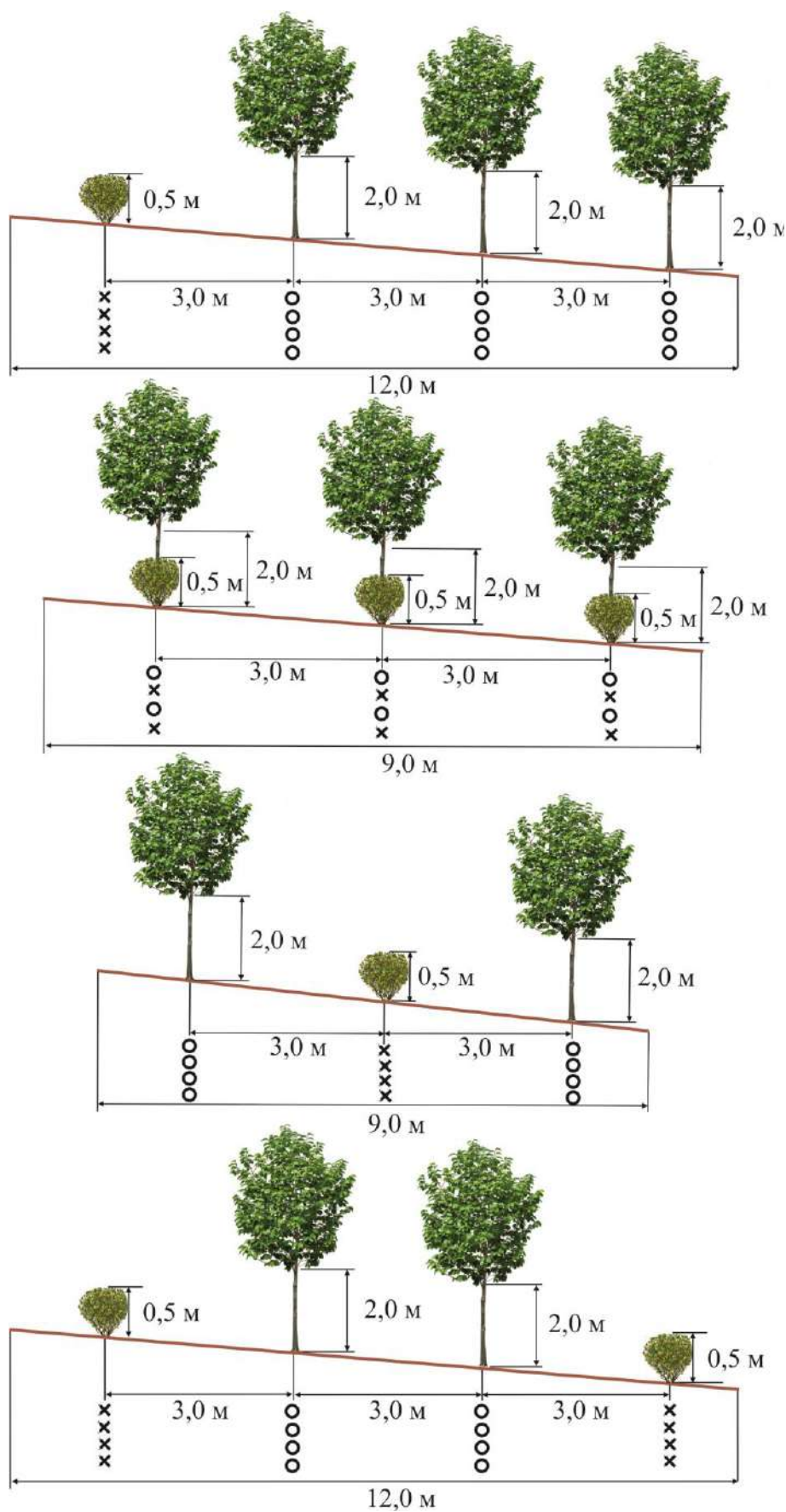


Рис. 12. Схема вариантов создания лесополос комбинированной конструкции

обеспечивает достаточно равномерное и эффективное снегораспределение и снегонакопление на прилегающих полях (действует как продуваемая), а за счет ряда низкорослого кустарника – необходимый снегозапас в самой полосе. Внутри лесополос комбинированной конструкции по сравнению с продуваемой накапливается существенно больше снега, что обеспечивает успешный рост и устойчивое состояние лесополосы в суровых условиях засушливой степной зоны. Комбинированная конструкция к тому же обеспечивает более равномерное снегораспределение и более длинный, как и продуваемая, снежный шлейф на защищаемых полях.

Известно, что высота снежного покрова в лесной полосе существенно влияет на теплоизоляцию почв зимой, глубину и степень промерзания почвы и грунта, а следовательно, на водопоглощение, поверхностный сток и эрозию в период весеннего снеготаяния.

Специфика стокорегулирующих лесных полос состоит в том, что при их создании доминирует целевое назначение – обеспечение наилучшего снегораспределительного эффекта на защищаемых полях, а снегонакопление внутри самих лесных полос (для предотвращения почвы от промерзания и достижения достаточного влагообеспечения деревьев) рассматривается как второстепенный фактор, хотя это важное условие их долговечности и устойчивости.

Решить эту проблему позволит создание агролесоландшафтов с системами стокорегулирующих лесополос комбинированной конструкции за счет улучшения влагообеспеченности деревьев при сохранении высокого снегораспределительного эффекта на защищаемых полях. Это положительно скажется на продуктивности сельскохозяйственного производства и во многом на общем улучшении экологической обстановки в степной и лесостепной зонах Российской Федерации.

#### **5.4. Критерии размещения сельскохозяйственных культур в системе стокорегулирующих лесополос**

Для рационального интенсивного использования пашни и защиты почв от эрозии нами предложен способ сочетания лесных полос с различным размещением сельскохозяйственных культур [29], который обеспечивает повышение эффективности противоэрозионного комплекса за счет уменьшения смыва почвы в межшлейфовых зонах межполосных пространств. Это достигается созданием на водосборе

системы приводораздельных, стокорегулирующих, прибалочных лесных полос и полосным размещением сельскохозяйственных культур в прилегающих к ним зонах – во взаимосвязи.

При этом вблизи лесных полос, в зонах отложения снежных шлейфов, высевают яровые культуры, под которые требуется вспашка зяби, или размещают чистые пары, а в средней части межполосного пространства – почвозащитные полосы из многолетних трав, озимых, стерневых и других мульчирующих агрофонов.

Такой способ защиты почв от эрозии осуществляется следующим образом. Поперек склона вдоль горизонталей (по контуру) создают систему лесных полос. В зоне преимущественного отложения их снежных шлейфов (на расстояниях, кратных 5-10 высотам лесных полос), на межполосных полях выделяют пояса, предназначенные для размещения посевов яровых, пропашных культур или черных паров.

Вне зоны снежных шлейфов, на расстояниях свыше 5-10 высот лесополос, размещают почвозащитные полосы, которые используют под севообороты с большим насыщением многолетними травами, озимыми культурами, на них проводят зяблевую обработку с сохранением стерни и создают специальные замульчированные полосы, устойчивые к смыву.

Механизм эрозии при таком способе размещения сельскохозяйственных культур следующий. В процессе таяния в первую очередь освобождается от снега средняя часть межполосного пространства (почвозащитная полоса или мульчирующий агрофон).

Талая вода, поступающая из снежного шлейфа, примыкающего к нижней опушке приводораздельной лесополосы, на почвозащитную полосу не производит на ней смыва вообще или он бывает незначительный. Здесь даже наблюдается кольматаж мелкозема. Проходя через эту полосу, вода поступает на участок с отвальной зябью, расположенный в зоне снежного шлейфа, образованного нижележащей стокорегулирующей лесополосой. Здесь под снегом вода также не производит смыва, а в снеге происходит кольматаж мелкозема, принесенного сверху.

Полосное размещение сельхозкультур в системе лесных полос обеспечивает снижение смыва почвы в 2-3 раза, а в ряде случаев, в зависимости от условий формирования снежного покрова, позволяет предотвратить его полностью.

### 5.5. Критерии сочетания стокорегулирующих лесополос с простейшими гидротехническими сооружениями

Простейшие гидротехнические сооружения применяют для гашения кинетической энергии сосредоточенных потоков и их распыления; задержания в лесной полосе вод местного стока, поступающих с вышерасположенных участков склона; повышение водопоглощающей способности почв под лесными полосами; отвода избыточного поверхностного стока под пологом лесных полос.

Конструкции простейших гидротехнических сооружений определяются характером формирования и прохождения местного стока, размером водосбора и крутизной склона, почвенно-геологическими и гидрологическими условиями, допустимыми (неразмывающими) скоростями водных потоков.

В зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения на склоновых землях крутизной 1-6° лесные полосы сочетаются с водозадерживающими земляными валами и валами-канавами.

В зоне избыточного увлажнения – с водонаправляющими земляными валами и валами-канавами. Излишек стока с неразмывающей скоростью отводят под лесным пологом или валами-канавами.

Предельно допустимый уклон трассы лесных полос и валов водонаправляющего типа рассчитывают по уравнению [31]:

$$i_{\text{тр.лп}} = \frac{V^2}{0,5C^2h_p}, \quad (18)$$

где  $V$  – неразмывающая скорость течения воды, м/с (табл. 10);  $C$  – коэффициент Шези;  $h_p$  – рабочая высота водонаправляющего вала, размещенного по нижней опушке лесной полосы, м.

Излишки стока по залуженным ложбинам сбрасывают в гидрографическую сеть, водоемы-копани и лиманы. При сбросе (местного) стока в гидрографическую сеть предусматривают необходимые гидротехнические сооружения: быстротоки, перепады, консольные водосбросы, дренажные подушки и др. На склонах до 2° лесные полосы обваловывают по нижней опушке плантажным плугом. Общая высота вала до 50 см, рабочая высота 30-40 см. Залужение откосов валов принимают равным 1,0-1,5 с дополнительным их креплением посевом многолетних трав. На склонах 2-4° по нижней опушке или в нижнем междурядье лесной полосы устраивают канавы с валом. Глубина канав при этом 1,0-1,5 м, ширина 0,4-1,0 м, рабочая высота валов 50-70 см при

общей высоте 70-100 см. На более крутых склонах создают канаву с валом с рабочей высотой вала 70-90 см. При пересечении трассы лесной полосы ложбинами высоту земляных валов увеличивают, доводя ее до отметки рабочей высоты валов на межложбинных участках.

Таблица 10

**Неразмывающие скорости течения воды для различных грунтов [32]**

Грунт	Размеры частиц грунта, мм	Допустимые средние скорости (м/с) при средней глубине потока, м		
		0,4	1	2
Пыль, ил	0,005-0,05	0,12-0,17	0,15-0,21	0,17-0,24
<i>Песок</i>				
Мелкий	0,05-0,25	0,17-0,27	0,21-0,32	0,24-0,37
Средний	0,25-1,0	0,27-0,47	0,32-0,57	0,37-0,65
Крупный	1,0-2,5	0,47-0,53	0,57-0,67	0,65-0,75
<i>Глина и суглинок</i>				
Средней плотности	-	0,7	0,85	0,95
Плотные	-	1,0	1,2	1,4
Очень плотные	-	1,4	1,7	1,9
Супеси	Аналогично песку			
Растительный грунт	-	0,12-0,17	0,15-0,21	0,17-0,24
Лёссовидные грунты	-	0,6	0,7	0,8

Для повышения водопоглощения в лесных полосах водонаправляющие сооружения дополняют перемычками-водообходами, которые с целью снятия отрицательного действия напаша, необходимо продлить на 5-10 м за пределы верхней границы лесных полос. Высоту перемычек и расстояние между ними рассчитывают с учетом уклона вдоль лесополосы, глубины канавы и высоты вала.

Сброс воды из водонаправляющих сооружений осуществляют в местах пересечения трасс лесных полос с ложбинами, в пределах которых проектируют серию запруд. Дно и склоны ложбин засевают многолетними травами.

По трассе каждой стокорегулирующей лесной полосы в первую очередь создают водозадерживающий или водонаправляющий вал или канаву с валом. Валы формируют за 4-6 проходов плантажным плугом с отвалом грунта вверх и вниз по склону с образованием отвального

гребня. Борозды, образованные с обеих сторон гребня, заравнивают.

Канавы с валами размещают по нижней опушке лесных полос или канаву – в нижнем междурядье (через 2-3 года после посадки), а вал на нижней опушке.

В качестве дополнительных мероприятий по повышению противоэрозионной эффективности рекомендуется в лесополосах с гидротехническими сооружениями водозадерживающего типа проводить щелевание междурядий до 1 м, а водонаправляющего типа – на глубину 40-50 см.

Для обеспечения безопасного сброса излишков стока на каждом участке с сетью лесополос используют дренажные ложбины, площади которых занимают под травы и кустарники. На участках пересечения лесополос с дренажными ложбинами земляные гидротехнические сооружения не устраивают.

## 6. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ПРОТИВОЭРОЗИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

В литературе очень часто ошибочно отводится большая роль в регулировании стока агротехническими мероприятиями. Наши исследования и обобщение имеющихся литературных данных позволили дать количественную оценку их стокорегулирующей и противоэрозионной эффективности (табл. 11).

Таблица 11

### Эффективность противоэрозионных агротехнических приемов

Прием	Количество годовых опытов	Уменьшение (–) или увеличение (+) в сравнении с контролем		
		стока, мм	смыва, т/га	урожая, ц/га
Глубокая зяблевая вспашка	22	–6	–0,9	+1,2
Щелевание зяби	6	–3	–0,3	–0,1
Вспашка поперек склона или по контуру	14	–2	–0,4	+0,8
Обвалование зяби	39	–5	–0,2	+1,1
Ступенчатая вспашка	14	–1	–1,1	+1,2
Комбинированная вспашка	25	+2	0	+0,1
Прерывистое бороздование	48	–2	+0,2	+0,9
Лункование зяби	62	+1	+0,1	+0,7
Устройство микролиманов	17	–2	+0,1	+1,8
Плоскорезная обработка	75	+2	–0,1	–0,4

Анализ и обобщение литературных данных и проведенные нами исследования показали, что имеющийся большой набор агротехнических средств не позволяет эффективно воздействовать на процесс водопоглощения почвой влаги зимних осадков. Агротехнические приемы, обладая таким важным положительным свойством, как воздействие на всю территорию, на которой они применяются, малоэффективны в стокорегулирующем и противоэрозионном отношении. Приемы искусственного микрорельефа, щелевание, регулирование снеготаяния неэффективны, углубление пахотного слоя малоэффективно. Мульчирова-



ние поверхности почвы, оструктуривание и обогащение ее органическим веществом (окультуривание) способствуют повышению впитывающей способности и влагоемкости почвы. Однако в настоящее время и в ближайшей перспективе они не могут быть широко применимы из-за трудоемкости, отсутствия средств и недостатка материалов.

Агротехнические приемы в принципе не могут быть высокоэффективны, так как они почти не влияют на природные факторы стока – увлажнение и промерзание почвы, снеготпасы. Это укладывается в рамки важного теоретического положения о том, что почва как саморегулирующаяся система способна поглотить ограниченное количество воды, определяемое состоянием увлажнения почвы. Тот небольшой эффект от применения агротехнических мероприятий бывает не за счет повышения водопроницаемости, а за счет поверхностных емкостей и некапиллярных пор и полостей. Они, как правило, очень малы.

Низкая стокорегулирующая и противоэрозионная эффективность агротехнических приемов не должна являться причиной отказа от них. Однако правильная оценка стокорегулирующей роли агротехнических противоэрозионных мероприятий должна предостеречь от опасного заблуждения, что применяя их можно достичь высокого эффекта в регулировании стока и защите почв от эрозии. Переоценка их роли, имеющаяся в настоящее время в литературе, опасна, так как она создает иллюзию благополучия и снимает необходимость применения других противоэрозионных мероприятий и особенно лесомелиоративных, без которых невозможно создать надежную противоэрозионную защиту. Агротехнические приемы могут применяться в комплексе с другими противоэрозионными мероприятиями.

## **7. КРИТЕРИИ РАЗМЕЩЕНИЯ И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ПРОТИВОЭРОЗИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ**

### **7.1. Гидротехнические противоэрозионные мероприятия на пашне**

К простейшим гидротехническим противоэрозионным мероприятиям на пашне относятся водоотводящие валы, валы-террасы, водоотводящие борозды и др. Они применяются во взаимосвязи с другими противоэрозионными мероприятиями и особенно с лесомелиоративными. Гидротехнические мероприятия на пашне в нашей стране изучались мало и пока не находят широкого применения.

Водопоглощающие канавы с валами применяются для регулирования стока и борьбы с оврагами, обеспечивая регулирование стока талых вод 10 %-ной вероятности превышения.

Высокую стокорегулирующую и противоэрозионную роль играют водоотводящие (водонаправляющие) валы-ложбины в системе контурно-мелиоративного земледелия. Они, отводя воду на безопасные участки, предотвращают смыв почвы, позволяют нарезать одинаковой ширины рабочие загоны и избежать крутых поворотов при их нарезке. Валы-террасы на пашне играют очень большую стокорегулирующую, противоэрозионную и агрономическую роль. Они положительно влияют на снегоотложение, промерзание и влажность почвы, смыв почвы и урожайность сельскохозяйственных культур. Сток талых вод уменьшается на величину от 1-8 до 45-60 мм [3].

Наклонные водоотводящие борозды применяются для защиты почвы от смыва. Их устраивают по нижней границе или внутри полей через 50-100 м плугом с одним корпусом при уклоне по линии пахоты не более 1,0-1,5°.

Таким образом, гидротехнические приемы на пашне, направленные на поверхностное водозадержание и увеличение водопоглощения (валы-террасы), обеспечивают уменьшение стока на 30-50 мм и смыва почвы в 8-12 раз. Однако все эти приемы имеют относительно высокую стоимость, они рассчитаны на строго контурную организацию террито-

рии, что создает сложности в организации работ и эксплуатации. Все это сдерживает их внедрение в практику.

Водоотводящие устройства (наклонные водоотводящие борозды и валы) обеспечивают снижение смыва в 2-8 раз или полное его предотвращение. Они дешевы, просты в создании и эксплуатации, поэтому их целесообразно сейчас применять в производстве.

## 7.2. Гидротехнические противоэрозионные мероприятия на оврагах

Противоэрозионные гидротехнические сооружения и другие способы закрепления оврагов являются последним звеном в общей системе почвозащитных мероприятий. Из простейших гидротехнических сооружений и устройств широко применяются водозадерживающие и водоотводящие валы, валы-плотины, валы-каналы, различные распылители стока, а также донные запруды (в сочетании с укреплением вершин). К сложным водосбросным сооружениям, которые находят применение в практике при укреплении интенсивно размываемых вершин крупных оврагов, относятся различные перепады, быстротоки, а также подпорные стенки. В табл. 12 приводится группировка оврагов по способам их укрепления с применением гидротехнических сооружений.

Таблица 12

### Критерии группировки оврагов по способам укрепления и применения гидротехнических сооружений и устройств [26]

Площадь водосбора, га	Глубина оврага в вершине, м	Средняя глубина оврага, м	Особенности расположения оврагов и активность роста, характеристика балок	Применяемые гидротехнические сооружения и другие способы укрепления
1	2	3	4	5
<i>Донные</i>				
Независимо	1-2	1-2	Расположены по дну на отдельных участках изолированно друг от друга	Производится устройство водоотводящего вала у вершины, засыпка бульдозером оврага и посев многолетних трав
60-100	2-4	Независимо	Рост вершины продолжается	Вершина укрепляется путем выколачивания до угла 4-5° с последующим залужением многолетними травами

1	2	3	4	5
100-150	> 4	Независимо	Происходит углубление и рост вершины	Бетонные лотки быстротоки, трубчатые водосливы, ступенчатые перепады в вершине, современные (при необходимости) с серией плетневых и фашинных запруд по дну оврага
<i>Вершинные</i>				
До 5	< 2	< 2	Продолжается прирост оврага	Засыпка в сочетании с временным отводом стока земляными валами и залужение многолетними травами
До 10	2-3	3-6	Продолжается прирост оврага	Вершины выполаживаются и залужаются, вода временно отводится валами. Дополнительно могут быть запроектированы водозадерживающие и водоотводящие валы
	3-4	> 6	Продолжается прирост оврага	
10-20	4-5	> 6-8	Продолжается рост вершины и углубление дна	Водозадерживающие валы в сочетании с выполаживанием и залужением вершин
> 20	Независимо			Подпорные стенки, ступенчатые перепады. В некоторых случаях могут быть применены водозадерживающие валы
				Бетонные лотки-быстротоки, трубчатые водосливы с серией донных запруд
<i>Береговые</i>				
1-2	Независимо	> 3-4	Берега хорошо задерневшие, без сети свежих промоин, их крутизна преимущественно > 10°	Отвод стока от вершины при помощи распылителей, частичное выполаживание откосов оврагов
			Берега слабо задернели, имеется сеть промоин, исключая возможность отвода стока	Выполаживание оврагов и коренная мелиорация склонов балок
2-3		> 3-4	Состояние берегов позволяет осуществлять сброс стока	Водоотводящие валы со сбросом воды на хорошо задерневшие участки берегов

1	2	3	4	5	
2-3	Независимо	> 3-4	Состояние берегов не позволяет осуществлять сброс стока	Водозадерживающие валы	
3-5		> 5-6	Крутизна склона в зоне вершины до 5°, дно с рытвинами, перепадами, свежими промоинами	Водозадерживающие валы в сочетании с выполаживанием вершин и донными запрудами	
			Крутизна склонов в вершине свыше 5°. Состояние берегов позволяет осуществить сброс воды	Система водоотводящих валов	
			Крутизна склонов в вершине свыше 5°. Состояние берегов позволяет осуществить сброс воды	Система водоотводящих валов	
20-25 (общая)		Независимо	Густая сеть оврагов, расположенных близко друг к другу на крутых берегах (15-20°). Задержание или отвод воды от отдельных оврагов невозможны	Валы-канавы на протяжении всего участка, занятого оврагами, работающие частично на водозадержание, частично на сброс	
2-5		До 5-6	Одиночные овраги на берегах балок крутизной до 10°	Выполаживание откосов с засыпкой оврага и залужением многолетними травами	
		6-10	То же	Частично выполаживаются откосы. Водозадерживающие валы в сочетании с выполаживанием и залужением вершины	
		До 10	Крутизна берегов больше 10°	Водоотводящие валы в сочетании с выполаживанием и залужением вершин	
<i>Склоновые</i>					
До 10		2-4	До 6	-	Выполаживание откосов с частичной засыпкой до образования тракторопроходимой ложбины, на ложбинах через 50-100 м устраиваются плотины-перемычки

1	2	3	4	5
До 10	3-5	> 6	Пашня	Водозадерживающие валы в сочетании с вы­полаживанием и залужением вершин
			Зона за­лужения	Водоотводящие валы в сочетании с вы­полаживанием и залужением вершины. Откосы ча­стично вы­полаживаются
10-30	Неза­висимо	> 6	-	Система водозадерживающих валов, валов­плотин и водоотводящих валов в комбинации с вы­полаживанием и залужением вершин. При сильно эродированном дне применяются дон­ные запруды. Как исключение – сложные бе­тонные и железобетонные сооружения

Гидротехнические мероприятия должны применяться как само­стоятельно (валы-террасы на пашне, водозадерживающие и водоотво­дящие валы у вершин оврагов, валы-плотины в гидрографической сети и др.), так и в сочетании со стокорегулирующими лесополосами (валы по нижней опушке лесополос, каналы в нижнем междурядье и др.).

## 8. КРИТЕРИИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛУГОМЕЛИОРАТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Естественная травянистая растительность обладает высокими почвозащитными свойствами. Однако в агроландшафтах сенокосы и пастбища из-за высокой хозяйственной нагрузки сильно деградированы и часто подвергаются эрозии, особенно на крутых присетевых и балочных склонах. Для повышения их почвозащитной эффективности и продуктивности назначаются приемы поверхностного и коренного улучшения с подсевом семян многолетних трав или полной заменой естественного травостоя сеяным, внесением удобрений (табл. 13-15), рационализацией приемов использования (сенокосо- и пастбищеобороты и т. п.).

Таблица 13

### Лугомелиоративные мероприятия [1]

Вид улучшения	Условия применения	Состав мероприятий
Поверхностное	На слабopажeнных оврагами балочных склонах крутизной до 20° при угнетенном состоянии травостоя и при наличии не менее 25 % ценных трав	Подготовка площади (расчистка кустарника, удаление кочек, засыпка промоин и др.), регулирование поверхностного стока, уход за дерниной и травостоем (боронование, уничтожение сорной растительности, подсев трав, снегозадержание, удобрение, щелевание и др.), лесомелиорация. Регулирование поверхностного стока, планировка
Коренное	На эродированных склонах с деградированным травяным покровом и долей ценных трав менее 25 %	Регулирование поверхностного стока, планировка поверхности с уничтожением дернины, посев травосмеси, удобрение, лесомелиорация. На склонах крутизной свыше 20° – предварительное террасирование
Самомелиорация и содействие ей	На сильноэродированных крутых склонах, каменистых, засоленных почвах	Регулирование стока на водосборе, лесомелиорация, устройство очагов инспермации

Таблица 14

**Нормы внесения минеральных удобрений при поверхностном коренном улучшении травостоя, кг д.в./га**

Травостой	Лесостепная зона			Степная зона		
	азот-ные	фос-форные	калий-ные	азот-ные	фос-форные	калий-ные
Природный злаково-разнотравный	45-60	45-60	30-60	30-45	30	-
Сеяный бобово-злаковый	-	45-60	45-60	-	45-60	-
Сеяный злаковый	60-90	45-60	30-60	45-60	30	-

Таблица 15

**Рекомендуемые многолетние травы и нормы высева их семян для коренного улучшения кормовых угодий на балочных берегах в различных районах европейской части РФ, кг/га**

Экспозиция склона	КЛ	ЛС или ЛСГ	Э	КБ	ОЛ	РВ	МЛ	ЖГ	ПБ	ПС	ВС	П
<i>Северные части Центрального и Заволжского</i>												
Ю	-	5-6	25-30	10-12	10-12	-	-	-	-	-	-	-
С	5-6	5-6	-	10-12	10-12	-	-	-	-	-	-	-
<i>Южные части Центрального и Заволжского</i>												
Ю	-	5-6	25-30	10-12	-	12-14	3-4	-	-	-	-	-
С	-	10-12	-	10-12	-	12-14	-	-	-	-	-	-
<i>Западный и Северо-Кавказский</i>												
Ю	-	5-6	25-30	10-12	-	-	-	12-14	-	-	-	-
С	-	10-12	-	10-12	-	-	-	-	12-14	-	-	-
<i>Степная зона</i>												
Ю	-	5-6	25-30	10-12	-	-	-	12-14	-	-	-	-
С	-	10-12	-	10-12	-	-	-	-	12-14	-	-	-
<i>Приволжский и Предуральский (сухостепная зона)</i>												
Ю	-	8-10	-	-	-	-	-	-	-	-	12-14	10-12
С	-	10-12	-	-	-	-	-	12-14	-	12-14	-	-

Примечание. Экспозиция склонов: Ю – южная, С – северная; КЛ – клевер луговой, ЛС – люцерна синяя, ЛСГ – люцерна синегибридная, Э – эспарцет, КБ – коострец безостный, ОЛ – овсяница луговая, РВ – райграс высокий, МЛ – мятлик луговой, ЖГ – житняк гребневидный, ПБ – пырей безкорневищный, ПС – пырей сизый, ВС – волоснец ситниковый, П – прутняк.



На слабоизрезанных оврагами балочных склонах крутизной до 20° при угнетенном состоянии травостоя и при наличии не менее 25 % ценных трав проводят их поверхностное улучшение. Мероприятия включают в себя подготовку площади (расчистка, удаление кочек, засыпка промоин и пр.), регулирование поверхностного стока, уход за дерниной и травостоем (боронование, уничтожение сорной растительности, посев трав, снегозадержание и др.), лесомелиорация [1, 18, 38].

На сильноэродированных склонах с деградированным травяным покровом и долей ценных трав менее 25 % проводят мероприятия по коренному улучшению. Они состоят из регулирования поверхностного стока, планирование поверхности с удалением дернины, посев травосмеси, внесение удобрений, проведение лесомелиорации.

## **9. СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ (САПР) СТОКОРЕГУЛИРУЮЩИХ ЛЕСОПОЛОС**

### **9.1. Цели, задачи и структура САПР**

Система автоматизированного проектирования стокорегулирующих лесополос разработана Е. А. Гаршиным [1]. Приводим здесь в его редакции. Выполненные теоретические исследования, построенные на их основе математические модели, сформированные банки экспериментальных данных по численной оценке основных характеристик эрозионно-гидрологического процесса и эффективности противоэрозионных мероприятий служат основой для расчета и проектирования систем противоэрозионных защитных лесных насаждений. Проектирование их в настоящее время осуществляется на основе инженерных расчетов, что связано с большими временными и трудовыми затратами и в то же время позволяет широко использовать современную вычислительную технику.

Автоматизация проектирования систем насаждений является одним из основных способов повышения производительности труда проектировщиков, существенно снижает сроки разработки и способствует повышению качества проектирования.

Во ВНИАЛМИ (ныне ФНЦ агроэкологии РАН) осуществлена разработка САПР, которая обеспечивает автоматизацию всего цикла проектной разработки (пояснительная записка сметно-финансовая документация, инженерные расчеты, графики); выдачу компьютерных карт рельефа, уклонов, текущего смыва, противоэрозионных рубежей при снижении эрозии до любого заданного уровня; повышение производительности труда.

Основные требования к САПР и средствам их реализации:

1. Простота доступа пользователя к САПР, т. е. возможность реализации проектной процедуры на основе специальных языковых (программных) средств, ориентированных на пользователя и освобождающих его от выполнения таких трудоемких задач, как, например, создание математического описания и программирование модели. Чем

выше "интеллект" системы, тем более прост и лаконичен язык общения пользователя с САПР. С помощью директивы, оформленной на языке пользователя, может быть вызвана процедура для выполнения определенного этапа проектной работы. Простота взаимодействия пользователя с системой достигается на основе программного обеспечения.

2. Прямой доступ пользователя к САПР, т. е. возможность непосредственного обращения к ее программно-информационным средствам, оперативного ввода и отображения результатов проектирования.

3. Адаптация САПР к условиям проектирования, что связано с созданием программно-информационных средств, обеспечивающих выполнение проектных работ при различных изменяющихся условиях проектирования (использование, например, разных технических средств: дигитайзера, плоттера, сканера; смена состава и форм документации, технологических требований и т. д.) и включения в систему новых программных средств.

Средства адаптации обеспечивают долговечность и живучесть системы при реализации двух основных принципов: модульного построения структуры программного обеспечения; отдельного представления информационных материалов и программ, а также создания самостоятельно функционирующей базы данных, связанной программным интерфейсом с программными модулями.

Модульный принцип предполагает возможность включения и выключения отдельных проектных процедур без нарушения функции САПР, что позволяет при необходимости заменить одни проектные программные модули другими.

Создание баз данных является обязательным условием реализации модульного принципа, поскольку в этом случае исключение отдельной программы не нарушает целостность информационного взаимодействия программных средств. Все это позволяет рассматривать САПР как комплекс программ, который должен обеспечивать управление в диалоговом режиме процессом проектирования; создание и ведение нормативно-технической базы; выполнение комплекса проектных работ, машинной графики, инженерных и сметных расчетов, выпуск и хранение документации.

Каждый комплекс, имея свои особенности и характеристики, выполняя конкретные, вполне определенные функции САПР, должен быть интегрирован в единую систему с однозначным вводом данных, единой структурой команд, интерфейсами баз данных и пользователя,

а потому требуется системный подход, тщательная предварительная проработка программ.

Для выполнения работ машинной графики используются широко применяемые системы Surfer, AutoCad, MapMaker, Grapher.

## **9.2. Процедуры и технология САПР**

САПР обеспечивает выполнение следующих функций: ввод картографической информации (горизонталей топокарты, координат ситуации – границ хозяйства, полей, почвенных контуров, поселков, дорог и т. д.); проложение линий тока; выполнение необходимых инженерных расчетов (значений величин уклона, смыва и т. д.); построение карт уклонов, смыва; размещение рубежей (лесополос), составление расчетно-технологических карт (РТК) и выполнение сметно-финансовых расчетов.

Технологический процесс (последовательность этапов проектирования рубежей – лесополос), используемые при этом технические и программные средства приведены в табл. 16.

Наиболее перспективно получение компьютерных образов топокарт с использованием сканера с последующим фильтрованием изображения, его векторизацией и проведением линий наискорейшего спуска – линий тока, определение формы склона, расчет параметров функции формы склона, величин уклонов (крутизны склонов) и текущего смыва, построение соответствующих карт, расчет противозрозионных рубежей (валов-террас, лесополос) на допустимый (1,5-2,0 т/га) уровень смыва, проектирование системы контурно-прямолинейных лесополос. Кроме того, создаются различные расчетно-технологические карты, в т. ч. для выращивания лесополос, составляются выборки материальных и денежных затрат, различные поясняющие схемы и рисунки, типовая пояснительная записка. Это значительно облегчает и ускоряет (в 3-5 раз) выполнение проектных работ и выдачу технической документации при высоком их качестве.

На современном этапе развития картографии и появления цифровой картографической продукции открытого пользования возникла возможность упростить технологический процесс, применив на начальном этапе цифровую модель рельефа. При этом требуется доработка системы автоматизированного проектирования стокорегулирующих лесополос и адаптация ее к существующему современному программному обеспечению.

**Технологическая схема обработки топокарт, расчета смыва  
и размещения 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		
Привязка к Z-координате	R2V for Windows, Surfer	XYZ, GRD	Предварительная фильтрация изображения в графическом редакторе
Восстановление карты по координатам X, Y, Z	Surfer		
Получение расчетной матрицы	Отлаживаемая программа		
Построений линий тока	Karta		Используется полученная матрица
Построение продольных профилей склона			
Регрессионный анализ профилей склонов			
Расчет текущих значений величин уклонов и смыва			
Построение карт текущих величин уклонов и смыва	Surfer		
Расчет противоэрозионных рубежей-лесополос	Karta		

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Эрозия почв развивается под действием природных и антропогенных факторов. К природным факторам относятся глубина промерзания, степень и характер увлажнения почвы, рельеф местности, характер снегоотложения и снеготаяния и др., к антропогенным – хозяйственная деятельность людей (обработка почвы, создание лесных полос, травосеяние, размещение сельскохозяйственных культур и др.).

Использование статистических и генетических методов исследования и анализа полученного материала, а также применение элементов системного подхода позволили разработать новые теоретические положения формирования поверхностного стока талых вод, усовершенствовать существующие и разработать новые математические модели, установить связь поверхностного стока с природными факторами при различном антропогенном воздействии, дать оценку стокорегулирующей, противоэрозионной и агрономической эффективности почвозащитных приемов и их сочетаний, определить роль и место агролесомелиорации в адаптивно-ландшафтном земледелии.

Теоретические исследования, сформированные базы экспериментальных данных по количественной оценке факторов эрозионно-гидрологического процесса и эффективности противоэрозионных мероприятий служат основой для расчета и проектирования систем противоэрозионных мероприятий. Эти разработки дают более правильное представление об эрозионно-гидрологических процессах. Их можно применять при обосновании элементов противоэрозионного комплекса их сочетаний и более обоснованно рассчитывать адаптивно-ландшафтную систему земледелия в целом. Они служат теоретической и нормативной базой при разработке системы управления эрозионно-гидрологическим процессом на расчетной основе при обустройстве комплексных балочных и малых речных бассейновых агроландшафтов как эрозионнобезопасных и экологически сбалансированных.

Разработанные критерии оптимизации агроландшафтов позволяют повысить эффективность системы управления эрозионно-гидрологическим процессом, а также усовершенствовать принципы адаптивно-ландшафтного земледелия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Агролесомелиоративное адаптивно-ландшафтное обустройство водосборов / И. С. Кочетов [и др.]. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1999. – 83 с.
2. Арманд Д. Л. Физико-географические основы проектирования сети полевых защитных лесных полос. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 367 с.
3. Барабанов А. Т. Агролесомелиорация в почвозащитном земледелии. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1993. – 156 с.
4. Барабанов А. Т. Закономерности формирования поверхностного стока талых вод, его прогноз и регулирование // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2012. – № 1(33). – С. 65-68.
5. Барабанов А. Т. Теория и практика разработки систем агrolесомелиоративных почвозащитных мероприятий в адаптивно-ландшафтном земледелии // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2014. – № 4(48). – С. 28-31.
6. Барабанов А. Т. Эрозионно-гидрологическая оценка взаимодействия природных и антропогенных факторов формирования поверхностного стока талых вод и адаптивно-ландшафтное земледелие. – Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2017. – 187 с.
7. Барабанов А. Т., Гаршинев Е. А. Эрозия почвы и меры борьбы с ней // Агролесомелиорация / Под ред. акад. РАСХН А. Л. Иванова и К. Н. Кулика. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2006. – 766 с.
8. Барабанов А. Т., Панов В. И. К вопросу о прогнозе поверхностного стока талых вод в лесостепной и степной зонах // Аридные экосистемы. – 2012. – Т. 18. – № 4(53). – С. 22-27.
9. Бураков Д. А., Литвинова О. С. Водно-балансовые зависимости для прогноза стока талых вод на юге Западно-Сибирской равнины // География и природные ресурсы. – 2010. – № 3. – С. 111-120.
10. Виноградов Ю. Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. Опыт критического анализа. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 312 с.
11. Гагаринова О. В. Ландшафтно-гидрологические закономерности формирования стока в бассейне озера Байкал // География и природные ресурсы. – 2012. – № 3. – С. 55-60.
12. Гаршинев Е. А. Выбор способа размещения лесополос на водосборах с учетом направлений вредоносных ветров // Лесомелиорация при кон-

турном земледелии: сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1988. – Вып. 1(93). – С. 30-42.

13. Гаршинев Е. А. Применение логистической функции как универсальной зависимости для описания продольного профиля склонов разной формы // Противозэрозионный комплекс Нечерноземья: бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1987. – Вып. 3(52). – С. 51-54.

14. Гаршинев Е. А. Противозэрозионная лесомелиорация и эволюция эрозионно-гидрологического процесса: автореф. дис.... д. с.-х. н. – Волгоград, 1995. – 48 с.

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

16. Гаршинев Е. А. Эрозионно-гидрологический процесс и лесомелиорация. Экспериментальная оценка, расчет, проектирование. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2002. – 220 с.

17. Дюнин А. К. Механика метелей. – Новосибирск: СО АН СССР, 1963. – 378 с.

18. Иванцова Е. А. Противозэрозионные мероприятия и воспроизводство плодородия почвенного покрова в нижневолжском регионе // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2016. – № 67. – С. 161-164.

19. Каштанов А. Н. Лисецкий Ф. Н., Швебс Г. И. Основы ландшафтно-экологического земледелия. – М.: Колос, 1994. – 203 с.

20. Козменко А. С. Борьба с эрозией почв. – М.: Сельхозгиз, 1954. – 229 с.

21. Комиссаров М. А. Влияние агроэкологических факторов на развитие водной эрозии почв на пологих склонах в Южном Предуралье: дис. ... к. б. н. – Уфа, 2012. – 140 с.

22. Комиссаров М. А., Габбасова И. М. Эрозия почв при снеготаянии на пологих склонах в Южном Предуралье // Почвоведение. – 2014. – № 6. – С. 734-743.

23. Концепция адаптивно-ландшафтного обустройства территории Волгоградской области / К. Н. Кулик [и др.] // Вестник РАСХН. – 2004. – № 1. – С. 53-55.

24. Кулик К. Н., Барабанов А. Т., Павловский Е. С. Принципы и приемы адаптивно-ландшафтной системы земледелия // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. – 2012. – № 1(10). – С. 14-19.

25. Методика полевого моделирования эрозии, расчета смыва и расстояний между лесополосами / Е. А. Гаршинев [и др.]. – М.: ВАСХНИЛ, 1991. – 42 с.

26. Методические рекомендации по проектированию комплекса противозэрозионных мероприятий для проектов внутрихозяйственного земле-



устройства колхозов и совхозов Курской области, входящих в зону крупномасштабного эксперимента // Под ред. Д. Е. Ванина и Г. П. Сурмача. – Курск: ВНИИЗПЭ, 1978. – 179 с.

27. Панфилов Я. Д. К вопросу о влиянии защитных лесных полос на скорость и направление ветра // Полезащитные полосы. – М.: Гослестехиздат, 1936. – Вып. 6. – С. 94-116.

28. Пат. 1799234 АЗ Российская Федерация А01В79/02, А01G23/00, А01В13/16. Способ защиты почв от эрозии на склонах / Барабанов А. Т. (РФ), Гаршинев Е. А. (РФ); заявитель ВНИАЛМИ. – № 4859671/15; заявл. 14.08.90.; опубл. 28.02.1993, Бюл. № 8. – 3 с.

29. Пат. 2248116 С1 Российская Федерация А01G23/00, А01В79/02. Способ регулирования снегоотложения для защиты почв от эрозии на склонах / Барабанов А. Т. (РФ), Гаршинев Е. А. (РФ), Кочкарь М. М. (РФ); заявитель ГУ ВНИАЛМИ. – № 2003122810/12; заявл. 21.01.2003.; опубл. 20.03.2005, Бюл. № 8. – 3 с.

30. Развитие эрозионных процессов на черноземе выщелоченном в Южном Приуралье / М. А. Комиссаров [и др.] // Известия Самарского научного центра РАН. – 2011. – № 5(2). – С. 82-85.

31. Рекомендации по лесной мелиорации при контурной организации территории в районах активного проявления водной эрозии / И. Г. Зыков [и др.]. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1989. – 34 с.

32. Сабо Е. Д., Иванов Ю. Н., Шатилло Д. А. Справочник гидроресомелиоратора / Под ред. Е. Д. Сабо. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 200 с.

33. Салугин А. Н., Гаршинев Е. А. Анализ вариантов модели эволюции формы склона в результате эрозионно-аккумулятивного процесса // Методы исследования водной эрозии в противоэрозионной лесомелиорации: сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1989. – Вып. 1(96). – С. 145-158.

34. Система адаптивно-ландшафтного земледелия волгоградской области на период до 2015 года / А. Л. Иванов [и др.]. – Волгоград: ИПК Волгоградской ГСХА "НИВА", 2009.–304 с.

35. Система земледелия Курской области / Д. Е. Ванин [и др.]. – Курск, 1978. – 179 с.

36. Сурмач Г. П. Рельефообразование, формирование лесостепи, современная эрозия и противоэрозионные мероприятия. – Волгоград: Ниж.-Волж. кн. изд-во, 1992. – 174 с.

37. Defersha M. B., Quraishi S., Melesse A. Interrill erosion, runoff and sediment size distribution as affected by slope steepness and antecedent moisture content // Hydrology and Earth System Sciences Discussions. – 2010. – № 7. – P. 6447-6489.

38. Hejduk S., Kasprzak K. Accumulation of early-spring soil moisture reserves for some agricultural crops // Soil and Water, Praha Scientific Studies RISWC. – 2003. – № 2. – Pp. 47-60.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b> .....	426
<b>1. Краткое обоснование системы мероприятий по управлению эрозионно-гидрологическим процессом</b> .....	428
<b>2. Критерии оценки влияния характера использования пашни на формирование стока талых вод</b> .....	436
<b>3. Критерии формирования противоэрозионной организации территории</b> .....	438
<b>4. Модели и критерии для расчета эрозионно-гидрологических характеристик стокорегулирующих лесополос</b> .....	444
4.1. Критерии для расчета поверхностного стока талых вод.....	444
4.2. Критерии для расчета смыва почвы.....	447
4.3. Критерии для расчета расстояний между стокорегулирующими лесными полосами.....	450
4.4. Критерии оценки инфильтрации влаги в почву и стокорегулирующей роли лесополос.....	461
4.5. Критерии оценки ветроломной роли лесополос.....	463
<b>5. Критерии оптимизации формирования системы стокорегулирующих лесных полос</b> .....	465
5.1. Выбор параметров размещения стокорегулирующих лесных полос на водосборе.....	466
5.2. Критерии формирования лесополос по породному и видовому составу.....	468
5.3. Критерии оптимизации лесополос по аэродинамической конструкции.....	470
5.4. Критерии размещения сельскохозяйственных культур в системе стокорегулирующих лесополос.....	474
5.5. Критерии сочетания стокорегулирующих лесополос с простейшими гидротехническими сооружениями.....	476
<b>6. Критерии оценки эффективности агротехнических противоэрозионных мероприятий</b> .....	479
<b>7. Критерии размещения и оценки эффективности гидротехнических противоэрозионных мероприятий</b> .....	481
7.1. Гидротехнические противоэрозионные мероприятия на пашне..	481
7.2. Гидротехнические противоэрозионные мероприятия на оврагах.....	482
<b>8. Критерии применения лугомелиоративных мероприятий</b> .....	486

<b>9. Система автоматизированного проектирования (САПР) стоко-</b>	
<b>регулирующих лесополос.....</b>	<b>489</b>
9.1. Цели, задачи и структура САПР.....	489
9.2. Процедуры и технология САПР.....	491
<b>Заключение.....</b>	<b>493</b>
<b>Литература.....</b>	<b>494</b>

---

---

Министерство науки и высшего образования РФ

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

**СИСТЕМА МЕРОПРИЯТИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ  
ЭРОЗИОННО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ**  
Научные основы и рекомендации

Волгоград\*ФНЦ агроэкологии РАН\*2018

УДК 634.06:634.0.266

Система мероприятий по управлению эрозионно-гидрологическим процессом: научные основы и рекомендации / А. Т. Барабанов [и др.]. – Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2018. – 48 с.

Система мероприятий по управлению эрозионно-гидрологическим процессом подготовлена доктором сельскохозяйственных наук А. Т. Барабановым и кандидатом сельскохозяйственных наук А. В. Кулик при участии лаборантов-исследователей О. А. Гордиенко и Т. И. Киселевой.

ISBN 978-5-9909842-6-4

© А. Т. Барабанов, А. В. Кулик, О. А. Гордиенко, Т. И. Киселева, 2018  
© ФНЦ агроэкологии РАН, 2018

## ВВЕДЕНИЕ

Многолетние исследования закономерностей формирования поверхностного стока талых вод в лесостепной, степной и полупустынной зонах и обобщение литературных данных по влиянию природных факторов на поверхностный сток позволили сформулировать и обосновать закон *лимитирующих факторов поверхностного стока талых вод* [1, 2], а также определить максимальные значения природных факторов, при которых сток не формируется. Если почва талая или промерзла до глубины не более 50 см, стока не бывает независимо от уровня ее увлажнения и снегозапасов. Дальнейшее увеличение глубины промерзания почвы выше лимитирующего уровня не влияет на величину стока. При увлажнении верхнего (0-50 см) слоя почвы до уровня менее 120-130 мм на юге Центрального района Нечерноземной зоны (ЦРНЗ) и 70-95 мм в Нижнем Поволжье сток не формируется независимо от глубины промерзания почвы и снегозапасов. При уровнях факторов выше лимитирующих сток формируется всегда и зависит он только от запасов воды в снеге и в почве. Увлажненность верхнего слоя почвы является одним из основных факторов, влияющих на формирование поверхностного стока талых вод при глубине промерзания выше 50 см. Предотвратить глубокое промерзание почвы в холодные зимы повсеместно невозможно. Регулируя характер снегоотложения, можно добиться предохранения почвы от промерзания полосно, что будет способствовать хорошему водопоглощению.

Фундаментальные теоретические и экспериментальные исследования позволили сделать важный вывод о том, что при подборе стокорегулирующих приемов необходимо исходить из того как они воздействуют на природные факторы: глубину промерзания, увлажнение почвы и запасы воды в снеге. Зная роль природных факторов в формировании стока и антропогенного воздействия на него, можно регулировать их. В связи с тем, что стокорегулирующие лесные полосы (ЛП) наиболее мощно влияют на природные факторы эрозионно-гидрологического процесса (ЭГП) через снегораспределительные функции, их необходимо регулировать в первую очередь на основе

знания закономерностей снегоотложения. Исходя из этого, нами разработаны и апробированы новые приемы регулирования снегоотложения в системе защитных лесонасаждений (ЗЛН). Они высокоэффективны, потому что мощно воздействуют на природные факторы стока талых вод. На основе выявленных закономерностей формирования поверхностного стока талых вод и оценки всех способов и приемов управления ЭГП установлены наиболее перспективные из них.

В силу указанных обстоятельств стратегия противоэрозионной мелиорации должна исходить из того, что необходимый стокорегулирующий эффект, способный практически возродить ситуацию естественного эрозионно-гидрологического режима в деградированных агроландшафтах, может обеспечить лишь искусственно создаваемая система контурных стокорегулирующих и противоэрозионных рубежей – в первую очередь ЛП в сочетании с гидротехническими приемами, создающих своеобразный каркас на местности. Агротехнические приемы в управлении ЭГП выполняют лишь ограниченную роль, а применение гидросооружений (валов-террас) на пашне лимитируется сложностью их создания и эксплуатации. Наиболее перспективными приемами регулирования ЭГП являются лесомелиоративные. Они многофункциональны, долговечны и высокоэффективны и предполагают возможность их дальнейшего совершенствования.

Важную роль в формировании стока играет характер снегоотложения. На расчлененной территории он имеет свои особенности. Со склонов большое количество снега сдувается в гидрографическую сеть, в связи с чем почва в поле промерзает на большую глубину, создавая благоприятные условия для формирования стока.

Таким образом, в результате многолетних исследований установлены закономерности формирования поверхностного стока талых вод при уровнях факторов ниже лимитирующих, т. е. выявлен генезис процесса и создана теория его формирования. Это позволяет разработать высокоэффективные мероприятия по управлению ЭГП посредством воздействия на эти факторы. Для условий, когда уровни факторов выше лимитирующих, созданы статистические модели формирования стока на разных типах почв, видах пашни и сельскохозяйственных угодий.

## **1. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭРОЗИОННО-ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ АДАПТИВНО- ЛАНДШАФТНОГО ОБУСТРОЙСТВА ВОДОСБОРОВ**

### **1.1. Закономерности эрозионных процессов. Рельеф как фактор эрозионно-гидрологического процесса**

Наиболее важными природными факторами эрозии почв являются: рельеф местности, геологическое строение, особенности почвенного покрова, климатические факторы и др. Рельеф местности является важнейшим условием, определяющим адаптивно-ландшафтное обустройство территории и систему защиты почв от эрозии. От геологического строения территории и литологического состава пород в значительной степени зависит интенсивность эрозии, особенно оврагообразование. Наиболее подвержены размыву лёссовидные суглинки и лёссы. Поэтому интенсивное оврагообразование происходит в районах, где залегают мощные толщи лёссов и лёссовидных суглинков и глин. Интенсивность эрозии зависит также от противоэрозионной устойчивости почв, их химических и водно-физических свойств и механического состава. Более тяжелые почвы лучше противостоят смыву и размыву. Наиболее податливы смыву при наличии стока песчаные и супесчаные почвы из-за слабой связности их частиц. Наиболее устойчивыми в противоэрозионном отношении являются выщелоченные и типичные черноземы. Растительный покров является мощным фактором защиты почв от эрозии. На берегах гидрографической сети с хорошей дерниной смыв отсутствует или бывает слабый. Климат влияет на эрозионные процессы через природные факторы, определяющие характер формирования стока талых и ливневых вод. Очень сильное влияние на смыв почвы оказывает снежный покров. В зависимости от характера снегоотложения на ветроударных и снегозаносимых склонах почва в разной степени подвергается эрозии. Из-за меньшей мощности снега на нижележащих участках ветроударных склонов и более высокой интенсивности снеготаяния нижние отрезки склонов обычно раньше осво-



бождаются от снега, поэтому на них усиливается смыв почвы из-за поступающей сверху воды.

В силу того обстоятельства, что рельеф территории является ведущим фактором в проявлении эрозии, рельефообразованию всегда уделялось большое внимание как у нас в стране, так и за рубежом. Первые наиболее серьезные попытки исследовать склоновый сток и рельефообразование связаны с деятельностью экспедиции В. В. Докучаева в южных районах России, главным образом в Каменной Степи. В. В. Докучаеву принадлежит попытка теоретического рассмотрения вопросов рельефообразования на равнине в части, касающейся генезиса гидрографической сети (перехода оврагов в балки, а балок в речные долины). Однако ученым не была проведена четкая грань между древней (балочно-долинной) и современной (промоинно-овражной) гидрографической сетью [3]. Важное значение имеют и работы П. А. Костычева [4] о роли естественной (целинной) травянистой растительности в образовании "настоящих" оврагов антропогенного происхождения. Ученый полагал, что на целине, в отличие от пахотных земель, овраги не образуются. Выдающийся вклад в разработку теории ЭГП внесли А. С. Козменко [5] и Г. П. Сурмач [6] в период их деятельности во Всесоюзном (затем Всероссийском) научно-исследовательском институте агролесомелиорации (ВНИАЛМИ).

На начальном этапе исследований рельефа на первое место выдвигались вопросы эрозионного размыва – оврагообразования. С учетом ранних исследований и новейших научно-технических разработок последних десятилетий можно констатировать, что теоретической основой рельефообразования является учение об эрозионно-гидрологическом и эрозионно-аккумулятивном процессах. Гидрологический процесс как фактор эрозионно-аккумулятивного процесса определяется главным образом характером поступления на поверхность почвы дождевых осадков и талых вод, инфильтрационной способностью почвы и образованием поверхностного (склонового) стока – агента эрозионного процесса. Эрозионно-аккумулятивный процесс сильно зависит от наличия на поверхности растительного покрова и его остатков (стерня), а в лесных насаждениях – от мощности и состояния лесной подстилки. Теоретические аспекты ЭГП кроме В. В. Докучаева рассматривали и многие другие исследователи [5-9 и др.].

Выполненные А. С. Козменко [5] исследования на Среднерусской возвышенности привели его к идеям, получившим свое выражение в

стройной системе взглядов на причины эрозии и рельефообразования в равнинных условиях. Ему принадлежит обоснование необходимости различать древнюю и современную (антропогенную) эрозию, учитывать роль растительности как важнейшего биотического фактора ЭГП, связывать течение древней эрозии с эпохами оледенения на равнине, а также обоснование обусловленности современной эрозии в первую очередь с сельскохозяйственной деятельностью. А. С. Козменко впервые обратил внимание на ведущую роль смыва почвы вопреки традиционной точке зрения об оврагообразовании как ведущего проявления ЭГП. Ему принадлежит классификация оврагов по их местоположению, им предложена первая в стране классификация почв по степени их смывости. При разработке теории рельефообразования ученым впервые с высокой степенью аргументированности увязано образование лёссов с ЭГП, что было важным шагом вперед по сравнению с высказанными ранее гипотезами о лёссообразовании и как следствия делювиального процесса.

Дальнейшее развитие взгляды А. С. Козменко получили в работах Г. П. Сурмача [6], который создал стройную схему рельефообразования и формирования лёссов в ходе четвертичных эрозионно-аккумулятивных циклов, обусловленных наступлением-таянием ледников на Русской равнине [6]. Данная схема отображает то, что образование рельефа и отложение лёсса есть результат единого ЭГП и позволяет объяснить механизм эрозии и аккумуляции и залегание лёссовых пород на водоразделах. Сурмач Г. П. обстоятельно описал ход ЭГП на склонах и в гидрографической сети, по-новому изложил условия формирования лёссов, увязал распространение лесной и травянистой растительности с почвообразованием в лесостепи и литологией толщи четвертичных покровных отложений. Он по сути дела решил проблему, которая в течение целого столетия не получала положительного решения.

Развитие теории Г. П. Сурмача продолжил его ученик, доктор сельскохозяйственных наук Е. А. Гаршинев. Им уточнены условия формирования эрозионно-аккумулятивных форм рельефа, разработана логико-графическая схема эволюции склонов в ходе эрозионно-аккумулятивного процесса [10], обосновано, что эрозионный промоинно-овражный размыв спонтанно и последовательно проходит стадии от обрывистых откосов к осыпным склонам делювиального смыва и аккумуляции.

На этой основе впервые показано, что форма склонов является адекватным выражением эрозионно-аккумулятивного процесса и

Е. А. Гаршиным предложено выражать функцию формы склона посредством логистического уравнения. Таким образом, им найдено универсальное математическое выражение для описания выпукловогнутых склонов как результата проявления ЭГП. Е. А. Гаршиным разработана теория и созданы математические модели эрозионно-аккумулятивного процесса. Они доведены до инженерного расчета. В основу разработки модели ЭГП он положил вывод о том, что форма склона, образующегося в результате эрозионно-аккумулятивного процесса, есть тождественно-адекватный результат данного процесса, т. е. функция формы склона и функция эрозионно-аккумулятивного процесса тождественны. Иными словами, математическое выражение функции формы склона является адекватным выражением для функции эрозионно-аккумулятивного процесса.

Им впервые установлено, что вся совокупность эрозионно-аккумулятивных склонов может быть описана универсальной функцией – логистической [10]:

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

где  $H$ ,  $H_{max}$ ,  $H_{min}$  – текущая отметка, максимальная и минимальная асимптоты поверхности склона;  $a$  и  $b$  – параметры;  $L$  – расстояние от водораздела.

Уравнение (1), описывающее форму склона, имеет широкую область практического применения и позволяет определять многие морфометрические характеристики рельефа: уклон, расстояние от водораздела до точки перегиба, расстояние до бровки и точки перехода берегового склона в днище. Последние характеристики более корректны при использовании понятия пластики рельефа для картографирования генетически однородных элементов рельефа и составления почвенных карт.

Расчеты рассмотренных морфометрических характеристик необходимы во многих областях прикладной деятельности, в т. ч. в противоэрозионной лесомелиорации при планировании и проектировании противоэрозионных насаждений, определении границ земельных фондов и укрупненных параметров систем ЛП на водосборах (их количество и протяженность, лесистость и т. п.), составлении бассейновых и иных схем противоэрозионных мероприятий, разработке нормативов, типовых проектных решений и т. д. Выражение (1) в отличие от всех известных уравнений, позволяет получать "точечные", а не интервальные (для отрезков склона) оценки смыва, строить по ним карты изолиний, а не контуры интервалов его величин.

Результаты исследований позволяют использовать логистическую функцию для решения многих задач прикладной геоморфологии, ландшафтоведения, почвоводоохранного земледелия: получать на основе расчетов геологическое строение зоны аэрации и положение уровней грунтовых вод, выполнять комплексное ландшафтное районирование территории, прогнозировать естественную и антропогенную эволюцию ландшафтов и т. п.

В связи с тем, что закон, описывающий форму склона и эрозионно-аккумулятивный процесс, един, Е. А. Гаршиным разработано уравнение для расчета смыва [10]. Использование этого уравнения позволяет определять аналитически геоморфологические характеристики рельефа, выполнять геоморфологическое картографирование и районирование территории, определять границы ландшафтных поясов и т. п. Использование логистической функции позволяет строить карты текущих значений уклонов и смыва почв (ранее такие карты строились только по дискретным оценкам этих характеристик), выполнять расчеты противоэрозионных рубежей (в т. ч. стокорегулирующих ЛП) и систем противоэрозионных мероприятий.

Изложенные теоретические основы рельефообразования, эрозионно-гидрологического и эрозионно-аккумулятивного процессов и отложения лёссов позволили определить наиболее перспективные направления, пути и средства воздействия на них и разработать высокоэффективные приемы и технологии управления ЭГП. Они позволяют лучше понять ландшафтные особенности территории и использовать их в практических целях.

Исследование роли взаимодействующих факторов и процессов четвертичного времени, воссоздание картины формирования рельефа и становления литогенной (гидрогеологической) основы природных ландшафтов дают ключ к лучшему пониманию дальнейшего развития антропогенных ландшафтов и к научному обоснованию мер по охране природы, включая меры по защите почв от эрозии; открывают перспективу направленного регулирования этих процессов в условиях хозяйственной деятельности, более продуктивного использования земель и более правильного подхода к охране окружающей среды.

Теория рельефообразования позволяет глубже уяснить взаимосвязь леса с почвенно-грунтовыми условиями и более обоснованно подойти к оценке лесопригодности (лесорастительных условий) того или иного участка территории, где предполагается создавать лесонасажде-

ния. Наилучшие условия для их произрастания – это слоистые отложения с чередованием прослоев более легкого (песок, супесь) и тяжелого гранулометрического состава, а также профиль почв с двучленным строением, когда верхний член представляет собой субстрат легкого гранулометрического состава, а нижний – средний или тяжелый суглинок или глину; наихудшие условия – отложения, имеющие однородный литологический состав.

## **1.2. Закономерности формирования поверхностного стока талых вод, его характеристика и расчет**

### **1.2.1. Общая характеристика поверхностного стока талых вод с разных сельскохозяйственных угодий**

В ФНЦ агроэкологии РАН (бывший ВНИАЛМИ) в результате многолетних (60-68 лет) исследований элементов водного баланса по четырем опытными эрозионным объектам, расположенным в трех географических зонах (лесостепная с серыми почвами, степная с обыкновенными черноземами и каштановыми почвами и сухостепная со светлокаштановыми почвами), получен уникальный материал, позволяющий дать характеристику поверхностного стока талых вод с разных видов пашни и оценку стокорегулирующей роли зяблевой обработки почвы.

Полученные материалы многолетних наблюдений и обобщение литературных данных позволили построить теоретические кривые вероятности превышения стока талых вод на рыхлой и уплотненной пашне, которые хорошо аппроксимируют эмпирические точки исследуемых рядов наблюдений, и вычислить показатели стока разной вероятности превышения и стокорегулирующий эффект зяби.

Показатели поверхностного стока талых вод с уплотненной и рыхлой пашни разной вероятности превышения по природным зонам приведены в табл. 1. Они показывают, что на рыхлой пашне поверхностный сток формируется в лесостепи 5-6 лет в десятилетие, а на уплотненной – 7-8 лет из десяти и величина его значительно больше. В степной зоне сток формируется на рыхлой пашне 3-4 года в десятилетие, а в сухостепной – 1-2 года. На уплотненной пашне эти показатели были 7-8 лет из десяти. Величины стока разной вероятности превышения уменьшаются при движении с севера на юг и юго-восток, а разница в стоке на рыхлой и уплотненной пашне увеличивается. Та-

кая тенденция наблюдается и при анализе величин стока по годам. Однако в отдельные годы наблюдается инверсия стока, когда в лесостепной зоне он не формируется или бывает меньше, чем в степной и сухостепной зонах, где он значительный. Это указывает на то, что на формирование стока мощное воздействие оказывают природные факторы, особенно глубина промерзания, влажность почвы и снегозапасы, которые формируются в разных зонах под влиянием различных климатических условий, изменяющихся по годам.

Таблица 1

**Средние и разной вероятности превышения показатели поверхностного стока талых вод с уплотненной и рыхлой пашни, мм**

Зона, область, почва	Пашня	Среднее	Вероятность превышения, %							C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>
			1	5	10	50	70	80	90		
Лесостепная, Орловская, серая лесная	1	30	156	101	78	19	5	0	0	1,27	1,68
	2	20	129	81	59	11	0	0	0	1,52	1,96
Лесостепная, Курская, темно-серая лесная	1	37	169	115	91	28	12	4	0	1,07	1,45
	2	20	118	74	55	11	2	0	0	1,36	2,07
Лесостепная, Курская, выщелоченный чернозем	1	37	192	123	93	20	2	0	0	1,44	1,41
	2	15	98	61	44	6	0	0	0	1,76	1,55
Степная, Воронежская, обыкновенный чернозем	1	32	157	102	78	19	5	0	0	1,30	0,95
	2	9	88	53	38	3	0	0	0	2,40	2,11
Степная, Самарская, обыкновенный чернозем	1	36	124	91	75	30	16	9	0	0,87	0,88
	2	7	54	33	24	3	0	0	0	1,79	2,05
Сухостепная, Волгоградская, темно-каштановая	1	17	84	55	42	11	5	2	0	1,24	1,72
	2	5	37	21	15	2	0	0	0	1,80	2,31
Сухостепная, Волгоградская, светло-каштановая	1	15	75	52	41	12	4	0	0	1,19	1,14
	2	3	38	20	12	0	0	0	0	2,43	3,42

*Примечание. Вид пашни: 1 – уплотненная, 2 – рыхлая; C<sub>v</sub> – коэффициент вариации, C<sub>s</sub> – коэффициент асимметрии.*

Анализ полученных данных показал, что средние величины стока с уплотненной пашни при движении от серых лесных (лесостепь) до светло-каштановых почв (сухая степь) снижаются с 30 до 15 мм. На зяби темпы снижения значительно ниже.

Ход динамики стока в исследуемые периоды показывает, что величины его как на рыхлой, так и на уплотненной пашне колеблются в значительной степени во всех зонах, и отмечается резкое снижение его в последние два десятилетия. Это связано с тем, что почва перед весенним снеготаянием почти все эти годы в лесостепной и степной зонах Русской равнины была талая или промерзала на небольшую (до 50 см) глубину.

Приведенные материалы дают представление и о водопоглощении. Среднеголетняя величина инфильтрации (впитывания, водопоглощения) в лесостепи составила на рыхлой пашне 76 мм, на уплотненной – 73, в степи на рыхлой пашне – 118, а на уплотненной – 85, т. е. на 33 мм меньше. В сухой степи эти показатели были соответственно 45 и 40 мм.

Таким образом, многолетними исследованиями выявлены нормативные величины поверхностного стока с рыхлой и уплотненной пашни. Полученные научные материалы необходимы для расчетных методов разработки и проектирования противоэрозионных комплексов.

### 1.2.2. Оценка влияния характера использования пашни на формирование стока талых вод

Дифференцированная оценка закономерностей формирования поверхностного стока талых вод на разных видах пашни (рыхлая и уплотненная) позволяет более точно прогнозировать его и разрабатывать систему мероприятий по управлению ЭГП. Анализ многолетних данных показал закономерное увеличение разницы в стоке на рыхлой и уплотненной пашне при уменьшении значений вероятности превышения. Она увеличивается при движении от лесостепи к степи и сухой степи и изменяется в зависимости от водности года. В маловодные годы разница в стоке с рыхлой и уплотненной пашни небольшая, а в многоводные – очень большая.

Кривые, характеризующие связь стока с рыхлой и уплотненной пашни близки к прямой линии (рис. 1) и по всем исследуемым пунктам идут примерно параллельно.

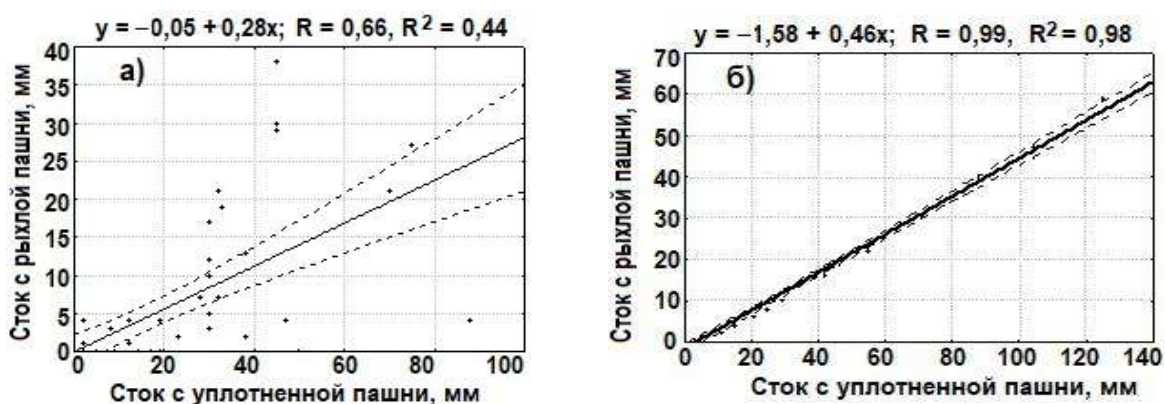


Рис. 1. Графики связи стока с рыхлой и уплотненной пашни, построенные по экспериментальным (а) данным и равнообеспеченным (б) показателям

Эти кривые аппроксимируются уравнением  $y = a + vx$ , где  $x$  – сток с уплотненной пашни, мм;  $y$  – сток с рыхлой пашни, мм. Корреляционный анализ материалов выявил высокую тесноту связи. Относительные ошибки расчетных показателей стока по сравнению с экспериментальными данными в области значений стока с рыхлой пашни свыше 1 мм колеблются всего от  $-5$  до  $+6$  %.

По приведенным уравнениям связи можно рассчитывать сток разной вероятности превышения по одному из видов пашни, имея данные по другому виду.

### 1.2.3. Влияние природных факторов на формирование стока

Полученные в экспериментах ВНИАЛМИ материалы за период свыше 60 лет дали возможность выдвинуть и обосновать новые теоретические положения, существенно уточняющие представления о физической природе гидрологических процессов, по-новому трактовать условия просачивания дождевых и талых вод в почву, что позволяет усовершенствовать существующие и разработать новые математические модели.

Планирование мер борьбы с эрозией почв должно осуществляться на основе знания закономерностей формирования поверхностного стока. В литературе имеется много материалов о роли различных факторов в формировании стока. Однако они, как правило, рассматриваются каждый в отдельности. Сток талых вод протекает при сложном взаимодействии природных и антропогенных факторов, которые необходимо рассматривать не в отдельности, а с учетом совокупности их влияния.

Анализ существующих методов оценки влияния природных факторов на формирование стока по зонам [11-30], изучение принципов, параметров и критериев, заложенных в их основу, показали, что при прогнозировании стока по существующим методикам либо используется один фактор (например, снеготолщина), либо десятки факторов. Ни то, ни другое неприемлемо. Очень часто объем поверхностного стока связывают с запасами воды в снеге на водосборе. Чем больше снега, тем больший ожидают сток. Прямой зависимости поверхностного стока талых вод от снеготолщины (т. е. больше снега – больше сток) нет.

Анализ наших данных показал, что на величину поверхностного стока существенно влияют только 3 природных фактора: снеготолщина, влажность почвы и глубина ее промерзания перед началом снеготаяния.



Всеми остальными факторами можно пренебречь. Причем прямой связи величины стока ни с одними из этих факторов нет. Парный корреляционный анализ связи стока со снегозапасами показал отсутствие прямой зависимости его от запасов воды в снеге. Однако это не значит, что от снегозапасов величина стока не зависит. Средняя величина стока в много- и малоснежные годы сильно различается, т. е. снегозапасы влияют на сток и в значительной степени, но во взаимодействии с другими факторами: влажностью почвы и глубиной ее промерзания.

Связь стока с глубиной промерзания почвы следующая. Если почва талая или она промерзла не глубже 50 см, сток не формируется независимо от уровня увлажнения почвы, снегозапасов и продолжительности снеготаяния. Парный коэффициент корреляции связи стока с глубиной промерзания составил всего 0,04, а стандартная ошибка – 32,2. В условиях глубокого промерзания почвы сток формируется в зависимости от запасов воды в почве и снеге.

Влагозапасы в почве, как фактор стока, следующим образом воздействуют на него при глубине промерзания почвы свыше 50 см. Если в почве перед снеготаянием запасы влаги низкие, то даже при очень глубоком промерзании и больших снегозапасах она сохраняет высокую впитывающую способность и сток не формируется. Таким образом, лимитирующим фактором формирования стока в таких условиях является уровень увлажнения почвы.

На основе математического анализа результатов исследований разработаны модели формирования поверхностного стока талых вод на разных типах почв (серые лесные, черноземы, каштановые и светлокаштановые), видах угодий (пашня, луг, залежь) и пашни (зябрь, озимые, многолетние травы и др.). Уравнения связи стока с природными факторами приведены в табл. 2. В зональном плане эта связь проявляется по-разному. На юге ЦРНЗ и севере Центрально-Черноземной области (ЦЧО) наиболее мощным фактором формирования стока как на зябь, так и на уплотненной пашне является увлажнение почвы; на юге ЦЧО на зябь и уплотненной пашне на величину стока сильнее влияют снегозапасы; в Поволжье на зябь наиболее мощным фактором является увлажнение почвы, а на уплотненной пашне – снегозапасы.

Расчет стока по этим уравнениям (см. табл. 2) дает довольно близкую сходимость расчетных данных с экспериментальными.

Таблица 2

**Уравнения связи стока талых вод на рыхлой  $Y_p$  и уплотненной пашне  $Y_n$  с запасами воды в почве  $W_n$  и снеге  $W_c$ , мм**

Зона, область, почва	Рыхлая пашня	Уплотненная пашня
Лесостепь, Орловская, серая лесная	$Y_p = -141 + 0,08W_n + 0,38W_c$ $R_{Y_p W_n W_c} = 0,93; M_{yx} = 12,4$	$Y_n = -16,4 - 0,15W_n + 0,34W_c$ $R_{Y_n W_n W_c} = 0,81; M_{yx} = 13,3$
Лесостепь, Курская: серая лесная	$Y_p = -57 + 0,34W_n + 0,26W_c$ $R_{Y_p W_n W_c} = 0,61; M_{yx} = 26,8$	Нет данных
типичный чернозем	$Y_p = -50 + 0,25W_n + 0,25W_c$ $R_{Y_p W_n W_c} = 0,92; M_{yx} = 4,5$	$Y_n = -116 + 0,71W_n + 0,41W_c$ $R_{Y_n W_n W_c} = 0,74; M_{yx} = 16,0$
Степь, Воронежская, обыкновенный чернозем	$Y_p = -40 + 0,19W_n + 0,38W_c$ $R_{Y_p W_n W_c} = 0,54; M_{yx} = 21,5$	$Y_n = -12 + 0,06W_n + 0,69W_c$ $R_{Y_n W_n W_c} = 0,91; M_{yx} = 6,8$
Степь, Самарская, обыкновенный чернозем	$Y_p = -53 + 0,51W_n + 0,04W_c$ $R_{Y_p W_n W_c} = 0,48; M_{yx} = 8,4$	$Y_n = -24 + 0,17W_n + 0,40W_c$ $R_{Y_n W_n W_c} = 0,92; M_{yx} = 7,0$
Сухая степь, Волгоградская: каштановая	$Y_p = -27 + 0,38W_n + 0,29W_c$ $R_{Y_p W_n W_c} = 0,96; M_{yx} = 7,1$	$Y_n = -4 + 0,19W_n + 1,14W_c$ $R_{Y_n W_n W_c} = 0,92; M_{yx} = 9,2$
светло-каштановая	$Y_p = -5,2 + 0,04W_n + 0,44W_c$ $R_{Y_p W_n W_c} = 0,64; M_{yx} = 6,3$	$Y_n = -21,9 + 0,26W_n + 0,22W_c$ $R_{Y_n W_n W_c} = 0,84; M_{yx} = 13,1$

1.2.4. Закон лимитирующих факторов поверхностного стока талых вод

В результате теоретических и экспериментальных исследований, а также на основе обобщения имеющихся материалов впервые был сформулирован и обоснован закон лимитирующих факторов поверхностного стока талых вод [1, 2] и разработана методика высокоточного (80-90 и иногда 100 %), заблаговременного (1,5-2 месяца) прогноза стока [31]. Суть закона заключается в том, что при некотором минимальном значении одного из трех лимитирующих факторов (снегозапасы, глубина промерзания и влажность почвы) поверхностный сток не формируется независимо от уровня двух других.

Определены максимальные (лимитирующие) значения факторов, при которых сток не формируется. На юге ЦРНЗ, в ЦЧО и Поволжье, если почва талая или промерзла до глубины не более 50 см, стока не бывает независимо от уровня ее увлажнения и снегозапасов. Дальнейшее увеличение глубины промерзания почвы выше лимитирующего уровня не влияет на величину стока, т. е. при любой глубине промерзания почвы выше лимитирующей он формируется одинаковый при оди-

наковых уровнях других факторов. Решающее влияние на него в этом случае оказывают влагозапасы в почве и снеге. При увлажнении верхнего (0-50 см) слоя почвы до уровня менее 120-130 мм на юге ЦРНЗ и 70-95 мм в Нижнем Поволжье сток не формируется независимо от глубины промерзания почвы и снегозапасов, т. е. в данном случае лимитирующим фактором является увлажнение почвы. При запасах воды в снеге меньше объема микрорельефа пашни сток также не формируется.

При уровнях факторов выше лимитирующих, т. е. глубине промерзания почвы свыше 50 см, запасах воды в ней больше 70-120 мм (по зонам) и снегозапасах, превышающих емкость микрорельефа, сток формируется на всех угодьях и величина (объем) его зависит только от запасов воды в снеге и почве.

Алгоритм прогноза поверхностного стока талых вод в зависимости от уровня природных факторов приведен в табл. 3.

Таблица 3

**Алгоритм прогноза поверхностного стока талых вод  
в зависимости от уровня природных факторов**

Уровень факторов			Характер формирования стока
глубина промерзания почвы, см	запасы воды, мм, в почве (слой 0-50 см) по зонам	снегозапасы, мм	
Менее 50	Любой	Любой	Сток не формируется
Более 50	Менее 70-120		
	Более 50	Более 70-120	Меньше объема микрорельефа
Больше объема микрорельефа			

Сначала анализируются данные по глубине промерзания почвы на водосборе. Если почва талая или промерзла на глубину до 50 см, то поверхностный сток талых вод на сельскохозяйственных и лесных угодьях не сформируется. Если почва промерзла на глубину свыше 50 см, то сток сформируется обязательно и величина его будет зависеть от запасов воды в снеге и почве (в слое 0-50 см). Если запасы воды в почве в лесостепной зоне ниже 120 мм, а в степной и сухостепной зонах ниже 70 мм, то сток не формируется. Затем анализируются запасы воды в снеге. Если они меньше объема микрорельефа поверхности водосбора, то сток не формируется.

При уровнях факторов выше лимитирующих, т. е. при глубине промерзания почвы свыше 50 см, запасах влаги в слое почвы 0-50 см выше 70-120 см (по зонам), а в снеге – выше емкости микрорельефа, сток сформируется и величина (объем) его будет зависеть только от запасов воды в снеге и почве.

При этих условиях величина поверхностного стока талых вод с водосбора  $U$  (мм) рассчитывается по выражению

$$U = \left( \sum_{i=1}^n U_i \cdot \frac{S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \right) - U_{нэм}, \quad (2)$$

где  $U_i$  – сток с  $i$ -того агрофона, мм (рассчитывают по уравнениям);  $S_i$  – площадь  $i$ -того агрофона, га;  $U_{нэм}$  – стокорегулирующий эффект от применения системы противоэрозионных мероприятий: противоэрозионной организации территории, лесомелиоративных, агротехнических и гидротехнических приемов, мм (этот параметр применяется только в том случае, если на водосборе осуществлена полная система мероприятий).

Таким образом, обобщение и анализ материалов по влиянию на сток талых вод природных факторов в Поволжье показали, что важнейшими факторами формирования стока являются снеготаяния, увлажнение и глубина промерзания почвы перед снеготаянием.

### **1.3. Концепция адаптивно-ландшафтного обустройства сельскохозяйственных земель и совершенствования системы земледелия**

Концепция адаптивно-ландшафтного обустройства сельскохозяйственных земель и совершенствования системы земледелия предполагает неистощительный характер землепользования. При агролесомелиоративном адаптивно-ландшафтном обустройстве сельскохозяйственных земель должны решаться следующие задачи [32]:

оценка природно-ресурсного потенциала и факторов деградации (эрозии, дефляции, засоления) и их влияния на современное состояние агроландшафтов;

агроэкологическая оценка и типизация земель;

определение оптимального соотношения угодий и видов пашни;

почвозащитная организация землепользования;

адаптивно-ландшафтное обоснование элементов системы земледелия;

эколого-экономическая оценка системы ландшафтного земледелия.

Основные принципы разработки системы адаптивно-ландшафтного земледелия следующие [32]:

системный подход, предполагающий создание агроэкосистем разного уровня организации, которые имеют множество типов и уровней связи как в пределах системы, так и между системами разных типов;

адаптивность систем земледелия к природно-экономическим и экологическим условиям (адаптация культур и сортов к конкретным условиям произрастания, адаптация технологий, адаптивное управление природно-ресурсным потенциалом и т. д.);

устойчивость функционирования агроэкосистем, достигаемая оптимизацией элементов систем земледелия с учетом ресурсного потенциала агроландшафтов;

почвозащитная и природоохранная направленность, обеспечивающая снижение до допустимых пределов эрозии и дефляции почв, предотвращение загрязнения почв и среды биогенными веществами, прекращение деградации почв и получение экологически чистой продукции;

социально-экономическая целесообразность, предусматривающая рациональное использование антропогенных ресурсов за счет применения наиболее экономически эффективных мероприятий, приемов и их сочетаний (оптимальная структура посевов, севооборотов, сортов, удобрений, мелиораций и др.).

Элементами систем адаптивно-ландшафтного земледелия являются: организация землепользования, структура посевных площадей, севообороты, почвозащитные технологии возделывания сельскохозяйственных культур и системы машин, агротехнические, лесомелиоративные, лугомелиоративные, гидротехнические и другие мероприятия.

Неотъемлемой частью адаптивно-ландшафтного земледелия является агролесомелиорация. Наибольшее мелиорирующее влияние ЗЛН, имеющих многофункциональное назначение, проявляется при их системном пространственном размещении.

#### **1.4. Принципы противоэрозионной организации землепользования**

Важнейшим этапом разработки систем мероприятий по защите почв от эрозии является противоэрозионная организация территории. Ее главная задача – распределение и применение различных элементов адаптивно-ландшафтной системы земледелия в соответствии с природно-ресурсным потенциалом и характером использования сельхозугодий.

При разработке проектов внутрихозяйственного землеустройства необходимо учитывать [32]:

1. Специализацию хозяйств и структуру посевных площадей.

2. Размещение границ хозяйств и их влияние на сток и эрозионные процессы. Необходимо стремиться к тому, чтобы границы и основные линейные рубежи проходили по водоразделам. Расположение линейных рубежей должно способствовать обработке почв поперек склона или вдоль горизонталей. Так, например, при неправильном расположении в рельефе ЛП, которые определяют соответствующее направление обработки почвы, может резко снизиться эффективность всего комплекса.

3. Состав и распределение земельных угодий и их рациональное использование, типы, количество и размеры севооборотов, применение повышенных доз минеральных и органических удобрений на смытых почвах. Создание организационно-территориальных условий для проведения противоэрозионных мероприятий на всех землях, независимо от их назначения и хозяйственного использования.

4. Выделение сильноэродированных участков присетевой зоны и гидрографической сети под сплошное или куртинное облесение, правильное размещение ЛП, полевых дорог, скотопрогонов и др.

5. Проектирование полей севооборотов с учетом дальнейшей внутренней организации территории и проведения ряда мероприятий по борьбе с эрозией почв.

6. Обеспечение правильного размещения в рельефе всех элементов противоэрозионного комплекса.

Определяющим моментом противоэрозионной организации землепользования является типология земель (выделение контуров по однородным агроэкологическим условиям) и определение характера их использования, а также применение технологий, приемов и мероприятий, обеспечивающих нормальное функционирование агроэкосистем.

При планировании комплекса противоэрозионных мероприятий необходимо исходить из того, что в ходе процессов рельефообразования, а также под воздействием природных и антропогенных факторов на водосборных бассейнах разного ранга и их склонах сложились различные почвенно-экологические условия, чем и обусловлено выделение ландшафтных полос – эрозионных земельных фондов.

В приводораздельной части склонов крутизной до 2-3° почвы несмытые и слабосмытые. Процессы эрозии здесь протекают слабо, интенсивность смыва часто не превышает скорость естественного почвообразовательного процесса (1-2 т/га). Однако эта территория является ареной формирования стока, который, поступая на присетевые участки склонов и в гидрографическую сеть, приводит к смыву почвы

и размыву почвогрунтов, а также к выносу биогенных веществ в водные источники. Здесь противоэрозионные мероприятия должны быть направлены на задержание воды на месте или безопасный сброс в зависимости от природной зоны.

В присетевой части на склонах круче 2-3° образуется полоса средне- и сильносмывных почв, характеризующихся пониженным содержанием гумуса, ухудшенными водно-физическими и химическими свойствами и сильной податливостью эрозии. Здесь в основном протекают процессы смыва (часто и размыва – оврагообразования) как за счет собственного стока, так и за счет подтока с вышележащей территории, поэтому противоэрозионные мероприятия должны быть направлены на защиту почв от смыва, восстановление и повышение плодородия.

В гидрографической сети протекают в основном процессы размыва и смыва, распространены здесь сильно и весьма сильно смывные почвы, но имеются несмывные, слабо- и среднесмывные, а также намытые почвы. Мероприятия на этих угодьях должны быть направлены на предохранение их от размыва и смыва.

Приводораздельные и присетевые склоны, а также земли гидрографической сети выделяются в виде ландшафтных поясов (фондов) при составлении ландшафтных карт местности. Для каждого из этих фондов определяется свой характер использования и набор противоэрозионных мероприятий.

Критериями для выделения разных групп земель на склонах являются характер гидрологических и эрозионных процессов, состояние почв, местонахождение в рельефе, доступность для проведения механизированных работ и др. [32]. При этом максимально учитываются особенности природных и антропогенных ландшафтов, требовательность сельскохозяйственных культур к условиям произрастания, оптимально реализуется ресурсный потенциал, каждый земельный участок используется с учетом его экологических условий и типологии земель.

Разрабатываемые системы адаптивно-ландшафтного земледелия, основанные на изложенных выше принципах и подходах, позволяют зарегулировать поверхностный сток, улучшить гидротермический режим, подавить эрозионные процессы, повысить экологическое разнообразие агролесоландшафтов, улучшить регуляторную способность агроценозов. ЗЛН в системе адаптивно-ландшафтного земледелия кроме того служат долговременными рубежами землепользований, севооборотов, полей. Они выполняют рекреационную, эстетическую и другие социальные функции.

## **2. СИСТЕМА МЕРОПРИЯТИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ЭРОЗИОННО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ**

### **2.1. Общая характеристика противоэрозионных приемов и их стокорегулирующая и противоэрозионная эффективность**

Все противоэрозионные мероприятия можно разделить на три основные группы. В первую входят приемы, влияющие рассредоточенно по территории на водопоглощение и сток. К ним относятся преимущественно агротехнические приемы: поверхностное водозадержание (вспашка поперек склона или по контуру, искусственный микрорельеф, щелевание и др.), безотвальные и мульчирующие обработки, снегозадержание и регулирование снеготаяния, полосные посевы, приемы повышения водопроницаемости почвы (глубокое рыхление, окультуривание, оструктуривание) и др. Во вторую группу входят приемы "сосредоточенного", локального, действия – линейные рубежи: водоотводящие и водозадерживающие валы, канавы с валами, валы-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). Лесомелиоративные приемы могут сочетаться с приемами второй группы. Есть ряд промежуточных приемов (щелевание, кулисные и полосные посевы и т. д.), сочетающих в себе качества первой и второй групп. Нами они отнесены к первой группе.

Действие агротехнических противоэрозионных приемов направлено на задержание осадков на месте их выпадения и защиту почв от эрозии на всей территории. Их, в свою очередь, по характеру воздействия и назначению можно разделить на четыре основные группы. В первую группу входят приемы, направленные на радикальное улучшение водно-физических свойств почв и, в первую очередь, на повышение водопроницаемости: углубление пахотного слоя (глубокая вспашка и безотвальное рыхление), окультуривание, искусственное оструктуривание почвы, щелевание, кротование и др. Ко второй группе



относятся приемы, направленные на поверхностное водозадержание: поперечная и контурная вспашка зяби, создание искусственного микрорельефа (лункование, прерывистое бороздование, обвалование, микролиманы и др.). В третью группу входят приемы, обеспечивающие высокую противозерозионную устойчивость почвы: поверхностные обработки, плоскорезная обработка, мульчирование поверхности почвы и др. В четвертую группу можно отнести приемы, направленные на регулирование снегоотложения и снеготаяния: снегозадержание (снегопахи, кулисы, ЛП и др.), полосное зачернение, уплотнение, распашка снега с целью регулирования снеготаяния.

В литературе очень часто ошибочно отводится большая роль в регулировании стока агротехническим мероприятиям. Наши исследования и обобщение имеющихся литературных данных позволили дать количественную оценку их стокорегулирующей и противозерозионной эффективности (табл. 4).

Таблица 4

**Эффективность противозерозионных агротехнических приемов**

Прием	Количество годоопытов	Уменьшение (–) или увеличение (+) в сравнении с контролем		
		стока, мм	смыва, т/га	урожая, ц/га
Глубокая зяблевая вспашка	22	–6	–0,9	+1,2
Щелевание зяби	6	–3	–0,3	–0,1
Вспашка поперек склона или по контуру	14	–2	–0,4	+0,8
Обвалование зяби	39	–5	–0,2	+1,1
Ступенчатая вспашка	14	–1	–1,1	+1,2
Комбинированная вспашка	25	+2	0	+0,1
Прерывистое бороздование	48	–2	+0,2	+0,9
Лункование зяби	62	+1	+0,1	+0,7
Устройство микролиманов	17	–2	+0,1	+1,8
Плоскорезная обработка	75	+2	–0,1	–0,4

Имеющийся большой набор агротехнических средств не позволяет сильно воздействовать на процесс водопоглощения почвой влаги зимних осадков. Они малоэффективны в стокорегулирующем и противозерозионном отношении. Эти приемы в принципе не могут быть высокоэффективны, так как почти не влияют на природные факторы стока: увлажнение и промерзание почвы, снегозапасы. Низкая стокорегулирующая и противозерозионная эффективность агротехнических

приемов не должна являться причиной отказа от них. Однако правильная оценка стокорегулирующей роли агротехнических противоэрозионных мероприятий должна предостеречь от опасного заблуждения, что, применяя их можно достичь высокого эффекта в регулировании стока и защите почв от эрозии. Переоценка их роли, имеющаяся в настоящее время в литературе, опасна, так как она создает иллюзию благополучия и снимает необходимость применения других противоэрозионных мероприятий и особенно лесомелиоративных, без которых невозможно создать надежную противоэрозионную защиту. Агротехнические приемы могут применяться в комплексе с другими противоэрозионными мероприятиями.

Лесомелиоративные мероприятия, являясь важнейшим антропогенным фактором адаптивно-ландшафтной системы земледелия, играют многофункциональную роль. Воздействуя на природные факторы (снегозапасы, влажность и промерзание почвы, температура воздуха и почвы и др.), они влияют на засухи и суховеи, ЭГП и урожайность сельскохозяйственных культур. Им придается особое значение и оценить его можно только во взаимосвязи с другими элементами. Стокорегулирующая роль противоэрозионных ЛП значительно выше, чем агротехнических мероприятий, однако она недостаточна для эффективной защиты почв от эрозии. Поэтому необходимо применять их в сочетании с другими элементами системы земледелия.

Перспективными противоэрозионными приемами могут быть приемы, направленные:

на воздействие на природные факторы стока – глубину промерзания, влажность почвы и снегозапасы;

регулирование поверхностного стока путем потускулярного перевода его в грунтовой (ЛП, водозадерживающие валы и канавы) или безопасный сброс воды по поверхности (наклонные водоотводящие борозды, распылители стока, водоотводящие валы и др.);

повышение противоэрозионной устойчивости почв (минимализация обработки, плоскорезная обработка, использование многолетних трав для улучшения структуры почв и др.);

использование почвозащитных свойств растительности (почвозащитные севообороты, постоянное залужение сильноэродированных участков и водотоков, совершенствование структуры посевных площадей и др.).

## **2.2. Противоэрозионная организация территории водосборов и характер использования сельскохозяйственных земель**

Противоэрозионная организация территории предусматривает выделение севооборотных массивов с учетом крутизны склона, эродированности почв, интенсивности современных процессов эрозии; выбор и разработку схем севооборотов; определение размеров полей и размещение их на территории; рациональное размещение ЛП и других линейных рубежей, определение приемов и технологий обработки почвы, мест гидротехнических сооружений и способов улучшения суходольных лугов.

Соотношение культур в севооборотах определяет и структуру посевных площадей. Важнейшими принципами формирования структуры посевных площадей являются следующие [32]:

оптимизация удельного веса чистого пара для обеспечения производства социально и экономически обоснованного количества растениеводческой продукции, снижения эрозионной нагрузки на пашню; ценовая политика на рынке;

сохранение плодородия почвы на основе биологизации агроценозов путем расширения площади посевов зернобобовых и сидеральных культур, а также многолетних трав;

оптимизация площади под приоритетными культурами, которыми являются из зерновых – озимая пшеница, из технических – подсолнечник;

увеличение производства зерна сортов твердой пшеницы;

улучшение качественного состава предшественников за счет группы зернобобовых культур, а также эспарцета и других многолетних трав;

увеличения биоразнообразия путем введения таких нетрадиционных культур, как рапс, сурепица, рыжик, сафлор и др.;

удовлетворение возрастающей потребности в кормах собственного производства за счет зернофуражных, зерновых культур и многолетних трав.

При определении структуры посевных площадей, севооборотов и характера использования земель важно учитывать биологические особенности и почвоскрепляющие свойства сельскохозяйственных культур. Они по разному реагируют на условия произрастания. В табл. 5 приведены данные, характеризующие степень снижения уро-

жайности сельскохозяйственных культур в зависимости от степени смытости почвы [33]. Такие культуры, как сахарная свекла, кукуруза, картофель, яровая пшеница, подсолнечник высокотребовательны к условиям произрастания; озимая пшеница, озимая рожь, ячмень, суданка среднетребовательны; многолетние травы, бобовые и вико-овсяная смесь малотребовательны.

Таблица 5

**Уровень урожайности сельскохозяйственных культур на почвах разной степени эродированности в % к несмытой почве**

Культура	Уровень урожайности сельхозкультур, %		
	степень эродированности почв		
	слабая	средняя	сильная
Озимая пшеница	85-90	50-60	30-35
Озимая рожь	85-90	55-65	35-40
Яровая пшеница	70-80	40-50	15-20
Ячмень яровой	80-85	45-55	30-40
Овес	80-85	55-60	30-45
Кукуруза	80-85	60-70	15-25
Горох, вика	85-95	60-70	50-60
Сахарная свекла, картофель	80-90	30-40	10-15
Подсолнечник	70-80	40-50	20-30
Вика + овес	85-90	65-70	35-45
Суданка	80-90	55-60	30-40
Многолетние травы	90-95	85-90	60-75

Почвозащитная роль сельскохозяйственных культур характеризуется следующими коэффициентами эрозионной опасности [33]: черный пар – 1,00; свекла, кукуруза – 0,85; картофель, подсолнечник – 0,75; яровые зерновые – 0,50; смесь кукурузы с горохом и викой, горох, вика + овес – 0,35; многолетние травы первого года пользования – 0,08; то же, второго года – 0,03; то же, третьего года – 0,01.

Коэффициенты эрозионной опасности показывают, что почва под черным паром и пропашными культурами в наибольшей степени подвергается эрозии. Многолетние травы характеризуются высокой почвозащитной ролью.

С учетом этого рекомендуется классификация склоновых земель, в соответствии с которой на территории от водораздела до дна

гидрографической сети выделяются три земельных фонда (ландшафтные полосы): приводораздельный – ровные участки и пологие склоны, имеющие крутизну до  $2^{\circ}$  на каштановых и светло-каштановых почвах и  $3^{\circ}$  на черноземах и темно-каштановых почвах; присетевой – земли крутизной свыше  $2-3^{\circ}$ , примыкающие к гидрографической сети; гидрографический – берега, крутосклоны (обычно круче  $7-8^{\circ}$ ) и днища лощин, суходолов (балок) и речных долин обычно с малой крутизной. Исходя из вышеизложенного, рекомендуется земли на приводораздельных склонах крутизной меньше  $2-4^{\circ}$  использовать интенсивно в зернопропашных или зернопаропропашных севооборотах с максимальным насыщением парами и пропашными культурами: пар чистый – озимые – кукуруза – яровая пшеница – ячмень, овес; пар чистый – озимые – яровая пшеница – просо – ячмень – овес; пар чистый – озимые – зернобобовые – яровая пшеница – ячмень, овес. Земли на присетевых склонах круче  $2-4^{\circ}$ , где наиболее интенсивно протекают эрозионные процессы, отводятся под почвозащитные севообороты с максимальным насыщением малотребовательными к условиям произрастания и обладающими высокой почвозащитной способностью многолетними травами: яровые с подсевом многолетних трав – многолетние травы – многолетние травы – многолетние травы – многолетние травы.

В почвозащитном севообороте многолетние травы надежно защищают почву от эрозии. На зяби, а в ряде случаев и на озимых смыв почвы был значительным. При наличии стокорегулирующей ЛП на границе полей зернопаропропашного и почвозащитного севооборотов талая вода с вышележащего поля не поступала на нижележащее и смыв в почвозащитном севообороте не увеличивался. При отсутствии ЛП смыв обычно (такова закономерность) вниз по склону увеличивается. После распашки многолетних трав и если нет подтока, смыв бывает незначительный или совсем не проявляется.

Роль почвозащитных севооборотов нами изучалась во взаимодействии с другими факторами: стокорегулирующими ЛП в сочетании с простейшими гидротехническими сооружениями и обработкой почвы. Полученные материалы свидетельствуют о высокой противоэрозионной эффективности почвозащитных севооборотов, что позволяет их рекомендовать для практического применения.

### **2.3. Система обработки почвы, агротехнические противоэрозионные мероприятия и почвозащитные технологии возделывания сельскохозяйственных культур**

При адаптивно-ландшафтной организации территории системный подход к выбору механического воздействия на почву связан, прежде всего, с учетом особенностей рельефа.

Обработка почвы в системе агроландшафта территорий должна применяться с учетом почвенно-климатических условий каждой зональной провинции и отвечать следующим основным требованиям [32]:

обеспечивать защиту почв от эрозии, сбережение ресурсов и энергии;

улучшать водно-физические свойства и общую направленность физико-химических и биологических процессов, протекающих в почве;

способствовать накоплению и рациональному расходованию почвенной влаги, обеспечивать максимальное сохранение ее в посевном слое почвы к дате посева;

обеспечивать сжатые сроки и хорошее качество выполнения всех технологических операций;

использовать приемы, сокращающие конвекционно-диффузное испарение почвенной влаги: выравнивание поля без выноса влажной почвы на поверхность, создание оптимальной плотности ее сложения, исключение излишне глубоких обработок весной и сочетание их с прикатыванием;

оптимизировать фитосанитарные условия;

обеспечивать улучшение почв солонцового комплекса с помощью мелиоративной вспашки в сочетании с фитомелиорацией;

регулировать режим органического вещества и биогенных элементов, размещение удобрений в пахотном слое;

создавать оптимальные условия для посева и получения дружных всходов.

В связи с большим разнообразием агроландшафтов приоритетность задач, решаемых системой обработки, различна. Наиболее благоприятный водно-физический режим верхнего слоя почвы достигается путем сочетания безотвальной, отвальной, поверхностной и мелиоративной обработок. Такая их комбинация позволяет более экономно использовать материально-денежные ресурсы и на 20-25 % повысить влагообеспеченность растений [32].

Совершенствование систем обработки почвы должно базироваться на расширении объема применения почвозащитных и энерго-сберегающих технологий.

## **2.4. Лесомелиоративные мероприятия**

Лесомелиоративные мероприятия, являясь важнейшим антропогенным фактором адаптивно-ландшафтной системы земледелия, играют многофункциональную роль. Им придается особое значение и оценить его можно только во взаимосвязи с другими элементами. Основными функциями ЛП являются следующие: ослабление ветра и задержание снега на полях, уменьшение промерзания почв, задержание и регулирование поверхностного стока, сокращение смыва и размыва почв и повышение их влажности, улучшение микроклимата и гидрологических условий территории (повышение уровня грунтовых вод). Все это способствует повышению плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур. Поэтому лесонасаждения должны образовывать целую систему, призванную оказывать мелиоративное воздействие на земли приводораздельного, присетевого и гидрографического фондов.

Воздействуя на природные факторы (снегозапасы, влажность и промерзание почвы, температуру воздуха и почвы и др.), они влияют на ЭГП и урожайность сельскохозяйственных культур.

## **2.5. Гидротехнические противоэрозионные мероприятия**

### **2.5.1. Гидротехнические противоэрозионные мероприятия на пашне**

К простейшим гидротехническим противоэрозионным мероприятиям на пашне относятся водоотводящие валы и борозды, валы-террасы и др. Они применяются во взаимосвязи с другими противоэрозионными мероприятиями, особенно с лесомелиоративными. Валы-террасы на пашне играют очень большую стокорегулирующую, противоэрозионную роль. Они положительно влияют на снегоотложение, промерзание и влажность почвы, смыв почвы и урожайность сельхоз культур. Сток талых вод уменьшается на величину от 1-8 до 45-60 мм [34].

Наклонные водоотводящие борозды применяются для защиты от смыва почвы на нижележащих участках. Их устраивают по нижней границе или внутри полей через 50-100 м плугом с одним корпусом при уклоне по линии пахоты не более 1,0-1,5°.

Таким образом, гидротехнические приемы на пашне, направленные на поверхностное задержание воды и увеличение водопоглощения (валы-террасы), обеспечивают уменьшение стока на 30-50 мм и смыва почвы в 8-12 раз. Однако все эти приемы имеют относительно высокую стоимость. Они рассчитаны на строго контурную организацию территории, что создает сложности в организации работ и эксплуатации. Все это сдерживает их внедрение в практику.

Водоотводящие устройства (наклонные водоотводящие борозды и валы) обеспечивают снижение смыва в 2-8 раз или полное его предотвращение. Они дешевы, просты в создании и эксплуатации, поэтому их целесообразно применять в производстве.

### 2.5.2. Гидротехнические противоэрозионные мероприятия на оврагах

Противоэрозионные гидротехнические сооружения и другие способы закрепления оврагов являются последним звеном в общей системе почвозащитных мероприятий. Из простейших гидротехнических сооружений и устройств широко применяются водозадерживающие и водоотводящие валы, валы-плотины, валы-канавы, различные распылители стока, а также донные запруды (в сочетании с укреплением вершин). К сложным водосбросным сооружениям, которые находят применение в практике при укреплении интенсивно размываемых вершин крупных оврагов, относятся различные перепады, быстротоки, а также подпорные стенки. В табл. 6 приводится группировка оврагов

Таблица 6

#### **Группировка оврагов по способам закрепления с применением гидротехнических сооружений и устройств и выполаживания [34]**

Площадь водосбора, га	Глубина оврага в вершине, м	Средняя глубина оврага, м	Особенности расположения оврагов и активность роста, характеристика балок	Применяемые гидротехнические сооружения и другие способы закрепления
1	2	3	4	5
<i>Донные</i>				
Независимо	1-2	1-2	Расположены по дну на отдельных участках, изолированно друг от друга	Проводится устройство водоотводящего вала у вершины, засыпка бульдозером оврага и посев многолетних трав



Продолжение табл. 6

1	2	3	4	5
60-100	2-4	Независимо	Рост вершины продолжается	Вершина закрепляется путем выполаживания до угла 4-5° с последующим залужением многолетними травами. Сток временно отводится валами
100-150	> 4		Происходит углубление и рост вершины	Бетонные лотки-быстротоки, трубчатые водосливы, ступенчатые перепады в вершине, совмещенные (при необходимости) с серией плетневых и фашинных запруд по дну оврага
<i>Вершинные</i>				
До 5	< 2	< 2	Продолжается прирост оврага	Засыпка в сочетании с временным отводом стока земляными валами и залужение многолетними травами
До 10	2-3	3-6		Вершины выполаживаются и залужаются, вода временно отводится валами. Дополнительно могут быть запроектированы водозадерживающие и водоотводящие валы
	3-4	> 6	Продолжается рост вершины и углубление дна	Водозадерживающие валы в сочетании с выполаживанием и залужением вершин
10-20	4-5	Подпорные стенки, ступенчатые перепады. В некоторых случаях могут быть применены водозадерживающие валы		
> 20	Независимо	> 6-8		Бетонные лотки-быстротоки, трубчатые водосливы с серией донных запруд
<i>Береговые</i>				
1-2	Независимо	> 3-4	Берега хорошо задерневшие, без сети свежих промоин, крутизной преимущественно > 10°	Отвод стока от вершины при помощи распылителей, частичное выполаживание откосов оврагов
			Берега слабо задернели, имеется сеть промоин, исключая возможность отвода стока	Выполаживание оврагов и коренная мелиорация склонов балок
2-3			Состояние берегов позволяет осуществлять сброс стока	Водоотводящие валы со сбросом воды на хорошо задерневшие участки берегов

Продолжение табл. 6

1	2	3	4	5
2-3	Независимо	> 3-4	Состояние берегов не позволяет осуществлять сброс стока	Водоудерживающие валы
3-5		> 5-6	Крутизна склона в зоне вершины до 5°, дно с рытвинами, перепадами, свежими промоинами	Водоудерживающие валы в сочетании с выполаживанием вершин и донными запрудами
			Крутизна склонов в вершине свыше 5°. Состояние берегов позволяет осуществить сброс воды	Система водоотводящих валов
20-25 (общая)	Независимо	Независимо	Густая сеть оврагов, расположенных близко друг к другу, на крутых берегах (15-20°). Задержание или отвод воды от отдельных оврагов невозможны	Валы-канавы на протяжении всего участка, занятого оврагами, работающие частично на водоудержание, частично на сброс
2-5		До 5-6	Одиночные овраги на берегах балок крутизной до 10°	Выполаживание откосов с засыпкой оврага и залужением многолетними травами
		6-10		Частично выполаживаются откосы. Водоудерживающие валы в сочетании с выполаживанием и залужением вершины
	До 10	Крутизна берегов больше 10°	Водоотводящие валы в сочетании с выполаживанием и залужением вершин	
<i>Склоновые</i>				
До 10	2-4	До 6	-	Выполаживание откосов с частичной засыпкой до образования тракторопроходимой ложбины. На ложбинах через 50-100 м устраиваются плотины-перемычки
	3-5	> 6	Пашня	Водоудерживающие валы в сочетании с выполаживанием и залужением вершин

1	2	3	4	5
До 10	3-5	> 6	Зона залужения	Водоотводящие валы в сочетании с выполаживанием и залужением вершины. Откосы частично выполаживаются
10-30	Независимо	> 6	-	Система водозадерживающих валов, валов-плотин и водоотводящих валов в комбинации с выполаживанием и залужением вершин. При сильно эродированном дне применяются донные запруды. Как исключение – сложные бетонные и железобетонные сооружения

оврагов по способам их закрепления с применением гидротехнических сооружений и методов выполаживания и залужения. Гидротехнические мероприятия должны применяться как самостоятельно (валы-террасы на пашне, водозадерживающие и водоотводящие валы у вершин оврагов, валы-плотины в гидрографической сети и др.), так и в сочетании со стокорегулирующими ЛП (валы по нижней опушке ЛП, канавы в нижнем междурядье и др.).

### 2.6. Лугомелиоративные мероприятия

Естественная травянистая растительность обладает высокими почвозащитными свойствами. Однако в агроландшафтах сенокосы и пастбища из-за высокой хозяйственной нагрузки сильно деградированы и часто подвергаются эрозии, особенно на крутых присетевых и балочных склонах. Для повышения их почвозащитной эффективности и продуктивности назначаются приемы поверхностного и коренного улучшения с подсевом семян многолетних трав или полной заменой естественного травостоя сеяным, с внесением удобрений, рационализацией приемов использования (сенокосо- и пастбищеобороты и т. п.). На слабоизрезанных оврагами балочных склонах крутизной до 20° при угнетенном состоянии травостоя и при наличии не менее 25 % ценных трав проводят их поверхностное улучшение. Мероприятия включают в себя подготовку площади (расчистка, удаление кочек, засыпка промоин и пр.), регулирование поверхностного стока, уход за дерниной и травостоем (боронование, уничтожение сорной растительности, подсев трав, снегозадержание и др. [35]. На сильноэродированных склонах с деградированным травяным покровом и долей

ценных трав менее 25 % проводят мероприятия по коренному улучшению. Они состоят из регулирования поверхностного стока, планирования поверхности с удалением дернины, посева травосмеси, внесения удобрений, проведения лесомелиорации.

## **2.7. Технология агролесомелиоративного адаптивно-ландшафтного обустройства территории**

### **2.7.1. Размещение стокорегулирующих лесных полос и других рубежей**

Размещение ЗЛН является важным вопросом организации территории, так как ЛП на сельскохозяйственных землях образуют каркас противоэрозионной защиты и от их расположения в рельефе в большой степени зависит эффективность комплекса в целом.

В целях эффективного задержания стока и борьбы с эрозией очень важно, чтобы в эрозионно-опасных районах основные ЛП располагались в тесной увязке с рельефом – поперек склона или приблизительно вдоль горизонталей.

Технология агролесомелиоративного адаптивно-ландшафтного обустройства территории создана на основе разработок Е. А. Гаршинова о функции формы склона как функции эрозии и аккумуляции [10]. Адаптивно-ландшафтное обустройство осуществляется в несколько этапов: расчет стока и смыва талых вод, расчет расстояний между стокорегулирующими ЛП и другими рубежами, определение параметров проектируемых ЛП (подбор конструкции, рядность, породный состав).

Перед началом проектирования линейных рубежей (ЛП и гидротехнические устройства) проводится обследование территории, анализ топографической и почвенно-эрозионной карт, а также сведений о структуре посевных площадей и севооборотов, осуществляется анализ космоснимков на наличие процессов эрозии почв.

### **2.7.2. Расчет стока талых вод и смыва почвы**

Для планирования мер по регулированию поверхностного стока и при проектировании системы противоэрозионных мероприятий на расчетной основе необходима количественная оценка слоя стока в любой точке территории страны. В связи с тем, что в РФ пунктов наблюдений за стоком талых вод на различных видах пашни (зябь, озимые, многолетние травы, стерня и др.) с относительно длинными

рядами мало, то наиболее удобной и доступной формой изложения их для проектных организаций являются карты среднего стока и модульные коэффициенты для расчета стока разной вероятности превышения. Нами были построены карты среднего весеннего стока с зяби и уплотненной пашни [1] для лесостепных и степных районов европейской части РФ (рис. 2). Они отражают фактическую картину изменения его в связи с природными и антропогенными факторами в лесостепных районах европейской территории РФ. Используя карты изолиний среднего поверхностного стока талых вод и модульные коэффициенты (табл. 7) можно рассчитывать показатели стока различной вероятности превышения и применять их при проектировании системы мероприятий по управлению ЭГП.

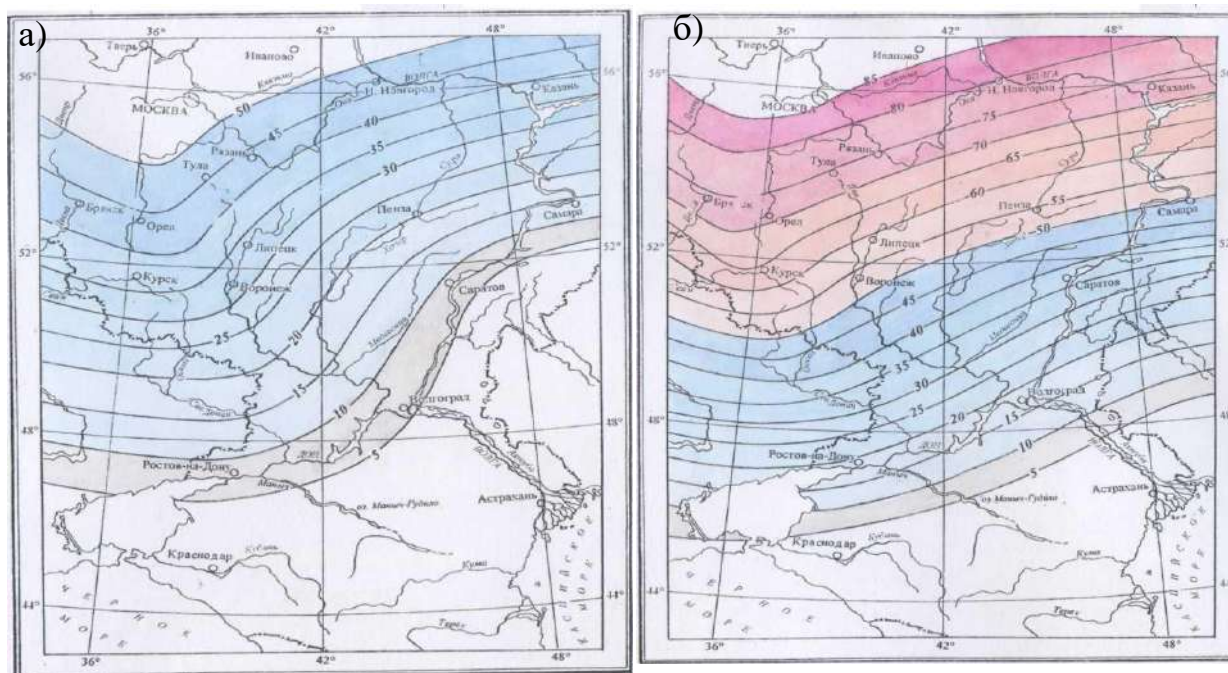


Рис. 2. Изолинейные карты поверхностного стока талых вод на рыхлой (а) и уплотненной (б) пашне в европейской части РФ

Для расчета смыва почв на топографической карте наносятся основные линии тока (рис. 3), по которым рассчитывают характеристики формы склонов и значения уклонов и смыва почвы (табл. 8), составляя при этом ряд тематических карт. Расчет смыва почв производят по формуле [10]

$$W = \alpha \cdot K \cdot h^s \cdot I, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – коэффициент размерности и пропорциональности (табличное

значение для разных видов угодий);  $K$  – произведение коэффициентов, учитывающих влияние на смыв почвенных условий (тип почвы, гранулометрический состав, степень смытости), агротехнических приемов и др.;  $s = 0,95$  – параметр;  $h$  – слой стока;  $I$  – уклон.

Таблица 7

**Модульные коэффициенты перехода от среднего стока к стоку разной вероятности превышения**

Зона, область, почва	Вид пашни	Вероятность превышения, %						
		1	5	10	50	70	80	90
Лесостепная, Орловская, серая лесная	Уплотненная	5,38	3,48	2,69	0,65	0,17	0	0
	Рыхлая	6,45	4,05	2,95	0,55	0	0	0
Лесостепная, Курская, темно-серая лесная	Уплотненная	4,57	3,11	2,46	0,76	0,32	0,11	0
	Рыхлая	5,90	3,70	2,75	0,55	0,10	0	0
Лесостепная, Курская, выщелоченный чернозем	Уплотненная	6,00	3,48	2,91	0,62	0,06	0	0
	Рыхлая	7,54	4,69	3,38	0,46	0	0	0
Степная, Воронежская, обыкновенный чернозем	Уплотненная	5,41	3,52	2,69	0,65	0,17	0	0
	Рыхлая	9,78	5,89	4,22	0,33	0	0	0
Степная, Самарская, обыкновенный чернозем	Уплотненная	3,65	2,68	2,20	0,88	0,47	0,26	0
	Рыхлая	7,71	4,71	3,43	0,43	0	0	0
Степная, Волгоградская, темно-каштановая	Уплотненная	5,25	3,44	2,62	0,83	0,31	0,12	0
	Рыхлая	7,40	4,20	3,00	0,40	0	0	0
Сухостепная, Волгоградская, светло-каштановая	Уплотненная	4,69	3,25	2,56	0,75	0,25	0	0
	Рыхлая	12,67	6,67	4,00	0	0	0	0

Таблица 8

**Характеристика склонов водосбора лога Малый по уклонам и смыву почвы на разном расстоянии от водораздела (фрагмент)**

Расстояние от водораздела, м	Уклоны		Смыв почвы, т/га
	$tgL \times 10^3$	$L$ , град.	
<i>Профиль 1</i>			
250	6,2	0,4	0,1
500	5,0	0,3	0,1
750	50,0	2,9	2,3
1000	67,0	3,8	4,7
1250	40,0	2,3	2,7
<i>Профиль 2</i>			
250	3,2	0,2	0,1
500	8,0	0,5	0,1
750	50,0	2,9	2,3
1000	44,0	2,6	2,5



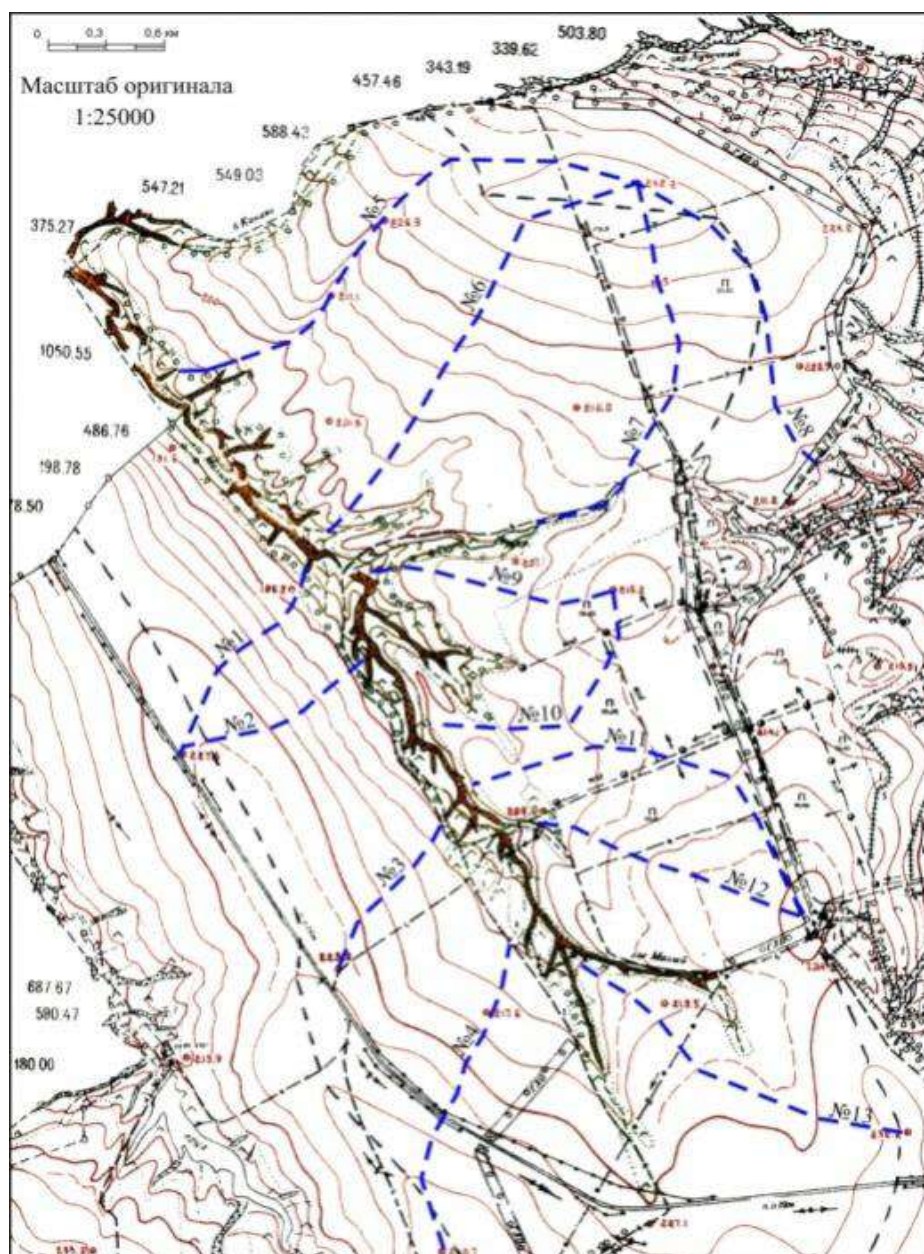


Рис. 3. Пример построения линий тока на водосборе лога Малый Клетского р-на Волгоградской обл.

### 2.7.3. Расчет расстояний между стокорегулирующими лесополосами и другими рубежами

Положение стокорегулирующих ЛП (рубежей) на склоне определяется следующими условиями [10]:

величина текущего смыва не должна превышать некоторого допустимого предела – допустимого смыва  $W_0$ ;

около каждой стокорегулирующей ЛП вдоль верхней и нижней опушек формируется так называемый пояс восстановления плодородия почвы суммарной шириной  $L_0$ , равной 90 м;

сток и смыв прерывается на рубеже ЛП вследствие устройства в ней гидросооружения, которое часть стекающей воды поглощает, а часть – отводит вдоль ЛП;

если величина текущего смыва не достигает  $W_0$  при расстояниях между ЛП  $L_p$ , принятыми для "равнинных" условий ( $L_p = 400$  м), то расстояние между ЛП  $L_{mn}$  определяется из неравенства  $L_p \geq L_{mn} \geq L_c$ , где  $L_c = L_p(1 + 3\text{tg}L)$ ;

из-за уменьшения дальности ветроломного влияния ЛП на ветроударных склонах  $L_{mn} = L_c$ , где  $L$  – средняя крутизна склона между ЛП, град.

Во всех случаях, разумеется,  $L_{mn} = (L_0 + L_6) \leq (L_p - L_6)$ , для первой стокорегулирующей ЛП от водораздела, если  $L_0 \geq L_p$ , величина  $1/2L_{mn} = 1/2(L_p - 1/2L_6)$ . Это означает, что на водоразделе ЛП не создается, а вместо нее проектируются две приводораздельные ЛП по обе стороны водораздела так, что расстояние  $L_{mn}$  между ними в сумме равно расстоянию  $L_p$  для ветроломных ЛП на "равнине", поскольку при малой крутизне приводораздельных склонов смыв не достигает предельных значений, а малые значения уклона и водораздела на дальности ветроломного влияния не сказываются [10].

Таким образом, расчет стокорегулирующих ЛП выполняется по уравнению связи текущего смыва со слоем стока, характеристиками формы склона и коэффициентами почвенных условий до тех пор, пока расстояние до первой от водораздела ЛП не станет равным  $1/2 L_p$  или величина смыва на некотором расстоянии  $L_0 \leq 1/2(L_p - L_6)$  не достигнет предельно допустимого размера. Положение нижележащей 2-й стокорегулирующей ЛП получают расчетом от точки, расположенной на расстоянии от водораздела  $L_2 = L_0 + L_{mn} + 1/2 L_6$  и т. д. до бровки лощинно-балочной сети.

Для примера по этой схеме выполнены расчеты расстояний между ЛП для водосбора лог Малый, и определено их местоположение. Всего на водосборе для оценки текущего смыва заложено 13 профилей (см. рис. 3). Длина профилей колебалась от 1,1 до 3,7 км.

Смыв, в зависимости от сочетания длины, уклонов и формы склонов, сильно варьирует. На пологих длинных склонах его величина небольшая (до 2 т/га), а на склонах длинных и крутых она достигает почти 7 т/га.

Трассирование стокорегулирующих ЛП осуществляется:

- параллельно-прямолинейно – на склонах с прямым поперечным профилем;



- параллельно контурно-прямолинейно – на склонах собирающего и рассеивающего типа с равномерным расстоянием между горизонталями;

- параллельно контурно – на склонах собирающего и рассеивающего типа с равномерным расстоянием между горизонталями;

- контурно-параллельно со спрямлением в ложбинах на склонах с неравномерным расстоянием между горизонталями.

При проектировании стокорегулирующих ЛП необходимо стремиться к их параллельности. При этом контурность (кривизна) ЛП, если они являются направляющими линиями обработки, проектируются так, чтобы начав обработку от ЛП, радиусы загонов на всем участке были бы не менее 60-70 м.

В ФНЦ агроэкологии РАН разработаны типовые проектные решения комплекса мероприятий по адаптивно-ландшафтному обустройству территории в хозяйствах Волгоградской обл. На рис. 4 приведена схема

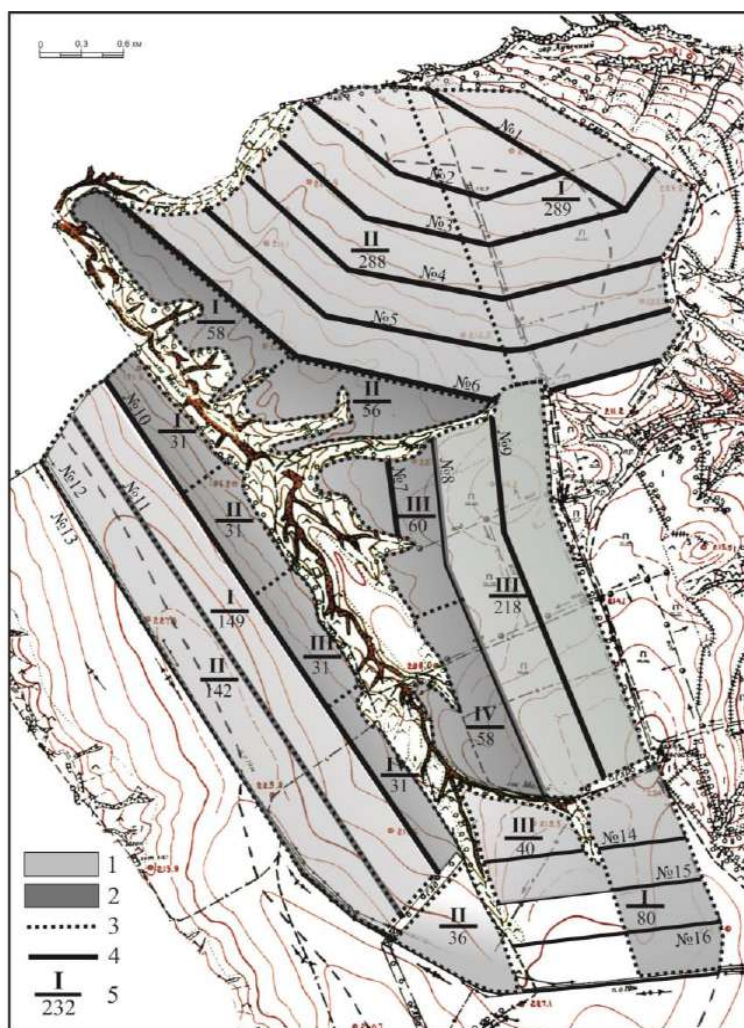


Рис. 4. Схема адаптивно-ландшафтного обустройства территории водосбора и размещения ЛП в Клетском р-не:

1 – полевые севообороты, 2 – почвозащитные севообороты, 3 – границы полей, 4 – проектируемые ЛП, 5 – номера и площади полей

противоэрозионной организации территории и размещения стокорегулирующих ЛП крупного балочного водосбора. Земли принадлежат двум фермерам. Учитывая изложенные выше принципы и подходы, у каждого фермера были организованы по два севооборота: на склонах крутизной до 3° зернопаропропашной (светлый тон на рисунке), а свыше 3° – травопольный (почвозащитный, темный тон). По границам полей и внутри их запроектированы стокорегулирующие ЛП, размещенные контурно-прямолинейно. В рамках этой организации территории разработана структура посевных площадей, схемы севооборотов, почвозащитные технологии возделывания сельскохозяйственных культур, система удобрений, система машин; определено место и объемы применения лугомелиоративных и гидротехнических мероприятий.

#### 2.7.4. Назначение параметров проектируемых лесополос

При определении лесоводственно-мелиоративных параметров проектируемых ЛП необходимо руководствоваться следующими положениями [36]:

функциональное назначение ЛП на склонах заключается в сочетании главным образом стокорегулирующих, почвозащитных и ветроломных функций. При этом ветроломные функции хотя и играют вспомогательную роль, обеспечивая агроэкономическую эффективность ЛП, их использование важно в первую очередь в противоэрозионно-гидрологическом плане;

главное функциональное назначение стокорегулирующих и прибалочных ЛП – поглощение вод поверхностного стока и защита почв от эрозии – определяется в первую очередь сочетанием их с гидротехническими сооружениями. Ветроломные их функции определяются конструкцией ЛП, которая, в свою очередь, зависит от числа рядов, породного состава, схемы смешения и размещения пород.

Конструкции ЛП должны быть дифференцированы в зависимости от назначения, места расположения на склоне, крутизны склонов и др. Многими поколениями ученых агролесомелиораторов разработаны три основных конструкции: плотная, ажурная, продуваемая и переходные – умеренно-ажурная, ажурно-продуваемая, ажурно-плотная.

Для выполнения своих функций ЛП должны равномерно распределять снег по полям и накапливать в самих ЛП достаточное его количество, необходимое для предотвращения промерзания почвы и для ее

дополнительного увлажнения. Таким требованиям отвечает разработанная и апробированная нами еще одна конструкция ЛП – комбинированная (патент № 2248116). Она обеспечивает оптимальное снегоотложение, предохраняющее почву от промерзания, сохраняющее на высоком уровне впитывающую и кольматирующую способность, а также дополнительное накопление влаги для деревьев.

Важную роль играют способы размещения стокорегулирующих ЛП с разных конструкций на склонах. Известно, что ЛП, задерживая и перераспределяя на местности снег, обуславливают повышенное водопоглощение в самих ЛП и зонах отложения снежных шлейфов, что способствует снижению стока и эрозии почв. Однако ЛП не обеспечивают равномерного его стаивания весной, что приводит, в свою очередь, к некоторому увеличению смыва почвы в межшлейфовой части межполосного пространства. Для лучшего снегораспределения на этих участках можно высевать кулисы из высокостебельных сельскохозяйственных культур. При таком сочетании посадки ЛП и кулис из сельскохозяйственных растений почти весь выпавший снег откладывается на полях равномерно с увеличением мощности его сверху вниз, что обуславливает постепенное стаивание его в этом же направлении и резкое сокращение смыва почвы или предотвращение его.

На снегосдуваемых склонах необходимо регулировать снегоотложение так, чтобы мощность снежного покрова возрастала сверху вниз по склону. Для обеспечения такого снегоотложения ЛП необходимо создавать с уменьшающейся ветропроницаемостью сверху вниз по склону. Это достигается созданием ЛП разной конструкции. Первую от водораздела двухрядную приводораздельную полосу продуваемой конструкции закладывают без кустарника из пород, обеспечивающих площадь просветов между стволами свыше 60 %, в кронах до 10 %. Вторую, стокорегулирующую полосу из трех рядов, формируют без кустарников ажурно-продуваемой конструкции, занимающей промежуточное положение между ажурными и продуваемыми по площади просветов между стволами и в кронах (12-45 %). Третью, стокорегулирующую ЛП из трех рядов ажурной конструкции, формируют из древесных пород и кустарников (в двух рядах – главные породы, в одном – главные чередуются с кустарником), обеспечивающих ветропроницаемость между стволами и в кронах 15-35 %. Четвертую, стокорегулирующую ЛП, создают из 3-4 рядов, но один ряд из чистого кустарника. Пятую, прибалочную полосу, создают из пяти рядов плот-

ной конструкции из деревьев и кустарников: три ряда – из главных пород, два – из кустарников. ЛП должна быть с ветропроницаемостью по всему профилю максимально допустимой не более 10 %.

Подбор ассортимента древесных и кустарниковых пород проводится с учетом климатических особенностей территории и лесопригодности почв. Особое внимание уделяется почвам с тяжелым гранулометрическим составом и с большим содержанием солонцов в почвенном комплексе.

По лесопригодности выделяют следующие группы земель [37]:

I – выщелоченные до 1,5-2,0 м почвы с корнедоступными грунтовыми водами или интрозональные почвы в понижениях с дополнительным водопитанием за счет перераспределения осадков (лучшие условия);

II – зональные почвы с корнедоступными грунтовыми водами, свободные от токсичных водно-растворимых солей до глубины 1,5 м (средние условия);

III – комплексные почвы с участием солонцов от 10 до 25% и глубиной залегания солей токсичных концентраций с глубины 0,5 м (худшие условия).

На выделах I категории используют виды деревьев, представляющих наибольшую хозяйственную и экологическую ценность, на категории II – комплексно устойчивые и селекционно улучшенные деревья в сочетании с кустарниками в рядах и на III – засухо-, морозо- и солеустойчивые кустарники.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Эрозия почв является результатом сложного взаимодействия воды и почвы под влиянием природных и антропогенных факторов. К природным факторам относятся осадки, глубина промерзания, степень и характер увлажнения, водно-физические и химические свойства почвы, рельеф местности, характер снегоотложения и снеготаяния и др., к антропогенным – хозяйственная деятельность людей (обработка почвы, создание ЛП, травосеяние, размещение сельскохозяйственных культур и др.). Эти факторы влияют как на усиление эрозии, так и ее ослабление.

Использование статистических и генетических методов исследования и анализа полученного материала, а также применение элементов системного подхода позволили:

разработать новые теоретические положения формирования поверхностного стока талых вод, существенно уточняющие представления о физической природе гидрологических процессов на сельскохозяйственных угодьях;

по-новому трактовать условия просачивания талых вод в почву; усовершенствовать существующие и разработать новые математические модели;

установить связь поверхностного стока с природными факторами при различном антропогенном воздействии;

дать оценку стокорегулирующей, противоэрозионной и агрономической эффективности отдельных почвозащитных приемов и их сочетаний;

определить роль и место агролесомелиорации в адаптивно-ландшафтном земледелии;

предложить систему эффективных мер по защите почв от эрозии и технологию управления ЭГП.

Теоретические разработки позволяют иметь более правильное представление об ЭГП. Их можно применять при обосновании элементов противоэрозионного комплекса, их сочетаний и более обоснованно рассчитывать адаптивно-ландшафтную систему земледелия в целом.

Они служат теоретической и нормативной базой при разработке системы управления ЭГП на расчетной основе при обустройстве комплексных балочных и малых речных бассейновых агроэколандшафтов как эрозионно-безопасных и экологически сбалансированных. Приведенные материалы исследований дают представление о закономерностях и особенностях ЭГП в разных географических зонах и методах воздействия и управления ими применением почвозащитных ресурсосберегающих технологий и средств агролесомелиорации.

Таким образом, знание закономерностей формирования поверхностного стока талых вод и эрозии почв позволило разработать систему управления ЭГП в адаптивно-ландшафтном земледелии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Барабанов А. Т. Агролесомелиорация в почвозащитном земледелии. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1993. – 156 с.
2. Барабанов А. Т., Панов В. И. К вопросу о прогнозе поверхностного стока талых вод в лесостепной и степной зонах // Аридные экосистемы. – 2012. – Т. 18. – № 4(53). – С. 22-27.
3. Докучаев В. В. Способы образования речных долин европейской России. – Спб., 1878. – 222 с.
4. Костычев П. А. Почвы черноземной области России, их происхождение, состав и свойства. – Ч. I. – Л.: АН СССР, 1951. – 156 с.
5. Козменко А. С. Борьба с эрозией почв. – М.: Сельхозгиз, 1954. – 229 с.
6. Сурмач Г. П. Рельефообразование, формирование лесостепи, современная эрозия и противоэрозионные мероприятия. – Волгоград, 1992. – 174 с.
7. Докучаев В. В. Овраги, их происхождение и деятельность // Избр. соч. – М., 1954. – С. 543-560.
8. Соболев С. С. Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними. – Т. 2. – М. – Л.: АН СССР, 1960. – 248 с.
9. Арманд Д. Л. Естественный эрозионный процесс // Географическая среда и рациональное использование природных ресурсов. – М.: Наука, 1983. – С. 56-70.
10. Гаршинев Е. А. Эрозионно-гидрологический процесс и лесомелиорация: Экспериментальная оценка, расчет, проектирование. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2002. – 220 с.
11. Сурмач Г. П. Прогнозирование стока талых вод с черноземных и каштановых почв // Вестник с.-х. науки. – 1969. – № 12. – С. 53-56.
12. Полуэктов Е. В., Балакай Н. И., Балакай Г. Т. Система мероприятий по снижению поверхностного стока и водной эрозии на землях сельскохозяйственного назначения // Мелиорация и гидротехника. – 2010. – № 4. – С. 103-107.
13. Аполлов Б. А., Калинин Г. П., Комаров В. Д. Курс гидрологических прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 420 с.
14. Комаров В. Д., Макарова Т. Т. Исследование влияния глубины промерзания почвы и других факторов на талый сток рек степной и лесостепной зон // Метеорология и гидрология. – 1972. – № 8. – С. 67-74.

15. Теплофизический метод расчета потерь талых вод на инфильтрацию в мерзлую почву / И. Л. Калюжный [и др.] // Метеорология и гидрология. – 1981. – № 1. – С. 76-82.

16. Мотовилов Ю. Г. Численное моделирование процесса инфильтрации воды в мерзлую почву // Метеорология и гидрология. – 1977. – № 9. – С. 67-75.

17. Кучмент Л. С. Модели процессов формирования речного стока. – Л.: Гидрометеоздат, 1980. – 143 с.

18. Калюжный И. Л., Павлова К. К., Лавров С. А. Физическое моделирование процессов миграции влаги при промерзании почв // Метеорология и гидрология. – 1984. – № 1. – С. 71-85.

19. Оценка влияния изменений климата на водный режим и сток рек бассейна Волги / Н. И. Алексеевский [и др.] // Вода: химия и экология. – 2013. – № 4. – С. 3-12.

20. Демидов В. В. Закономерности эрозии почв лесостепной зоны при снеготаянии как научная основа системы почвозащитных и природоохранных мероприятий: автореф. дис. ... д. б. н. – М., 2000. – 47 с.

21. Сурмач Г. П., Ломакин М. М., Шестакова Л. П. Прогнозирование стока талых вод // Земледелие. – 1989. – № 4. – С. 29-31.

22. Водогрецкий В. Е., Зайцева Э. А., Елфимова Л. В. Склоновый сток и его изменение под влиянием агротехнических и лесомелиоративных мероприятий // Вопросы влияния хозяйственной деятельности на водные ресурсы и водный режим: тр. ГГИ. – Л.: Гидрометеоздат, 1973. – Вып. 206. – С. 53-60.

23. Гаршинев Е. А. О влиянии уклона на поверхностный сток // Науч. тр. ВАСХНИЛ. – М.: Колос, 1977. – С. 56-65.

24. Шеппель П. А. Специальный весенний попуск паводковых вод Волги. – Волгоград: Нижне-Волжское кн. изд-во, 1990. – 191 с.

25. Бураков Д. А., Литвинова О. С. Водно-балансовые зависимости для прогноза стока талых вод на юге Западно-Сибирской равнины // География и природные ресурсы. – 2010. – № 3. – С. 111-120.

26. Урбанова О. Н., Семанов Д. А. Методика расчета наполнения прудов для прогнозирования безопасного пропуска весеннего половодья // География и природные ресурсы. – 2010. – № 4. – С. 144-148.

27. Двинских С. А., Китаев А. Б., Михайлов А. В. Наводнения на реках бассейна Камы и организация защиты от них // Там же. – С. 74-79.

28. Гагаринова О. В. Ландшафтно-гидрологические закономерности формирования стока в бассейне озера Байкал // География и природные ресурсы. – 2012. – № 3. – С. 55-60.

29. Мухин В. М. Методы прогнозирования притока воды в водохранилища за период весеннего половодья // Труды Гидрометцентра России. Гидрометеорологические прогнозы. – 2014. – Вып. 351. – С. 108-140.



30. Гельфан А. Н. Динамико-статистическое моделирование формирования талого стока. – М.: Наука, 2007. – 280 с.

31. Пат. 2347222 РФ G01N 33/24, A01B 13/16 Способ прогнозирования поверхностного стока талых вод / Барабанов А. Т. (РФ), Гаршинев Е. А. (РФ), Кулик К. Н. (РФ); заявитель ВНИАЛМИ. – №2006126789; заявл. 24.07.2006; опубл. 20.02.2009, Бюл. №5. – 3 с.

32. Система адаптивно-ландшафтного земледелия Волгоградской области на период до 2015 года / А. Л. Иванов [и др.]. – Волгоград: ИПК Волгоградской ГСХА "Нива", 2009. – 304 с.

33. Система земледелия Курской области / Д. Е. Ванин [и др.]. – Курск, 1978. – 179 с.

34. Методические рекомендации по проектированию комплекса противоэрозионных мероприятий для проектов внутрихозяйственного землеустройства колхозов и совхозов Курской области, входящих в зону крупномасштабного эксперимента // Под ред. проф. Д. Е. Ванина и проф. Г. П. Сурмача. – Курск, ВНИИЗПЭ, 1978. – 179 с.

35. Агролесомелиоративное адаптивно-ландшафтное обустройство водосборов / И. С. Кочетов [и др.]. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1999. – 83 с.

36. Павловский Е. С. Устройство агролесомелиоративных насаждений. – М.: Лесная пром-ть, 1973. – 128 с.

37. Кретинин В. М. Агролесомелиорация почв. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2009. – 198 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b> .....	501
<b>1. Общие закономерности формирования эрозионно-гидрологического процесса и научное обоснование элементов адаптивно-ландшафтного обустройства водосборов</b> .....	503
1.1. Закономерности эрозионных процессов. Рельеф как фактор эрозионно-гидрологического процесса.....	503
1.2. Закономерности формирования поверхностного стока талых вод, его характеристика и расчет.....	508
1.2.1. Общая характеристика поверхностного стока талых вод с разных сельскохозяйственных угодий.....	508
1.2.2. Оценка влияния характера использования пашни на формирование стока талых вод.....	510
1.2.3. Влияние природных факторов на формирование стока.....	511
1.2.4. Закон лимитирующих факторов поверхностного стока талых вод.....	513
1.3. Концепция адаптивно-ландшафтного обустройства сельскохозяйственных земель и совершенствования системы земледелия.....	515
1.4. Принципы противоэрозионной организации землепользования	516
<b>2. Система мероприятий по управлению эрозионно-гидрологическим процессом</b> .....	519
2.1. Общая характеристика противоэрозионных приемов и их скорректирующая и противоэрозионная эффективность.....	519
2.2. Противоэрозионная организация территории водосборов и характер использования сельскохозяйственных земель.....	522
2.3. Система обработки почвы, агротехнические противоэрозионные мероприятия и почвозащитные технологии возделывания сельскохозяйственных культур.....	525
2.4. Лесомелиоративные мероприятия.....	526
2.5. Гидротехнические противоэрозионные мероприятия.....	526
2.5.1. Гидротехнические противоэрозионные мероприятия на пашне.....	526
2.5.2. Гидротехнические противоэрозионные мероприятия на оврагах.....	527
2.6. Лугомелиоративные мероприятия.....	530
2.7. Технология агролесомелиоративного адаптивно-ландшафтного обустройства территории.....	531

2.7.1. Размещение стокорегулирующих лесных полос и других рубежей.....	531
2.7.2. Расчет стока талых вод и смыва почвы.....	531
2.7.3. Расчет расстояний между стокорегулирующими лесополосами и другими рубежами.....	534
2.7.4. Назначение параметров проектируемых лесополос.....	537
<b>Заключение.....</b>	<b>540</b>
<b>Литература.....</b>	<b>542</b>

---

---

УДК/ UDC 631.4:634.93

**А. И. Петелько**, д. с.-х. н.; **Н. Е. Новиков**, к. с.-х. н.  
**ВЛИЯНИЕ ЛЕСА НА ВОДНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВ**

Статья в журнале «Научные ведомости Белгородского государственного национального исследовательского университета». Серия Естественные науки. – 2018. – Т. 42, № 3. – С. 326-331.

Научные исследования, проводимые на Новосильской зональной агролесомелиоративной опытной станции, показали, что средние влагозапасы в метровом слое почвы за вегетационный период под дубовыми насаждениями выше по сравнению с сосновыми. В большинстве случаев насаждения из дуба расходуют влаги больше и водопоглощающая способность их выше, чем в сосновых. Это наглядно видно по элементам водного баланса, которые приведены в статье.

*Ключевые слова:* насаждения из дуба и сосны, осадки за вегетационный период, суммарный расход влаги, интенсивность изреживания, запасы влаги, почва, влажность, подстилка и др.

Scientific studies conducted at the Novosilskaya Zonal Agroforestry Experimental Station showed that the average moisture reserves in the meter layer of soil for the growing season under oak stands are higher than in pine stands. In most cases, plantations from oak consume a lot of moisture and their water-absorbing capacity is higher than in pine trees. This is clearly seen from the elements of the water balance, which are given in the article.

*Key words:* plantations of oak and pine, precipitation during the vegetation period, the total consumption of moisture, the intensity of thinning, moisture reserves, soil, moisture, litter, etc.

Первые научные исследования по определению влияния насаждений на влажность почвы и грунта, занятых лесом, провел в Германии в начале второй половины XIX века Эбермаер. Пользуясь лизиметрами, помещенными под пологом леса и в поле, он пришел к ошибочному методу, что лес способствует сохранению влажности почвы.

В его опытах в лизиметрах отсутствовали растения. Впервые на эту ошибку Эбермаера указал профессор П. А. Костычев.

В России впервые изучением влияния лесной растительности на режим почвенной влаги в довольно широких масштабах занимался А. Вермишев (1882) под непосредственным руководством профессора П. А. Костычева. Но наиболее многочисленные исследования по вопросу о влиянии леса на влажность почвы и грунта произведены Г. Н. Высоцким в Велико-Анадоле. Используя опыт и известные уже в то время работы Г. Я. Близнина (1896), А. Л. Измаильского (1893), Г. Н. Высоцкий развернул гидрологические исследования по широкой программе.

Он сделал следующие выводы:

1. Поверхность почвы наиболее иссушается на черном пару, затем под целиною и меньше всего под лесом.

2. Почва наиболее иссушается под целиною, затем под лесом и меньше всего под черным паром.

3. Подпочва, или грунт, иссушается наиболее под лесом, затем под целиною и меньше всего под чёрным паром.

Эти положения в достаточно полной мере подтверждаются данными исследователей (В. П. Отоцкий, 1894; Н. П. Адамов, 1898; Г. Ф. Морозов, 1901; А. С. Скородумов, 1954; И. М. Лабунский, 1956; Ю. Л. Цельникер, 1957; С. В. Зонн, 1959; А. А. Молчанов, 1964 и др.).

Исследованиями А. А. Молчанова (1951, 1964), С. В. Зонна (1959), А. А. Роде (1955) и др. установлено, что основную часть общего расхода влаги лесными насаждениями из почвы составляет транспирационный расход, величина которого составляет от 1/3 до 1/2 годового количества осадков и зависит от целого ряда факторов: возраста, полноты, породного состава насаждений, величины листовой массы, метеорологических условий, свойств почв. Но «главным фактором, ограничивающим транспирацию, является недостаток почвенной влаги» (Л. А. Иванов, 1953 и др.).

В своих исследованиях водного режима мы ставим перед собой цель: определить влияние породного состава и степени изреживания верхнего полога насаждений на влажность почвы в начале и в конце вегетации, а также в начальный период накопления запасов влаги в почве. С этой целью нами проведено определение влажности почв бурением скважин на глубину до 3 м в трехкратной повторности (в некоторых случаях глубина скважин ограничивалась более близким залеганием твердых пород) с последующей обработкой полученного материала.

Определение влажности почвы проводилось под пологом соснового (пр. пл. 19) и дубового (пр. пл. 20) насаждений, заложенных на склоне СЗ экспозиции крутизной 15-18°. Год посадки культур 1953. Почвы намывные, тёмно-серые лесные, на лёссовидном суглинке. Поскольку наблюдения велись в одно и то же время на двух расположенных рядом участках с идентичными лесорастительными условиями, то различие во влажности почвы этих участков объясняется только различным влиянием этих пород на весенний режим почв.

Исследованиями Н. А. Молчанова (1960), Е. С. Павловского и Р. В. Нижевясовой (1968), Г. А. Харитоновой (1958) и др. установлено, что наибольшей водопоглотительной способностью отличается почва дубового насаждения. Это в значительной мере объясняется глубоким проникновением корневых систем дуба и теми изменениями физико-химических свойств, которые обусловлены поступлением в почву продуктов разложения дубовой подстилки. В то же время многие авторы, в т. ч. и названные выше, отмечают, что на глубоких дренированных почвах сосна также развивает разветвленную корневую систему.

Как показали данные наших определений, влажность почвы претерпевает существенные изменения по годам, а в пределах года – по срокам наблюдений. Общим во все годы наблюдений является наличие самой высокой влажности почвы после весеннего снеготаяния и ее последующее уменьшение в течение вегетационного периода. Изменение влажности почвы происходит по всей исследуемой толще до глубины 2-3 м (глубже залегают известняки девона), что позволяет сделать вывод о ее систематическом промачивании в весеннее время.

В начале вегетационного периода в среднем за 3 года наблюдений запасы влаги в слое 0-100 см оказались больше под дубовыми насаждениями по сравнению с сосновыми. С увеличением глубины положение начинает меняться: в слое 100-150 см запасы влаги примерно одинаковые, а в слое 150-200 см – больше под сосновыми насаждениями. На наш взгляд, уменьшение влажности почвы под сосновыми насаждениями на глубине до 1 м связано с наличием мощного слоя высоковолагодостойкой подстилки и с более поверхностным расположением корневой системы у сосны в сравнении с дубом. В течение вегетационного периода, несмотря на значительное выпадение осадков в виде дождя, влажность почвы и запасы влаги в почве уменьшаются по всей исследуемой толще.

Влияние интенсивности изреживания на водный режим почв нами изучалось на двух участках, занятых дубовым и сосновым мо-

лодняками, на секциях с разной степенью изреживания верхнего полога. Запасы влаги определялись в 2-метровой толще. Суммарный расход влаги определялся как разность между запасами влаги в начале и в конце вегетационного периода с учетом количества осадков, выпавших за вегетационный период.

Полученные данные свидетельствуют о том, что четко выраженной зависимости между интенсивностью изреживания и запасами влаги в 2-метровом слое почвы не наблюдалось. В зависимости от сложившихся условий в холодное время года и во время снеготаяния в одних случаях запасы влаги в почве в начале вегетационного периода оказываются выше на изреженных секциях, в других случаях – на контроле. Что касается запасов влаги в почве в конце вегетационного периода, то здесь наибольшее иссушение имеет место на контрольных секциях. Наглядным подтверждением являются материалы в табл. 1.

Таблица 1

**Элементы водного баланса почвы под сосновыми насаждениями за вегетационный период**

Год наблюдений	Интенсивность изреживания насаждений	Запас влаги в слое 0-2 м, мм		Осадки за вегетационный период, мм	Суммарный расход, мм
		начальное	конечное		
Первый год	Интенсивная	692	698	278	272
	Контроль	666	542	278	402
	Умеренная	642	588	278	332
Второй год	Интенсивная	615	482	205	338
	Контроль	589	399	205	395
	Умеренная	562	459	205	308
Третий год	Интенсивная	651	589	426	488
	Контроль	746	595	426	577
	Умеренная	562	486	426	501
В среднем за 3 года	Интенсивная	653	589	303	367
	Контроль	667	507	303	463
	Умеренная	589	506	303	385

Наибольший интерес представляет изменение суммарного расхода влаги за вегетационный период. В первый год после изреживания наибольший расход влаги имеет место на контрольных секциях и дубового, и соснового насаждений. С увеличением интенсивности изреживания расход влаги уменьшается. Причем это уменьшение достигает значительных величин. Под сосновыми насаждениями расход влаги на секции с интенсивным изреживанием составляет 68 %, а на

секции с умеренным изреживанием – 82 % от расходов влаги на контрольной секции; под дубовым насаждением эти величины составляют, соответственно, 64 и 80 %. На второй год после изреживания эта же зависимость в общих чертах сохраняется, но различия в суммарном расходе влаги на контрольных и изреженных секциях уже менее существенны и составляют 86 и 78 % под сосновыми насаждениями и 94 и 90 % под дубовыми. Дубовые насаждения во всех случаях израсходовали влаги больше, чем сосновые.

Для сравнения такие же наблюдения провели под дубовыми насаждениями (табл. 2).

Таблица 2

**Элементы водного баланса под дубовыми насаждениями за вегетационный период**

Год наблюдений	Интенсивность изреживания насаждений	Запасы влаги в слое 0-2 м, мм		Осадки за вегетационный период, мм	Суммарный расход, мм
		начальное	конечное		
Первый год	Интенсивная	621	629	278	270
	Контроль	626	480	278	424
	Умеренная	641	581	278	338
Второй год	Интенсивная	783	572	205	416
	Контроль	719	482	205	442
	Умеренная	694	525	205	374
Третий год	Интенсивная	674	609	426	491
	Контроль	534	576	426	384
	Умеренная	694	673	426	447
В среднем за 3 года	Интенсивная	693	603	303	393
	Контроль	627	513	303	417
	Умеренная	676	593	303	386

На третий год наблюдений под дубовыми насаждениями наименьший расход влаги отмечен на контрольной секции. После засушливого второго года произошел отпад большого количества оставших в росте деревьев, число их сократилось здесь почти в 2 раза.

При этом верхний полог остался сомкнутым. На изреженных же секциях, особенно на секции с интенсивным изреживанием, несмотря на значительное отрастание крон, полного смыкания их не произошло и через 3 года. Как следствие этого, под полог стало больше проникать солнечного света, появилась травянистая растительность.

Под сосновыми насаждениями и на третьем году после изреживания наибольший расход влаги произошел на контроле. В отличие от



дубовых насаждений, где только формируется тонкий слой подстилки, здесь уже имеется толстый слой сплошной подстилки, который не только предохраняет почву от интенсивного поверхностного испарения, но и препятствует появлению под изреженным пологом травянистой растительности. Впоследствии это испарение с поверхности почвы здесь незначительное, а расходование влаги травянистой растительностью практически отсутствует. Но через 3 года под изреженным пологом начал появляться самосев бузины красной, что в ближайшие годы приведет к увеличению расходов почвенной влаги.

Таким образом, под дубовыми насаждениями водопоглотительная способность выше.

### **Выводы**

Значительный по мощности слой подстилки под дубовыми насаждениями способен предохранять почвенный покров от интенсивного испарения. Породы дуба расходуют влаги больше по сравнению с сосновыми насаждениями. Результаты исследований показали, что влажность почвы за годы наблюдений в насаждениях самая высокая после весеннего снеготаяния и уменьшение ее происходит во время вегетации. За три года наблюдений запасы влаги в слое 0-100 см оказались больше в начале вегетационного периода под дубовыми насаждениями. Уменьшение влажности почвы под сосновыми насаждениями на глубине до 1 м объясняется наличием мощного слоя высоковлажоемкой подстилки и более близким к поверхности размещением корневой системы у сосны по сравнению с дубом. В течение вегетационного периода, когда выпадает значительное количество осадков в виде дождя, влажность почвы уменьшается по всей исследуемой толще. Четко выраженной зависимости между интенсивностью изреживания и запасами влаги в 2-метровом слое почвы не наблюдалось. В среднем за три года при разной интенсивности изреживания суммарный расход влаги под сосновыми насаждениями за вегетационный период составил 367 мм и 385 мм соответственно, на контроле – 463 мм, а под дубовыми насаждениями – 393 мм и 386 мм соответственно, а на контроле – 417 мм.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Высоцкий Г.Н. 1952. О гидрологическом и метеорологическом влиянии лесов. Гослесбумиздат, 112.
2. Здоровцов В.А., Дунаев А.В. 2017. К вопросу о состоянии старовозрастных древостоев дуба в фитоценозах лесостепных заповедных дубрав. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Естественные науки, 38 (4). Вып. 253: 68-75.
3. Зонн С.В. 1959. Почвенная влага и лесные насаждения. М., АН СССР, 198.
4. Иванов Л. А. 1953. Гидрологическое значение расхождения влаги лесом в различных зонах европейской части СССР. Докл. АН СССР, 90 (4): 673-676.
5. Ковязин В.Ф., Любимцев А.В. 2013. Оценка влияния почвенно-грунтовых условий на породный состав производных лиственных лесов. Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова, 11: 31-34.
6. Лисецкий Ф.Н. 2008. Почвообразовательный потенциал лесных насаждений при облесении песков в условиях лесостепи и степи. Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 4: 13-20.
7. Мартыненко О.В., Карминов В.Н., Щепаченко Д.Г., Онтиков П.В. 2017. Зависимость продуктивности сосновых насаждений от почвенно-грунтовых условий в Московском учебно-опытном лесничестве. Лесоведение, 6: 411-417.
8. Молчанов А.А. 1964. Научные основы ведения хозяйства в дубравах лесостепи. М., Наука, 255.
9. Молчанов А.А. 1960. Гидрологическая роль леса. М., Изд-во АН СССР, 487 с.
10. Прохоренко Н.Б., Курбанова С.Г., Глушко С.Г. 2014. Влияние лесной растительности на состояние малых рек в Татарстане. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 16 (1-3): 886-890.
11. Рожков В.А., Карпачевский Л.О. 2006. Лесной покров России и охрана почв. Почвоведение, 10: 1157-1164.
12. Роде А.А. 1955. Почвоведение. М. – Л., Гослесбумиздат, 524.
13. Скородумов А.С. 1954. Почвы Черного леса. Киев, АН Укр. ССР, 81.
14. Харитонов Г.А. 1958. Агролесомелиорация Среднерусской возвышенности. Воронеж, Обл. книж. изд.-во, 251.
15. Planinšek Š., Ferreira A., Japelj A. 2011. A Model for evaluation of the hydrological role of a forest. Šumarski list, 135 (5-6): 257-266. (in Russian).

**В. И. Панов**

**РАЗВИТИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ  
СОВРЕМЕННОГО СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭРОЗИОВЕДЕНИЯ,  
ЭВОЛЮЦИОННОГО ПРИРОДНО-ЗОНАЛЬНОГО ЭРОЗИО-  
ЛАНДШАФТОВЕДЕНИЯ И ПРИНЦИПОВ ОРГАНИЗАЦИИ  
УСТОЙЧИВОГО ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО  
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ**

*Незабвенным учителям  
А. С. Козменко и Г. П. Сурмачу  
с благодарностью посвящаю*

Работа посвящена краткому изложению основных положений предлагаемого нового направления в естествознании (в современном эрозиоведении и противоэрозионном или почвозащитном устойчивом аграрном природопользовании) – синергетическому эрозиоведению и эволюционному эрозиоландшафтоведению. Это дальнейшее развитие наших представлений о явлениях и процессах развития ландшафтной оболочки Земли с участием, главным образом, движущейся воды на равнинных территориях с рыхлым постилающим субстратом в степном засушливом поясе; это развитие новых представлений в современном эрозиоведении и аграрном природопользовании. В его методологическую основу положена синергетическая парадигма и принципы современной метанауки – синергетики – науки о самоорганизации сложных нелинейных открытых систем. В природе практически все, в том числе ландшафтосфера и ее составляющие – атмо-, гидро-, лито- и биосфера, – представлено открытыми самоорганизующимися системами. С этих позиций «эрозия» является всеобщей фундаментальной категорией природы и естествознания. Познание эрозии, рельефа, растительности, естественных ландшафтов и рукотворных искусственных ландшафтов, создаваемых человеком в процессах аграрного природопользования с позиций синергетики, открывает новые перспективные возможности при-

ближения к установлению ее сущности и успешного решения ее проблем при аграрном природопользовании в земледелии. Ландшафтно-синергетическое эрозиоведение, эволюционное эрозиоландшафтоведение и берегающее устойчивое ландшафтно-кластерное аграрное природопользование – новые приоритетные разработки российской ландшафтно-эрозионной школы В. В. Докучаева А. С. Козменко, Г. П. Сурмача, Н. И. Маккавеева, М. Н. Заславского и их последователей. Методология современного синергетического эрозиоведения и эволюционного природно-зонального эрозиоландшафтоведения базируются на синергетической парадигме и отечественных разработках процессов в S-, LS- и HS-режимах с обострением (по С. П. Курдюмову, Г. Г. Малинецкому, Е. Н. Князевой и др.).

*Ключевые слова:* открытые системы, самоорганизация, синергетика и синергетическая парадигма, катены, биогеоценозы, бифуркация, энтропия.

## **Часть 1.**

### **Основы синергетического эрозиоведения, эволюционного эрозиоландшафтоведения как новая научно-методологическая основа построения устойчивого экологического аграрного природопользования**

Все в мире находится во взаимосвязи как проявление его целостности и единства, а многообразие форм и состояний взаимодействующей материи порождает нелинейность, необратимость, неустойчивость, сложность и иерархичность возникающих структурно-функциональных образований – систем [2, 7, 8]. Единство, взаимодействие и системность порождают системную сложность, прямые и обратные положительные и отрицательные связи между составляющими элементами (подсистемами) сложных систем, иерархичность (ранжированность, разномасштабность, возникновение «системы систем») и их открытость – взаимообмен энергией, веществом, информацией с внешней средой и внутри самой системы. Отсюда, в окружающем нас мире, доминируют открытые сложные нелинейные системы. Их возникновение (рождение), жизнь – структурно-функциональное становление или развитие с процессами усложнения (организации) и упрощения (хаотизации, распада, эрозии) и, наконец, гибели (полного или частичного разрушения) как сложных систем – происходит по общим законам самоорганизации, которые были открыты и обобщены в 70-80 годах XX века в методологическую междисциплинарную метанауку – синергетику [2, 13, 14, 22, 23, 29, 51, 60].

Синергетическая парадигма (парадигма в переводе с греческого – образец, эталон, пример) – принятая научным сообществом модель научной деятельности (термин введен Т. Кун в 1958-1959 годах). Накопление научных знаний происходит скачкообразно; достигая какого-то предела (точки бифуркации) возникает неизбежная необходимость обновления или смены парадигмы. Такая необходимость возникла в конце XX столетия с рождением междисциплинарной метанауки синергетики (по Г. Хакену). В основе синергетики лежит синергетическая парадигма – метод и учение о законах рождения, жизни и гибели и дальнейших преобразованиях сложных открытых нелинейных самоорганизующихся систем [2, 7, 29, 30, 51, 60]. Глубокая мудрость сущности синергетики, кредо ее главной парадигмы кроется в кратком изречении одного из ее создателей, Лауреата Нобелевской

премии И. Р. Пригожина, данном в названии их совместной книги с И. Стенгерс – «Порядок из хаоса» (1986). Сверхкратко и глубоко.

В природе действуют законы сохранения [53], согласно которым материя в процессе взаимодействий и эволюции не исчезает, а переходит из одного состояния в другое. Значит, рождение, жизнь и гибель одних открытых сложных систем служит неизбежной основой, базисом, источником рождения новых сложных открытых и взаимодействующих систем, – более адаптированных к изменившимся условиям среды и стремящихся в своей эволюции достигнуть наиболее совершенной (для единства или парагенеза «среда – система») структуры-аттрактора (аттрактор – притягательный, привлекательный уровень, вид, самая гармоничная для данных условий среды система [7]).

Создателями синергетики являются лауреат Нобелевской премии И. Пригожин [13, 51], Г. Хакен [60], С. Курдюмов [29, 30], И. Стенгерс [51], Г. Малинецкий [32, 33], Е. Князева [21, 22], Р. Тома, В. Эбелинг [61], Н. Моисеев [34, 35], Р. Баранцев [7], Д. Трубецков, А. Баблюяц и другие. По формулировке С. П. Курдюмова и Е. Н. Князевой [21, 22], «предельно краткую характеристику синергетике как научной парадигмы, то такая характеристика включала бы всего три ключевые идеи: *самоорганизация, открытые системы, нелинейность*. Синергетика изучает механизмы самоорганизации определенного класса систем (открытые и нелинейные) самой различной природы, начиная с физики и кончая загадками человеческого Я, системой его сознания и подсознания».

С 80-годов XX века автор занимается разработкой и применением синергетической парадигмы к познанию и решению проблем гидрологии суши и ландшафтной гидрологии, процессов эрозии и лесоаграрных ландшафтов – круговорота воды в природе, составляющих элементов зональных водных балансов, развития синергетического эрозиоведения, синергетического эволюционного эрозиоландшафтоведения и почвозащитно-аграрного природопользования, эрозионно-аккумулятивных процессов, самоорганизации эрозионного равнинного рельефа суши, разрушительной антропогенной или агротехногенной эрозии почв и агроландшафтов, к разработке принципов возникновения склоновых катен и мультифрактальных водосборных бассейнов, агролесомелиорации агроценозов и агроландшафтов. Исследования и разработки осуществлялись применительно к лесостепным, степным и сухостепным зонам Поволжья и Центрально-Черноземного региона – главных житниц России, где сосредоточенно свыше 70 % основного почвенного богатства –

черноземов, которые из-за нерационального, чрезмерно техногенного эрозионно-опасного аграрного природопользования [11, 17, 24] сильно подвержены разрушительной антропогенной эрозии. За последние 100 лет черноземы потеряли до 30-40 % плодородия. Катастрофические засухи (нерациональное использование водных ресурсов) продолжают наносить большой вред сельскому хозяйству, формируют нестабильный и низкий урожай [1, 3, 17].

Причина этого – недостаточность теоретического обоснования зональной гидрологии суши, эрозио- и ландшафтоведения, безопасного агроприродопользования и земледелия. По учению В. В. Докучаева [15], все это находится в ландшафтном единстве и выделено нами в единое целостное направление с синергетической парадигмой в основе – синергетическое эрозиоведение и эволюционное природно-зональное эрозиоландшафтоведение [18, 46, 47], а также ландшафтное кластерно-синергетическое эрозионно-безопасное (почвозащитное или противоэрозионное) агроприродопользование [1, 5, 6, 11, 24, 40-42, 44] с комплексной сельскохозяйственной лесофитогидромелиорацией и защитным лесоразведением. Это теория и практика самоорганизации процессов ландшафтной гидрологии, гидроэрозионных процессов, эрозионного самоорганизованного древнего и современного рельефа, катенно-бассейновых природных зонально-локальных экогеоландшафтов и разработки стратегии кластерно-синергетического эрозионно-безопасного (сберегающего) агроприродопользования с агролесомелиорацией и оптимизированным практическим обустройством катенно-бассейновых агроэколандшафтов.

Объектом синергетического эрозиоландшафтоведения является учение о сущности самоорганизации гидрологических и эрозионно-гидрологических процессов в различных ландшафтах, рельефа и ландшафтов любой части равнинной суши ландшафтосферы (сложной самоорганизующейся системы при взаимодействии 4 сфер – атмосферы, гидросферы, литосферы и биосферы, как открытых нелинейно-неравновесных систем, где кооперативными системообразующими силами выступают силы Космоса – энергия Солнца, Луны, других космических объектов, глобальных энергий и факторов, с одной стороны, и силы земной гравитации, с другой, а главным инструментом воздействия служит вода в процессах ее глобального энергообмена (круговорота) при фазовых переходах в жидком, твердом и парообразном состояниях [2, 3, 10, 18, 19, 27, 40, 47].

Методом синергетического эрозиоландшафтоведения, позволяющим раскрыть сущность, общие и частные закономерности и особенности гидроэрозионных процессов и явлений рельефоландшафтной самоорганизации, является синергетическая парадигма и связанные с ней законы и концепции современного естествознания, физики, химии и биологии [3, 7, 9-11]. Кроме того, сюда входят законы нелинейной термодинамики, гидрологии суши, общей теории систем, фрактальной геометрии, теории катастроф, физического, математического и натурального моделирования, экологии, сбор и анализ результатов натуральных и экспериментальных наблюдений и исследований [41, 49].

Это направление позволит глубже понять, осмыслить, обосновать и эффективно использовать на практике естественные природные принципы, закономерности и специфику самоорганизации процессов ландшафтной гидрологии (элементов водного баланса и термогидродинамики переходных фазовых процессов и эрозионных разрушительных процессов) как первоосновы эрозии, фундаментальность и «всюдность» (повсеместность участия) сущности категории эрозия в целостном мире, где доминируют открытые сложные диссипативные системы, самоорганизацию элементарных и сложных эрозионно-гидрологических процессов, эволюционную самоорганизацию и структурную упорядоченность эрозионных форм рельефа и биокосных ландшафтных структур, возникающих в процессах упорядочения (самоорганизации), саморазвития, самосохранения и самозащиты с участием живой материи в виде разнообразного растительного покрова (естественных эволюционно самоорганизованных природно-зональных биогеоценозов и биогеоландшафтов, адаптированных к каждому элементу эрозионного самоорганизованного ландшафта.

Синергетическое эрозиоведение и эрозиоландшафтоведение является дальнейшим развитием Докучаевского ландшафтного принципа в географии, агроприродопользовании, земледелии, эрозиоведении, землеустройстве, в теоретическом и практическом безопасно-сберегающем ландшафтообустройстве всей сельской местности (катенно-бассейновых территориальных рельефо-геоландшафтных систем суши), у истоков которого стоят В. В. Докучаев [15], В. И. Вернадский [9], А.С. Козменко [24-26], В. Н. Сукачев, А. Г. Исаченко [18], Ф. Н. Мильков, Г. Н. Высоцкий, М. Н. Заславский [17], Г. И. Швобс, А. Н. Каштанов, Г. П. Сурмач [55-59], В. М. Дэвис [16], В. Пенк [48] и другие.

Докучаевский ландшафтный принцип включает в себя и современные ГИС-принцип, методы, структуры и технологии [1, 6, 12, 44,



50]. Помимо адаптивного почво-влагосберегающего земледелия, он включает в себя сбалансированное соотношение основных ландшафтных угодий (пашни, степи, леса, воды, поселений), оптимизированную систему агролесомелиоративных стокорегулирующих и противоэрозионных лесных насаждений и комплекс противоэрозионных и гидромелиоративных гидротехнических сооружений.

Синергетическое эрозиоведение, эволюционное эрозиоландшафтоведение и новые подходы в познании фундаментальности эрозии, эрозионного рельефа, опасности и безопасности открывают новое видение и понимание проблемы и роли воды как первоосновы самоорганизующихся диссипативных гидрологических нелинейно-неравновесных процессов энергомассопереноса с фазовыми переходами в различных зональных ландшафтах и в ландшафтосфере Земли в целом. Оно выдвигает и обосновывает фундаментальность категории «эрозия» и «эрозионные процессы» в естествознании и в жизни всех сложных открытых систем, особую роль энергии Солнца и земной гравитации как могущественных кооперативно-системообразующих сил самоорганизации всех открытых систем и процессов на Земле и в ландшафтосфере, обосновывает сущность эрозионно-аккумулятивных процессов рельефо-ландшафтоведения как процессов с обострением, неизбежность «гениального изобретения природой» живой материи как продукта эволюционного саморазвития и усложнения организации материи минеральной (косной, неживой) путем ее преобразования – созданием органических гидроуглеводородных (белковых) молекул, способных к насыщению органического живого вещества новой энерго-информационной и временной структурированной составляющей, приобретающей способность более эффективно, чем минеральное (косное) вещество, взаимодействовать с внешней средой, активно и продуктивно усваивать, преобразовывать и использовать в едином цикле вещество, энергию и информацию с их частичной диссипацией (рассеянием, выводом из системы), то есть со способностью к регулированию (саморегулированию) и управлению снижением энтропии системы, развитию ее адапционно-приспособительных реакций на изменение воздействий внешней и внутренней среды на систему, формирование у нее механизмов саморегуляции (прямых и обратных положительных и отрицательных связей и др.) и управления, механизмов сохранения накопленных ранее и приобретенных вновь изменений и информации (кодирование наследственно-

сти, развитие памяти, мозга и высшей нервной деятельности), способности к росту и развитию устойчивых структур, к размножению, выживанию (устойчивости), самообучению, самосохранению и самосовершенствованию (через онто- и филогенез – индивидуальные и родовые стадии эволюции). Появившиеся простейшие живые формы материи за миллиарды лет эволюции, саморазвития и отбора достигли высокого уровня развития, адаптивности и совершенства (аттрактивности, соответствия, гармоничности, устойчивости) и в соответствии с объективными законами сохранения и совершенства (усложнения, адаптивности и аттрактивности) они обрели современный облик микроорганизмов, растений, насекомых, животных, человека. С новых позиций синергетики рассматривается неизбежность и необходимость «очередных гениальных открытий и изобретений самоорганизующейся природы» – фотосинтез и зеленые растения, биогеоценозы – мелкотерриториальные биокосные системы (структуры), когда на небольшой территории минеральной (косной, неживой) материи – эрозионном рельефе равнинной суши – живет биосообщество (простейшие, растения, животные), надежно (на нескольких иерархических уровнях) своими биоструктурами защищающие ранее не защищенный, диспергированный и оголенный грунт (а со временем – почву) от его быстрого эрозионного разрушения и полного уничтожения (исчезновения, сноса, удаления). Таким образом, живая материя выступает как защитная мера безопасности от чрезмерно быстро разрушающейся и исчезающей в данном месте косной минеральной материи. Природа не терпит пустоты, в ней действуют законы сохранения; природа в своих проявлениях, как правило, не расточительна, а экономна (отсюда – происхождение наук экология и экономика). В ней действует, применительно к открытым синергетическим системам, в том числе и к ландшафтам, и эрозионным процессам, принцип производства минимума энтропии (принцип Пригожина – Рейнсдорфа [13, 51], а по В. А. Великанову [10, 38], – принцип минимума затрат энергии). Создав живую материю, растительность и зональные экосистемы-биогеоценозы (для больших территорий – биогеоландшафты), природа нашла эффективный метод биозащиты почв и минерального измельченного грунта от эрозионного разрушения и уничтожения, тем самым переводя ускоренные и катастрофические эрозионные процессы в слабоинтенсивный «естественный эрозионный процесс» (по определению Д. Л. Арманда [3]), когда дефицитная и высокоцен-

ная лучистая энергия из внешней среды (Солнца) с участием сил гравитации бесцельно и расточительно тратится или переводится для последующей диссипации сразу на более низкий энерго-информационный уровень – в разрушительную механическую (движущаяся вода, эрозионное разрушение и перенос смытой почвы, грунта) и тепловую работу и форму энергии с последующей ее диссипацией (ее рассеяние), минуя фазы или циклы ее перевода и продуктивного и длительного использования в виде биохимической (фотосинтез-растения), фотохимической, фотоэлектрической и других энергий. Это действительно, сверхгениальное открытие природы: она нашла эффективный метод замедлить и нормализовать ускоренные эрозионные процессы, то есть перевести их в так называемые процессы с обострением (по определению С. П. Курдюмова [29] и Г. Г. Малинецкого [33]), когда процессы периодически меняет режимы (ускоренный сменяется замедленным, замедленный – ускоренным, концентрация – диффузией, диффузия – концентрацией, конденсация – испарением, испарение – конденсацией и т. д.), характерные для открытых диссипативных систем.

Совокупности адаптированных естественных зонально-локальных биогеоценозов (БГЦ) на двух главных типах элементов древнего палеоэрозионного рельефа (древняя эрозионная сеть, по А. С. Козменко [25-26]) – склоновых катенах и мультифрактальных водосборных бассейнах – формируют естественные зонально-локальные консолидированные катенно-бассейновые экогеоландшафты (ЭГЛ) или рельефоландшафтные экогеосистемы, устойчивые в эрозионном отношении. Ничем не ограниченное, в т. ч. и незнанием, вмешательство и нарушение человеком естественных зональных ЭГЛ в процессах аграрного природопользования (выжигание лесов и степей, скотоводство, распашка, земледелие), привели к ускоренной и разрушительной антропогенной или агротехногенной эрозии; целесообразно с позиций синергетики рассмотреть антропогенную эрозию, эрозионную опасность и безопасность, найти стратегию безопасного аграрного природопользования.

В циклах самоорганизации (жизни) любых сложных открытых систем всегда участвуют процессы синтеза (организации, структурирования, усложнения) и распада (эрозии, болезни, деструкции, хаотизации). Исходя из этого, эрозия, как явление, процесс и последствие, относится к фундаментальным и повсеместно присутствующим в окружающем нас мире категориям естествознания [2, 3, 7, 10, 12, 27, 31, 42, 46, 47]. Такие системы обмениваются с внешней средой веществом, энергией,

информацией, они обладают свойством самоорганизации во времени и пространстве, саморегулирования и адаптации, получения, усвоения и трансформации энергии, ее ассимиляции (усвоения), редукции и диссипации, изменения и снижения энтропии, эволюции системы во времени (3D-мерность любой системы в процессах жизненного роста и развития обретают 4D-мерность становления открытой системы [46, 47, 50]).

Эрозия – фундаментальная категория естествознания (природы), обязательный элемент жизненного цикла любой синергетической системы (на стадии деградации – эрозии и хаоса). Любой процесс адаптации (приспособления) системы, осуществляющийся через ее упрощение или усложнение, связан с проявлением эрозионных процессов. Все это происходит в поле проявления могущественных кооперативных системообразующих сил природы на Земле – сил гравитации и космоса (Солнце, Луна и другие). Исполнительным элементом (инструментом) является движущаяся вода (поверхностный сток, атмосферные осадки, снег и лед).

Ландшафтосфера Земли является очень большой синергетической (самоорганизующейся) суперсистемой, где эрозия принимает самое разнообразное участие в процессах самоорганизации рельефа, биоландшафтов, биоценозов и в других жизненных циклах всех сложных открытых синергетических систем. Больше того – нет ни одного процесса самоорганизации открытых систем, где бы ни присутствовали явления эрозии (распад, разрушение, хаотизация [2, 7, 10, 18, 19, 27, 37, 46, 47, 51]).

Атмосферные осадки и поверхностный сток на склоновой катене можно рассматривать как перемещающуюся вдоль нелинейную автоволну. Неустойчивость рыхлого грунта приводит к явлению бифуркации; склоновая катена-поверхность, как простой рельеф-аттрактор, разрушается и получает новое направление развития и усложнения – возникает элементарный водосборный бассейн, 2-3-катенно-русловая нелинейная искривлено-вогнутая геометрическая поверхность амфитеатрового облика геоструктура эрозионного рельефа. Поскольку это продукт бифуркации, водосборные бассейны являются странными аттракторами эрозионного рельефа. В природе бассейновая самоорганизация рельефа подчиняется принципам иерархии (уровням ранжирования) и мультифрактальности (самоподобия).

Природная самоорганизация большого водосборного бассейна (класса «великая река») дает 8 (иногда 9) укрупненных иерархических

уровней водосборов-бассейнов. По классификации А. С. Козменко – Г. П. Сурмача – В. И. Панова, в возрастающем порядке, это: ложбина, лощина, лощино-суходол, суходол (балка), малая река, средняя река, большая река, великая (очень большая) река. Это продукты древней эрозии (палеоэрозионные образования), на что впервые указал А. С. Козменко в начале XX века. В повсеместно существующий древнеэрозионный рельеф вписываются современные эрозионные образования – смытые почвы (продукт плоскостной эрозии) и разнообразные по величине промоины, размывы и овраги (продукт линейной, потоковой эрозии). Эрозионная самоорганизация равнинного рельефа приведена ниже.

Эрозия как процесс хаотизации и перехода от «простого рельефа-аттрактора» в виде плоского склона-катены – рассеивающей склоновой поверхности приводит к новому концентрирующему бассейновому рельефу-аттрактору («странному или хаотическому рельефу-аттрактору»), который представляет собой отрицание (с философских позиций) неустойчивой локальной структуры, с переходом к хаосу. Хаос рождает новый порядок, появление новой рельефо-ландшафтной структуры (более устойчивые, адаптивно-аттрактивные структуры).

Законы сохранения, устойчивости, максимума использования энергии, минимума производства энтропии, законы синергетики и экологии не позволяют сложным системам быстро разрушаться. Синергетические системы обладают свойством самозащиты и самосохранения, которые совершенствуются в процессе эволюции, с участием живой материи (экосистем в настоящем и будущем – участием человека).

Фактор времени входит в эволюцию ландшафта в качестве характерного времени; 3-мерная (3D-мерная) детализация ландшафтной структуры выступает фактически в качестве 4-мерной (4D-мерной) пространственно-временной структуры (материализованное время, становление бытия материи с включением характерного времени, непрерывное изменение во времени пространственно-временной открытой структуры).

В истории эрозионной самоорганизации рельефа (и ландшафтов) можно условно выделить 3 крупных этапа: 1 – абиотический; 2 – биоландшафтный, с географически-зональными ландшафтами-аттракторами; 3 – антропогенно-природный ландшафтный, со стадиями техногенной и синергетической. Большая биомультифрактальность иерархии водосборных бассейнов обеспечивает им высокую адаптивность и устойчивость против ускоренной эрозии и вместо нее самоорганизовал-

ся естественный эрозионный процесс. Живая материя, различные биоструктуры, и, фотосинтезирующие растения и их биокосные сообщества (биогеоценозы, биогеоландшафты, экосистемы) явилась главной противодействующей силой и средством безопасности против эрозионного разрушения косной (минеральной, неорганической, косной) материи в биосфере на поверхности Земли – литосферы, во всех открытых сложных системах с минеральной материей.

Эрозионная безопасность ландшафтов определяется биосинергетическими геоэкосистемами. Они обеспечивают снижение энтропии системы, активируют жизненные циклические процессы (обмен веществом, энергией, информацией, рост неэнтропии и биоразнообразия в системе). Синергетические ландшафтные экогеосистемы становятся все более информационными системами, наукоемкими ГИС-структурами.

Синергетическое эрозиоведение и эволюционное эрозиоландшафтоведение являются теорией и практикой кластерно-синергетического эрозионно-безопасного аграрного природопользования, ландшафтно-адаптивного оптимизированного агролесомелиоративного и гидромелиоративного обустройства катенно-бассейновых кооперативных агроэколандшафтов – индивидуальных и коллективных агрохозяйств и обширных бассейновых межхозяйственных агроэкохолдингов (бассейновых агроэкополисов).

Таким образом, эрозия почв относится к числу важнейших научных и природопользовательских проблем человечества. Сложность ее проблем связана со сложностью взаимодействий воды с почвой под влиянием многих природных и антропогенных факторов. Мир сложен, разнообразен и взаимосвязан (все зависит от всего). Взаимодействие сложного со сложным порождает еще более сложное. И без понимания механизмов взаимодействия сложных систем, имеющиеся между ними проблемы решить невозможно. Появившиеся в последние десятилетия междисциплинарные науки о сложном позволяют исследовать нерешенные проблемы с новых методологических подходов и принципов. К их числу относится синергетика с ее различными направлениями, в частности исследование процессов в режимах с обострением. Первые проведенные исследования показали на возможность и перспективность их использования в качестве методологической основы при исследовании эрозии почв.

Начата разработка новой концепции современного синергетического эрозиоведения и эволюционного природно-зонального эрозиоландшафтоведения. Их методологической основой служит синергети-

ческая парадигма, современные представления современной картины мира и концепций естествознания. Единый сложный мир состоит из открытых сложных нелинейных взаимодействующих систем. Каждая система находится под воздействием системообразующих сил. Разработаны основные положения синергетического эрозиоведения и на его основе принципы эволюционного природно-зонального эрозиоландшафтоведения. Эти два направления станут обновленной научно-методологической основой разработки основ концепции организации и ведения устойчивого (противоэрозионного) ландшафтно-адаптивного аграрного природопользования с противоэрозионной агро-гидро-лесомелиорацией.

Синергетическое эрозиоведение позволило значительно расширить наши представления об эрозии, понять ее фундаментальность и «всюдность» – обязательное участие во всех сложных открытых системах и процессах.

Эрозия как явление (сущность) и процесс является инструментом самоорганизации эрозионного рельефа равнинных территорий огромного степного пояса. Разрабатываются принципы и механизмы самоорганизации фрактальной иерархии элементарных водосборов (как самоорганизованных водно-земельных геосистем разного рангового порядка).

Принципы эрозионной самоорганизации равнинного рельефа степного пояса позволили расширить наши представления об организации и пространственно-временной упорядоченности земель разных категорий и их безопасном использовании в аграрном природопользовании.

Заложены основы нового направления в синергетическом эрозиоведении – эволюционное природно-зональное эрозиоландшафтоведение (на примере степного пояса европейской части России). Оно позволит рассмотреть многие вопросы самоорганизации неустойчивого незащищенного рыхло-минерального рельефа естественным природно-зональным растительным покровом, самоорганизованными естественными биогеоценозами и более крупными водосборными биогеоландшафтами.

## **Часть 2.**

### **Эрозионно-гидрологические процессы с позиций синергетики как самоорганизующиеся процессы, протекающие в режимах с обострением**

Исследований гидрологических процессов, эрозионно-гидрологических процессов и эрозионно-аккумулятивных процессов в подходах классических общепринятых методологий (парадигм) научных направлений гидрологии и эрозиоведения проведено достаточно много, но по многим фундаментальным проблемам, явлениям и процессам имеется еще много неясного. Переход на новые методологические подходы, в частности, на синергетическую парадигму, достаточно сложен и требует осторожности в выборе правильного направления исследований, освоения новых сложных и незнакомого инструментария, приемов и методов исследования. Но новая парадигма открывает новые возможности более глубокого познания явлений и сущностей, в приближении к истине. Ознакомление с синергетической парадигмой и с разными современными направлениями в синергетике позволило подобрать, на наш взгляд, наиболее близкое на-правление к современному эрозиоведению и эволюционному природно-эволюционному эрозиоландшафтоведению. Наши многолетние наблюдения и исследования гидрологических и эрозионных явлений и процессов в природной обстановке позволили выбрать применительно к познанию их новых сущностей с позиций процессов с обострением, открытых и разработанных нашими отечественными исследователями А. А. Самарским, С. П. Курдюмовым, Г. Г. Малинецким, Е. Н. Князевой и другими [4, 8, 22, 29, 30, 32. 52]. Убедиться в правильности выбора данного направления исследований в синергетической парадигме нам поможет жизнь великой реки Волги на протяжении многих миллионов лет (рис. 1, 2).

В конце XX столетия была разработана схема единой фрактально-иерархической самоорганизации эрозионного рельефа равнинной суши.

Таблица 1 (подробно о таблицах самоорганизации равнинного эрозионного рельефа будет сообщено ниже в специальном разделе) нами доработана с новых методологических подходов открытых взаимодействующих и самоорганизующихся систем [1, 2, 26, 28, 39, 47] в виде локальных водосборных бассейнов с классификацией с выделением древних (суходольно-речных) и современных (смыв, размывы – водороины, промоины, овраги) эрозионных структур и типичных зе-





Рис. 1. Гидрографическая сеть бассейна реки Волги. «Волжское дерево» с «корневой системой» – дельтой при впадении в Каспийское море

мельно-ландшафтных форм рельефа (или земельно-эрозионных фондов и образований, по А. С. Козменко [1, 24-26, 46]). Она разрабатывалась на методологии синергетической парадигмы, законов самоорганизации открытых сложных систем и целостной картины мира под воздействием могущественных сил природы (системообразующих сил – энергии земной гравитации, Солнца и солнечной системы, энергии ландшафтосферы и других. Упрощенно суша Земли представлена горами и равнинами. Горы, сложенные из изверженных горных пород, – по происхождению первичны; равнины, сложенные из измельченных рыхлых (продукт выветривания, водной эрозии, диспергирования) седиментированных на дне лагун, озер, морей, горных пород – по происхождению вторичны; при этом они формируют плоскую равнинную поверхность (схожую с водной поверхностью мирового океана, копирующую поверхность земли, земного геоида). Под могу-

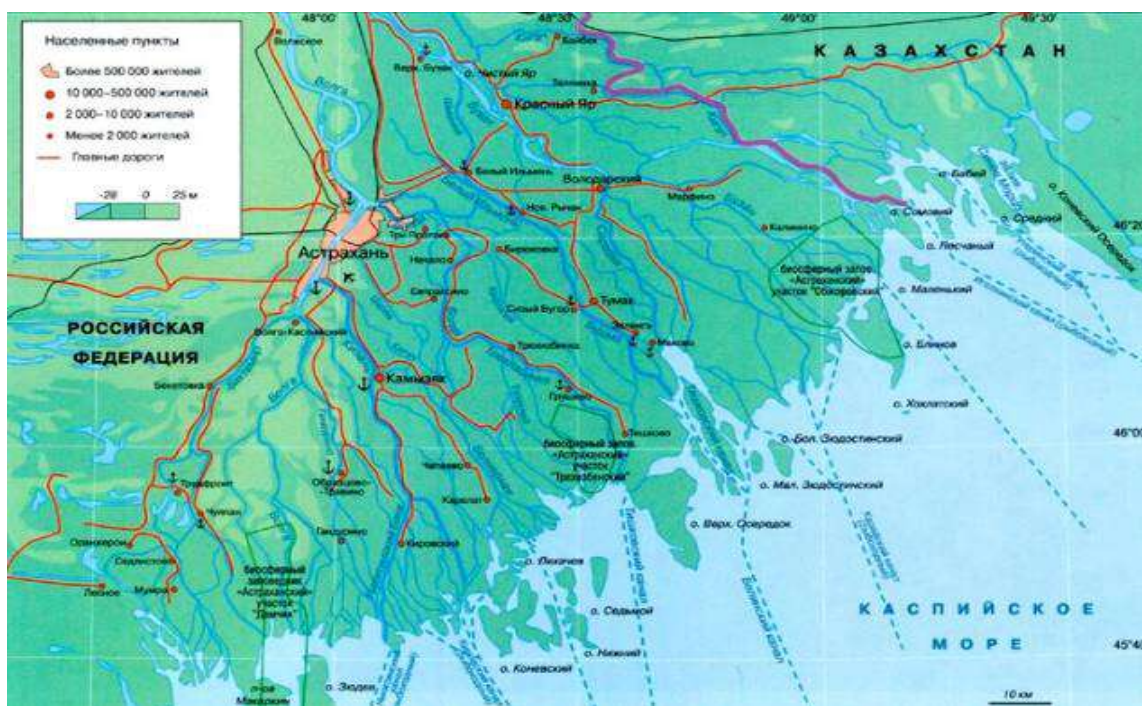


Рис. 2. Дельта Волги (крупным планом) при ее впадении в Каспийское море

чим воздействием сил земной гравитации и при переносе измельченного горного материала (литомассы) водными и воздушными потоками по земной поверхности, вся поверхность Земли была бы представлена (после полного разрушения и измельчения всех горных пород в результате выветривания) такой плоской равнинной поверхностью, подобно поверхности резинового мяча. Его можно было бы назвать абсолютным плоскоравнинным простым рельефом-аттрактором, достигшим своего предельного состояния (полного выравнивания, абсолюта). Но практически такого состояния нет: за счет сил эндогенных (внутренних, глубинно-планетарных), магматизма, вулканизма, сейсмических волн и горообразования, движения континентальных плит и других происходят локальные их поднятия и понижения, разломы и смещения, абсолютная горизонтальность равнинного рельефа нарушается, локальные участки приобретают уклон в какую-то сторону – такой огромный по площади участок равнинной территории становится прямым гиперсклоном (или гиперкатеной), например, так образовалась южная гиперкатена Восточно-Европейской или Русской равнины [1, 2, 10, 15, 26], послужившая в последующие давние времена основой для самоорганизации водосборных бассейнов трех великих и

больших рек Восточной Европы – Волги, Днепра и Дона. В качестве наглядного примера иерархической фрактальной водосборно-склоново-руслово-дельтовой самоорганизации равнинной суши степного пояса южного суперсклона Русской равнины, на рис. 1 представлен водосбор великой реки Волги. Водосборы больших и великих рек являются локальными (самостоятельными) водосборными бассейнами наивысшего иерархического уровня бассейновой самоорганизации. Он представлен в виде раскидистой кроны разной величины ветвей, рек-притоков, ствола – русла реки Волги и корней – ствола и корней гигантского дерева. Своей огромной разветвленной кроной разно-масштабных по площади водосборов и протяженности русел водотоков и рек оно охватывает гигантскую территорию южного склона Русской равнины площадью 1360000 км<sup>2</sup> (это 65 % европейской части России и 8 % всей территории страны). Водосбор распределяет и дренирует выпадающие на него атмосферные осадки, концентрирует их в виде речного стока малых, средних и крупных рек-притоков Волги, которые впадают в Волгу. Далее дренирующие весь водосбор около 100000 мелких водотоков и 2600 рек разного ранга приносят свою воду в Волгу и она протекает по ее руслу-стволу (в настоящее время – это настоящий каскад искусственных больших водохранилищ). На конечной стадии вся волжская вода с влекомыми ею твердыми наносами (гравий, песок, глина, ил, органика) поступает в свой водоприемник – в Каспийское море, образуя Волго-Ахтубинскую долину и волжскую дельту, которые за многие миллионы заняли значительную часть ложа северного Каспия, превратив его в прибрежную наносную равнинно-низменную сушу с многочисленными рукавами-протоками (см. рис. 2). На этом наглядном примере видна великая по масштабам миллионнолетняя эволюционная гидроэрозионная самоорганизация рельефа всей территории, прилегающей к Волге, ее водосбору и дельте и глобальная «рельефовыполаживающая работа» движущейся воды в трансграничном ландшафтном поясе Земли. При этом выполнена колоссальная работа по «сглаживанию» поверхности земной суши, измельчению и переносу на огромные расстояния диссипированной (измельченной и растворенной) литомассы на более низкий высотный уровень (на дно Каспийского моря). Вся эта длительная эволюция жизни Волги сопровождалась повышением энтропии этой огромной планетарной геосистемы. И это происходило, происходит и будет происходить миллионы и миллионы лет. В древние времена цикличе-

ски происходили грандиозные оледенения и ледниковые периоды, прерываемые межледниковыми потеплениями. Это сопровождалось бурным таянием вечных ледников и огромные массы воды устремлялись на юг, к внутриконтинентальной впадине, в разные времена называвшейся Акчагыльским, Хвалынским, а в настоящее время Каспийским морем. Это конечный водоприемный пункт волжской воды. Движущаяся вода производила огромную работу по размыву, переносу и переотложению измельченных горных пород и рыхлого грунта при впадении реки в море, на мелководьях северного Каспия. Если в целом рассматривать всю Волжско-Каспийскую систему, как единую самоорганизованную гидрогеосистему с позиций синергетики и доминирования эрозионно-гидрологических, гидрологических или эрозионно-аккумулятивных процессов как режимов с обострением, и условно разделить на три условные части (крона – водосбор, ствол волжского дерева – река Волга (сейчас – это каскад больших искусственных водохранилищ), корни – волжская дельта), то сложится следующее.

На каждом из них гидроэрозионные процессы (в целом территориально: крона – дерево-река – корни-дельта) имеют определенное доминирование: на водосборе в основном преобладают режимы с обострением вида LS-режима (эрозионно-гидрологические процессы); для воды в основной русловой сети (средние, крупные и большие реки с главной рекой), – в режиме с обострением вида S-режиме (с периодическими переключениями LS-режима на HS-режим и HS-режима на LS-режим); для воды в устье и дельте реки (конечного внутриконтинентального водоприемника – Каспийское море), – только в режиме с обострением вида HS-режиме (режим растекания-рассеивания пресных водных масс Волги с соленой морской водой Каспия, с оседанием-седиментацией-аккумуляцией влекомых твердых частиц и органики).

Необходимо кратко изложить суть сделанных открытий и достижений создателями направления синергетики по режимам с обострением. Обратимся непосредственно к учению о таких режимах, созданном в 70-х годах XX века творческим коллективом ученых-математиков под руководством С. П. Курдюмова, А. А. Самарского и А. Н. Тихонова при проведении исследований по нелинейной гидродинамике и процессов горения [8, 29, 30].

При проведении исследований было сделано открытие неизвестного ранее явления, Т-слоя, определяемого следующей формулой:

*«Установлено ранее неизвестное явление образования самоподдерживающегося высокотемпературного электропроводящего слоя (Т-слоя) при нестационарном движении в магнитном поле сжимаемой среды, электропроводность которой увеличивается с повышением температуры, приводящее к резкому увеличению эффективности взаимодействия среды с магнитным полем».* Непосредственно для эрозионно-гидрологических процессов самоорганизации элементарных водосборов и формирования элементов водного баланса талых вод открытие Т-слоя пока не нашло применения. Однако оно позволило обратить особое внимание на возможность возникновения *«подобных особенных слоев»* другой природы и действия в гидрологических и эрозионно-гидрологических процессах, но вызывающих новые особые эффекты в них, в частности, развиваться разным режимам с обострением разной направленности в этих нелинейных средах. И это вполне можно реально ожидать, потому что С. П. Курдюмовым было высказано очень важное предположение, *«что такие режимы могут порождаться самой средой (а не навязываться в виде условий на границе). Для этого в среде должен действовать нелинейным образом, зависящий от температуры источник тепла. В этом случае конкуренция процессов выделения (источник) и распространения (диффузия) энергии приводит к появлению новой характеристики среды: минимального размера области, на которой эти процессы «уравновешивают» друг друга. Источник тепла порождает режим с обострением, а развитие этого режима приводит к локализации тепла на определенном размере, называемом «фундаментальной длиной».*

Это обнадеживающее предположение С. П. Курдюмова послужило для нас основанием для выдвигания положения *«О самоорганизующихся в почвенной среде запирающих фильтрацию талой и ливнево-дождевой воды (в почву и грунт) блокирующе-запирающих Z-слоев разной природы».* Оно обосновано этим предположением. Режимы порождаются самой средой. Природа этих Z-слоев различна, так-как они зарождаются и самоорганизуются при совершенно разных погодных и других условиях. Гидрологические и эрозионно-гидрологические процессы на земной равнинной местности при весеннем снеготаянии порождаются и развиваются как режимы с обострением самой средой, благодаря действию в ней нелинейно действующего источника тепла (тепло солнечного излучения и адвекция тепла с циклонами, похолоданий и др.) и формированию запирающего Z-слоя на термической основе. Аналогичные процессы ливнево-дождевого характера в теплое вре-



мя года имеют иную природу, когда формирование запирающего Z-слоя происходит за счет ударно-кавитационного распыления-диспергирования почвенных частиц каплями сильных ливней. Он формируется на поверхности почвы, коренным образом уменьшая инфильтрационную диссипацию (инфильтрацию) воды вглубь почвы и переводит ливневые атмосферные осадки в разрушительный ливневый поверхностный сток. Особенно часто это происходит на поверхности разрыхленной и не имеющей растительности почвы (пары, пропашные сельхозкультуры до кущения и смыкания растительного покрова). Здесь образуется ультрадисперсный грязе-селевый жидко-вязкий и малопроницаемый для капель дождя запирающий Z-слой. Ниже его межпочвенные поры и воздушные каналы заполняются ультрамелкими частицами и илом, слой становится водонепроницаемым, сильные ливневые осадки в основном идут на формирование ливневого стока и смыва. При этом по С. П. Курдюмову (смотри выше), в среде возникает конкуренция процессов выделения атмосферных осадков (источника) и распространения (их диффузии, фильтрации) энергии, что приводит к появлению новой характеристики среды в минимальной по размерам области (экран, слой – В. П.), на которой эти процессы «уравновешивают» друг друга: источник тепла (воды) порождает режим с обострением (LS-, S- или NS-режимы), а дальнейшее развитие этого режима приводит к локализации тепла или другого объемного источника (такой термин используется в синергетике процессов в режимах с обострением в горении) на определенном размере, называемом «фундаментальной длиной» (глубина залегания Z-слоя, определяет величину фактора диссипации, фильтрации, впитывания). Наблюдая многие годы эрозионно-гидрологические процессы в природе и сопоставляя их с процессами горения в режимах с обострением, уверены, что и они относятся к этому типу гидродинамических и гидроэрозионных процессов. При этом, исходя из обнаруженной С. П. Курдюмовым особенности их зарождения и развития, гидрологические, эрозионно-гидрологические и эрозионно-аккумулятивные процессы также инициируются самой средой; в определенных условиях они могут развиваться в разных режимах с обострением (LS-, S- или NS-режим). В термодинамике процессов горения, развивающихся в режимах с обострением, условно участвуют два фактора: один – создающий неоднородности (объемный источник), другой – рассеивающий (диффузионный). Аналогично, в гидроэрозионных процессах, развивающихся в режимах с обострением (при ее движении по твердой земной поверхности), также участвуют два фактора: первый, – им выступает

движущаяся масса воды «условного объемного источника» в виде выпадающих на землю атмосферных осадков (ливнево-дождевые осадки теплого периода года и талая снеговая вода при снеготаянии снега, суммарно выпавшего за холодный период; в давние палеовремена, в ледниковые эпохи и межледниковые потепления в качестве главного источника воды выступали огромные массы талой ледниковой воды), и второй фактор – суша, поверхность почвы, рассеивающий, водопоглощающий, впитывающий, инфильтрующий.

В гидрологии суши в его качестве выступает почвенно-грунтовая инфильтрация. В формуле водного баланса на локализованном участке суши, между источником (запасом) воды («объемным источником», участвующем в процессе поступления) и впитавшейся в почву влагой («диссипативный фактор») существует связь:

$$W - I = S + E, \quad (1)$$

где  $W$  – количество воды, поступившей на участок (объемный источник);  $I$  – вода, впитавшаяся в сушу (рассеивающий фактор, диссипация);  $S$  – вода, образующая поверхностный сток, стекающая по суше;  $E$  – другие потери воды с участка (физическое испарение, сублимация).

В термодинамике процессов горения в режимах с обострением инициируются открытым исследователями (неизвестного до того времени) особым  $T$ -слоем и порождаемым им явлением локализации тепла на определенном размере, называемом «фундаментальной длиной». Они и формируют особые свойства в зоне горения. В эрозионно-гидрологических процессах, протекающих в режимах с обострением, по нашему убеждению, аналогичную роль выполняет также некий особый слой, условно назовем его  $Z$ -слоем (создающий особые свойства условий инфильтрации внутри почвенного профиля, «запирающий инфильтрацию слой»), с участием и других факторов. Это и есть запирающий  $Z$ -слой. Чтобы выйти на него, давайте более подробнее рассмотрим уравнения водного баланса как одновременно условные общие модели гидрологического и эрозионно-гидрологического процессов.

Для каждого отдельно взятого гидрологического процесса выпадения жидких атмосферных осадков (дождя, ливня) и времени таяния снега (снеговая талая вода) на обособленный участок суши в разном ландшафтном состоянии, степень их использования (освоения) или складывающегося гидрологического режима, соотношения элементов водного баланса, степени развития режимов обострения всех участвующих процессов формирования определяется по формуле

водного баланса для теплого времени года (дождей и ливней):

$$W = I + S + P + E + T, \quad (2)$$

где  $W$  – атмосферные осадки в виде дождей и ливней (жидкие);  $I$  – впитавшаяся в почву и грунт вода (инфильтрация);  $S$  – вода поверхностного стока (не впитавшаяся в почву);  $P$  – вода задержанная на поверхности (пруды, водохранилища);  $E$  – физически испарившаяся вода;  $T$  – вода, транспирированная растительностью.

Для холодного (зимнего) времени года:

$$Wz + dW = I + S + P + E + (Sb + Co), \quad (3)$$

где  $Wz + dW$  – атмосферные осадки за зиму и период снеготаяния;  $Sb + Co$  – снег, сублимировавшийся за зиму при ветрах и метелях и часть сохранившегося перенесенного и переотложенного у преград снега;  $I$  – талая снеговая вода, впитавшаяся в почву (инфильтрация); сюда входит вода, увлажнившая корнеобитаемый слой и проникшая в зону аэрации на ее увлажнение и на пополнение верхнего горизонта грунтовых вод;  $S$  – талый поверхностный сток;  $P$  – талая снеговая вода, задержанная поверхностно (прудки, пруды, блюдцеобразные понижения рельефа, водохранилища);  $E$  – физически испарившаяся снеговая вода.

Оба уравнения водного баланса для теплого и холодного зимних периодов суммарно полностью охватывают годовой гидрологический цикл и специфику эрозионно-гидрологических процессов в режимах с обострением.

Оба уравнения водного баланса наглядно демонстрируют своими составляющими компонентами, что гидрологические процессы, а заодно и развивающиеся с их участием эрозионно-гидрологические процессы (при взаимодействии движущейся воды по суше), есть процессы, протекающие в режимах с обострением разной степени. Анализируя уравнения водного баланса, мы видим, что в их главных элементах заложены возможности большой нелинейной количественной и качественной изменчивости при непредсказуемой изменчивости факторов внешней и внутренней среды ландшафтосферы, всех системообразующих сил на планете. Здесь очень велика роль изменчивости (количества и качества) поступающей извне движущейся воды факторов, создающих неоднородности в среде, «объемных источников» (дожди, ливни, снегопады, метели, их величина и интенсивность, величина и интенсивность талого поверхностного стока, режимы снеготаяния и др.). Не меньшую роль играют рассеивающие диссипативные факторы твердой земной поверхности (почвенный покров, литооснова, грунты, их инфильтрация, противоэрозионная стойкость, заплываемость разрыхлен-



ность, распыленность, наличие растительного покрова, увлажненность, глубина и степень цементации мерзлых почв и др.).

Наши многолетние исследования элементов водного баланса в различных естественных и аграрных биогеоценозах и ландшафтах позволяют сделать заключение, что гидрологические и эрозионно-гидрологические процессы в них развиваются как процессы в режимах с обострением и к ним приемлемы разработки, полученные создателями этого направления по вопросам горения. Использование их открывают новые возможности познания этих явлений и процессов с иных методологических позиций, дают новые знания об их сущности, углубляют представления о них, позволяют расширять аппарат приемов и методов решения нерешенных проблем, получить новые знания о сущности явлений.

Продолжим знакомиться с режимами с обострением, разработанными для процессов горения. С. П. Курдюмов для этих целей предложил всего одно квазилинейное уравнение теплопроводности с нелинейным источником. По мнению Л. М. Берковича [8], *«оно оказалось очень удачной основой для построения математической нелинейной модели для исследования режимов с обострением и пространственной локализации в открытой диссипативной системе»*.

*С. П. Курдюмов первым обратил внимание на необычайное поведение процессов диффузии при развитии режимов с обострением: если температура на границе среды с коэффициентом теплопроводности, растущим с температурой, увеличилась, стремясь к бесконечности при приближении к конечному моменту времени, то имело место отсутствие распространения тепла в глубь среды в течение всего промежутка времени до указанного момента» (из воспоминаний Н. В. Змитренко).*

Возможны три режима горения:

1. NS-режим, когда область горения возрастает с ростом температуры;
2. S-режим, когда область горения не меняется со временем;
3. LS-режим (рис. 3), когда полуширина области горения сокращается.

При NS-режиме с обострением температурная волна за конечное время прогревает всю среду до бесконечной температуры. Локализация отсутствует, и с ростом температуры диффузия тепла происходит более интенсивно, чем нагрев среды.

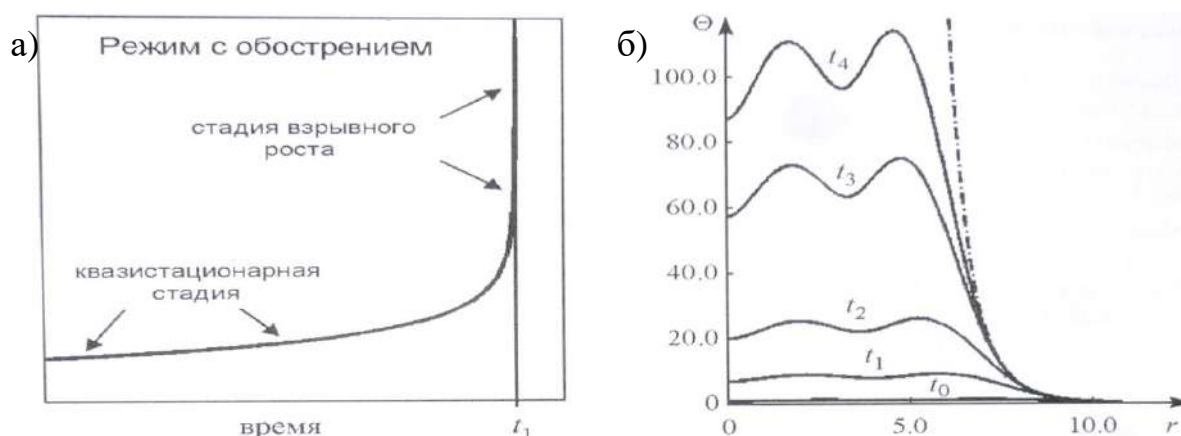


Рис. 3. Динамика процесса в режиме с обострением (по Е. С. Куркиной и Е. Н. Князевой): а) прохождение стадий роста в режиме обострения; б) ход обострения режима во времени

При S-режиме благодаря взаимодействию нелинейного источника и нелинейного коэффициента теплопроводности бесконечное значение температуры достигается за конечное время (время обострения) на конечной длине (фундаментальная длина), несмотря на наличие неограниченно растущего коэффициента теплопроводности. При этом фундаментальная длина определяется лишь параметрами, входящими в уравнение.

При LS-режиме полуширина области интенсивного нагрева за конечное время стремится к нулю. Здесь приходится иметь дело со своеобразным «нелинейным гармоническим анализом», когда анализу подвергаются так называемые собственные функции нелинейной среды, то есть частные решения соответствующих нелинейных задач.

*Режимы с обострением и их реализация.* Рассмотрим возможность их применения для эрозионно-гидрологических процессов в природной обстановке. Гидроэрозионные процессы с обострением на поверхности суши реализуются в трех режимах: в S-режиме, в LS-режиме и в NS-режиме, резко различающихся по своей сущности. Рассмотрим это на примере самоорганизации эрозионного рельефа. В пределах первоосновы эрозионного рельефа – склоновой катены, в ее высотнo-топографическом плане выделяются (по классификации А. С. Козменко – Г. П. Сурмача – В. И. Панова) основные упорядоченные в пространстве и изменяющиеся во времени элементы или земельно-эрозионные зоны: приводораздельная, склоновая (с возможным выделением нескольких ярусов), присетевая, крутосклонно-гидрографическая (близ местного базиса эрозии, водоприемника).

*LS-режим.* В нашем представлении, если на плоской земной поверхности (равнинной местности) действует фактор, создающий неоднородности в среде (ливни, затяжные дожди, талый поверхностный сток) и он работает сильнее, чем рассеивающий диссипативный фактор (мульча, растительность, рыхлость сложения почвенных частиц, прием обработки земли, инфильтрация), то возникают локализованные процессы и волны (стока, эрозии, хаоса), сходящиеся внутри области локализации; процесс активизируется, интенсифицируется в сужающейся области – вблизи максимума (в середине). Это и есть LS-режим с обострением, сопровождающийся концентрацией стока в средней части горизонтальной плоской поверхности земли, образовавшейся ранее как плоскость выравнивания земного рельефа, на дне бывшего моря, за счет седиментации, оседания здесь миллионами лет принесенного водой и ветром песка и пыли. Такое повышенное поступление движущейся воды в виде множества мелких ручейков, постепенно сливающихся в более крупные и на определенной стадии, образующие один поток. Этот поток, обладающий большой энергией, начинает приводить здесь к усиленному сначала смыву почвогрунта, а постепенно и к образованию линейного размыва-русла. Многократно повторяющиеся процессы прохождения поверхностного стока в местах его концентрации при этом десинхронизируются, появляются зоны активной неустойчивости, проявляющиеся вблизи момента обострения. В этот момент система «русло – поток» становится очень неустойчивой и чувствительной к малым возмущениям, и она начинает разрушаться, эрозионный процесс расширяться и углубляться. Происходит перерождение 2D-мерной горизонтальной плоской геосистемы через «созидающий» хаос, бифуркацию, плоскостную эрозию в другую, более сложную систему – сначала в покатуую плоскость-катену, далее она самоорганизуется в 3D-мерный элементарный водосборный бассейн с осевой симметрией двух берегов-катен и русловым потоком в середине. Это рождение новой геометрии эрозионного рельефа как странного аттрактора – 3D-мерного водосборного бассейна. Дальнейшая его жизнь – становление, самоорганизация водосборного бассейна будет происходить эволюционно во времени как 4D-мерная пространственно-временная экогеосистема. Первоначальная плоская земная поверхность начала самоорганизовываться движущейся водой в элементарный водосбор с образованием центрального осевого дренирующего водотока (ось симметрии) и бифуркацией

(раздвоением) ранее единой плоскости на две симметричные части – левый и правый берег-склон-катена.

Таким образом, синергетическое направление самоорганизации эрозионно-гидрологических процессов в режимах с обострением позволило впервые в эрозиоведении рассмотреть самоорганизацию элементарного водосбора (ЭВ) с позиций процессов, развивающихся в режимах с обострением, в данном случае, в LS-режиме. Он объясняет закономерность его самоорганизации на плоской горизонтальной равнине (плоскость планетарного выравнивания рельефа суши) в LS-режиме через разные стадии: левая часть рис. 3, где показаны начальные замедленные квазистационарные стадии LS-режима с дальнейшим асимптотическим взрывоподобным ростом. Произойдет переход горизонтальной поверхности в пологий прямой склон-катену) и далее образование 3D-4D-мерных элементарных водосборов с явлением осевой симметрии (центральный русло-поток) и симметричных двух склонов-берегов (бифуркация на две части полого-наклонного целостного склона-катены). Вопросу формирования элементарных водосборов (рис. 4) посвящены исследования А. С. Козменко [25-26], Г. П. Сурмача [57-59], А. Д. Арманда [2], Е. А. Гаршинева [11-12], Р. Хортона и других исследователей.

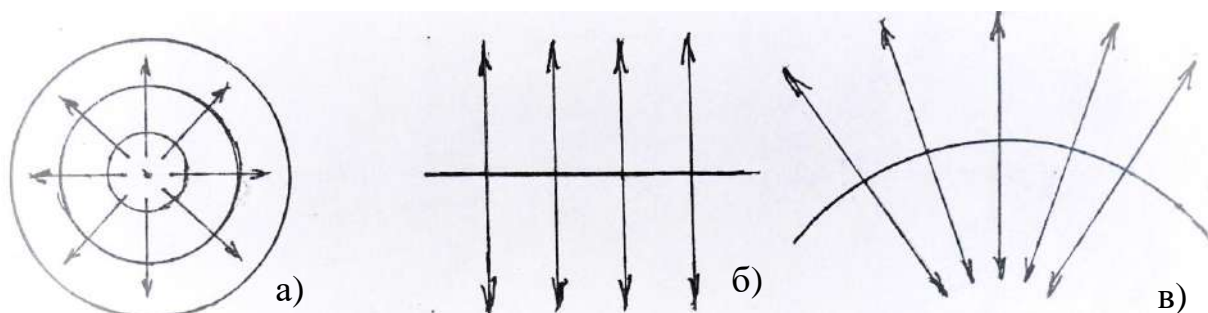


Рис. 4. Водоразделы: а) точечный (горы, вулканы, сопки, плоскогорья, холмы, курганы); б) прямолинейный (распространены в равнинных регионах с древними осадочными процессами седиментационного выравнивания земной поверхности; в) криволинейный (в районах проявления эндогенных рельефообразовательных сил. Вид водораздела влияет на процесс самоорганизации элементарного водосбора

*S-режим.* Режим «горения», развитие процесса с обострением, когда на асимптотической стадии процесс локализуется и развивается внутри некоторой фундаментальной длины  $L$ . Название *S*-режим введе-

но по первым буквам фамилий авторов работы, где впервые была изучена устойчивость остановившейся тепловой волны в краевой задаче для уравнения нелинейной теплопроводности. Английское «S» в названии удачно согласуется с термином «standing wave» – стоячая волна.

Применительно к эрозионно-гидрологическим процессам данный режим обострения, в сравнении с LS-режимом, выглядит значительно менее интенсивным, как бы уравновешенным, сбалансированным, псевдостационарным. В этом режиме факторы, создающие неоднородности, на асимптотической стадии процесс локализуется и развивается некоторой фундаментальной длины  $L$ . Фактор, создающий неоднородности, как бы уравновешивается с диссипативным (впитывающим, инфильтрацией), волны локализации не образуются, эрозионные процессы ослабевают.

*HS-режим.* Вот как его характеризует С. П. Курдюмов применительно процессов горения: «Один из типов развертывания процессов в открытой нелинейной среде, когда отсутствует локализация, происходит размывание структур. Это режим неограниченно разбегающейся от центра волны. Данный режим имеет место в том случае, если диссипативный, размывающий фактор интенсивнее, чем фактор локализации, работа нелинейного источника энергии.  $H$  в названии этого режима означает «higher», выше, чем  $S$ -режим, то есть процессы в нем развиваются быстрее, чем в  $S$ -режиме». В этих режимах развития процессов в средах все малые флуктуации замыкаются, стираются, не могут прорваться на макроуровень. Лишь когда работа нелинейного источника намного превышает рассеивающий фактор, имеет место локализация: микрофлуктуации обретают макроскопическую жизнь (это так называемый *LS-режим*).

В HS-режиме процесс с обострением как бы замедляется, гасится, ослабляется, существенно снижается интенсивность эрозионной работы источников. Этим режимом можно существенно «продлить жизнь» данной открытой системы с момента ее рождения и до момента обострения (бифуркации). LS- и HS-режимы в эволюции эрозионного развития инвариантного участка равнинной суши могут действовать как совместно, так и периодически сменяя друг друга. Для реализации HS-режима природа за длительную эволюцию сделала много замечательных открытий и изобретений, таких как выветривание, денудация, растрескивание слитых грунтов, обеспечение высокой инфильтрации в рыхлых грунтах, грунтовый сток и родники, дре-

нирующие территорию речные русла, органические молекулы, фотосинтез растения и растительные экосистемы (биокосные экогеоценозы и экогеоландшафты). С активным выходом человека с его природользовательской деятельностью, многие процессы рельефо- и естественного ландшафтообразования изменились, нарушился их ражим, усилились процессы эрозионного разрушения земли. Графическая интерпретация процессов горения в разных режимах с обострением представлена на рис. 5-7.

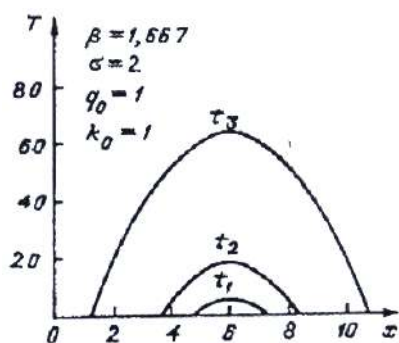


Рис. 5. HS-режим

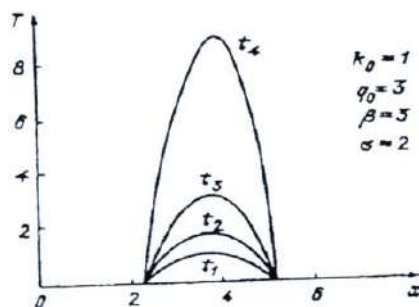


Рис. 6. S-режим

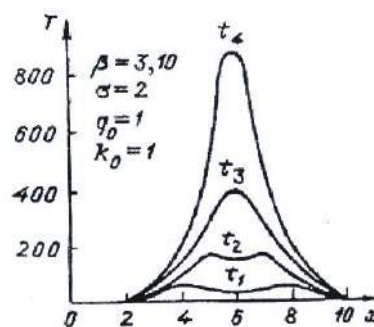


Рис. 7. LS-режим

В нашем представлении [43], любой локализованный (естественно ограниченный) участок равнинной суши в земной ландшафтосфере (катена, водосборный бассейн, русла суходолов и речных систем) есть открытая нелинейная 3D-4D-мерная экогеосистема (4D-мерная – при ее рассмотрении в развитии и эволюции во времени, находящаяся в непрерывном становлении, живущая во времени, в 4-м измерении, – В. П.). Она имеет определенный эрозионный рельеф, эволюционно развивающийся в соответствии с естественными законами эрозионной самоорганизации, условиями внешней среды и возникшего на нем биокосного ландшафта – целостного сообщества живой и минеральной (косной, неживой) материи. При этом она стремится к достижению наиболее совершенного облика активного и динамически устойчивого биоландшафта-аттрактора – гомеостатической системы с оперативной адаптацией к изменяющимся условиям среды и самой системы, эффективным управлением всеми жизненно-важными процессами функционирования всех подсистем и системы в целом. Она стремится также реализовать свой внутренний биоэкологический потенциал: продуктивно использовать все имеющихся и активно взаимодействующие с ней ресурсы среды в виде вещества, энергии, информации для обеспечения более дли-

тельного времени собственной жизни (устойчивости), роста собственного совершенства (высокая степень интеллекта и информатизации для живых систем) при минимализации энтропии.

Главной целью настоящей работы является попытка раскрытия явления эрозии с позиций функционирования сложных открытых самоорганизующихся геосистем суши в процессах активного взаимодействия воды с твердым грунтом при эрозионно-гидрологических и эрозионно-аккумулятивных процессах. Это позволит нам увидеть само явление «эрозия», эрозионно-гидрологические и эрозионно-аккумулятивные процессы с иных методологических позиций и принципов, в развитии и становлении открытых самоорганизующихся и самоусложняющихся эволюционирующих геосистем. Предварительное знакомство с разными направлениями развивающейся синергетики для решения научно-производственных эрозионно-гидрологических целей и проблем показало, что наиболее перспективным, на наш взгляд, является отечественное направление, разрабатываемое в Институте прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН, известное как «Режимы с обострением» (А. А. Самарский, В. А. Галактионов, С. П. Курдюмов, А. П. Михайлов, С. П. Капица, Г. Г. Малинецкий, Е. Н. Князева, В. И. Аршинов, В. А. Белавин, и др.). Это крупное фундаментальное научное открытие междисциплинарного порядка, физико-математическая теория и сущность которого разрабатывалась для нелинейных процессов горения и взрывов. Коллектив исследователей тогда, при проведении исследований процессов горения (в разных режимах с обострением), сделал открытие так называемого Т-слоя (температурного слоя), которое находит применение в нелинейной динамике и синергетике [8, 30]. По мнению Л. М. Берковича [8], «с математической точки зрения речь пойдет о неограниченных решениях нелинейных уравнений параболического типа, описывающих так называемые процессы с обострением в трех различных режимах горения. «Душой» коллектива ученых как осуществивших данное открытие, так и применивших его к различным областям науки, являлся С. П. Курдюмов (см. сб. «Режимы с обострением. Эволюция идеи». М.: Наука, 1999)» (конец цитаты). С. П. Курдюмов высказал предположение, что «режимы с обострением могут порождаться самой средой (а не навязываться в виде условий на границе). Для этого в среде должен действовать нелинейным образом, зависящий от температуры источник тепла. В этом случае конкуренция процессов выделения

(источник) и распространения (диффузия) энергии приводит к появлению новой характеристики среды: минимального размера области, на котором эти процессы «уравновешивают» друг друга. Источник тепла порождает режим с обострением, а развитие этого режима приводит к локализации тепла на определенном размере, названном «фундаментальной длиной» (конец цитаты). Разберемся с этим исключительно важным предложением.

При изучении термодинамических процессов горения, протекающих в режимах с обострением, их феноменология во многом определяется открытыми исследователями ранее неизвестного T-слоем. Поскольку процессы нелинейные и во многом схожие, можно предположить, что и в эрозионно-гидрологических процессах имеет место нечто схожее с ним.

Многие исследователи гидрологических и эрозионных процессов, связанных с талым стоком и ливневыми дождями, обратили внимание на своеобразие изменений инфильтрационных свойств почв, их большое различие, отражающееся на формировании как весеннего талого стока, так и ливнево-дождевого. Несомненно, в разные по погодным условиям годы в почвах за осенне-зимний период, к очередному периоду весеннего снеготаяния формируются специфические инфильтрационные режимы, определяемые главными факторами, по формулировке А. Т. Барабанова, законом лимитирующих факторов поверхностного стока талых вод. Согласно ему, весенняя инфильтрация, водопоглощение и величина поверхностного стока определяются сочетанием глубины промерзания, влажностью верхнего слоя почвы и влагозапасом в снежном покрове. Суть закона заключается в том, что при некотором минимальном значении одного из трех лимитирующих факторов поверхностный сток не формируется независимо от других факторов [5]. Многолетняя проверка, сделанных по нему долгосрочных прогнозов, показала высокую их оправдываемость. Исходя из него, в годы, когда все три фактора срабатывают (находятся в максимуме), в поверхностном почвенном слое формируется, на наш взгляд с позиций синергетики процессов с обострением, LS-режим. Согласно ему, объемный источник или фактор, создающий неоднородности (большие снегозапасы, ливни, обильные продолжительные дожди) работают сильнее (значительно превышают), чем диссипативный, рассеивающий фактор (инфильтрация, водопоглощение) на поверхности почвы формируется поверхностный сток, вызывающий активизацию эрозионно-гидрологических процессов



Эти термические процессы в режимах с обострением, протекающие при горении и взрывах, по своей сущности, очень схожи с реально наблюдающимися повсеместно и постоянно в естественной природной среде и при аграрной природопользовательской деятельности человека (выращивание сельхозпродукции, полив, орошение, мелиорации). Наблюдения показывают, что чисто гидрологические, эрозионно-гидрологические и эрозионно-аккумуляционные процессы в гидрологии суши и в современном эрозиоведении, также развиваются (самоорганизуются) в режимах с обострением, при взаимодействии движущейся воды с твердой литоосновой – почвой, минеральным дисперсным грунтом, горной породой, почвой с растительным покровом. Это постоянно происходит во время снеготаяния, при дождях и ливнях, в руслах ручьев, потоков и рек. Теория этих процессов самоорганизующихся в режимах с обострением находится в стадии разработки [47]. Это всем известные процессы формирования гидрологического режима и водного баланса каждого конкретного обособленного (локализованного) участка суши (почвы, склона-катены, водосбора, биогеоценоза, биогеоландшафта, речной системы, агроценоза, агроландшафта). Все участвующие в процессах взаимодействия гидро- и литосферы элементы, являются сложными нелинейными открытыми системами, организованы и находятся под могучим влиянием космическо-земных системообразующих сил, обмениваются веществом, энергией, информацией с системами высшего и нижнего иерархического уровня, то есть соответствуют самоорганизующимся (синергетическим) системам.

Таким образом, гидрологические процессы), эрозионно-гидрологические процессы и эрозионно-аккумулятивные процессы целесообразно исследовать с позиций и принципов синергетического направления процессов в режимах с обострением. В нем заложены большие возможности выявить новые закономерности и особенности моделирования и осуществления численного моделирования и расчета сложных процессов развития и хода процессов инфильтрации талой снеговой воды в мерзлую и талую почву при самых разнообразных сочетаниях природных и антропогенных факторов.

На данном этапе использование методов режимов с обострением позволило выявить закономерности и особенности формирования (самоорганизации) элементарных водосборов на равнинной местности при разных видах водоразделов (точечный, прямолинейный, нелинейный), что представлено на рис. 4.

Используя принципы развития и хода процессов в режимах с обострением нами установлено, что и гидрологические процессы, эрозионно-гидрологические процессы и эрозионно-аккумулятивные процессы протекают как режимы с обострением.

В соответствии с заложенными в режимах с обострением закономерностей развития нелинейных систем и процессов, в эрозионно-гидрологических процессах, протекающих весной в период весеннего снеготаяния, и летом при сильных ливнях, нами выявлено формирование особых запирающих Z-слоев, препятствующих ходу инфильтрации талых и ливневых вод вглубь почвенного слоя. Эти слои имеют разную природу: в период весеннего снеготаяния – гидротермический, ледяной; при сильных ливнях – грязево-мулевый с ультрадиспергированными частицами почвы при ударно-кавитационном разрушении почвенных частиц каплями ливня.

**Часть 3.**  
**Фрактально-бассейновая типизация**  
**и пространственно-высотная упорядоченность**  
**самоорганизованного эрозионного рельефа равнинной суши**  
**(по классификации А. С. Козменко – Г. П. Сурмача – В. И. Панова)**

Наша планета Земля – удивительное и уникальное создание Природы. Она имеет шарообразную форму геоида, обладающего могучей силой гравитационного притяжения, сформировавшей (самоорганизацией) и удерживающей в зоне своего тяготения огромную массу вещества из разных химических элементов и в различном фазовом состоянии (твердом, жидком, газообразном, плазменном, в форме живой материи). Все они самоорганизованы в фазовые сферы (атмо-, гидро-, лито- и био-); являясь сложными открытыми системами, находятся во взаимодействии, развитии и эволюции. В поверхностной оболочке Земли, находясь в соприкосновении, взаимовлиянии и взаимодействии, они образуют общую ландшафтную сферу. Твердожидкостная (по фазовому состоянию вещества) оболочка планеты на 3/4 площади поверхности планеты представлена водой (океанами, морями, озерами, водохранилищами, реками, вечными льдами в твердом особом фазовом состоянии), тучами и облаками в атмосфере в парообразном фазовом состоянии) и на 1/4 твердой суши, литосферой из 6 континентов и островных геосистем (горы и горные системы из скальных пород, предгорья, равнины из переотложенных выветренных диспергированных горных пород, вечные льды). Ландшафтосфера находится в зоне противодействующих могущественных системообразующих сил солнечного тяготения и сил земной гравитации, которые совместно формируют экзогенные (внешние) и эндогенные (внутренние) силы земного рельефообразования. Эндогенные силы в большой степени вызывают внутриземные процессы вулканизма, перемещения тектонических и континентальных плит, землетрясения, цунами; экзогенные внешние силы – нагрев и охлаждение атмосферы, океанов и суши континентов, изменение погоды и климата, глобальные атмосферные и океанические холодные и теплые течения, глобальный и локальные круговороты воды в природе с ее фазовыми переходами (пар – жидкость – лед). При этом происходят процессы выветривания, диспергирования, переноса и переотложения измельченных горных пород преимущественно в углубленных понижениях рельефа планеты (дно морей, океанов, рав-

нинных внутренних водоприемников): земное тяготение стремится сделать земную поверхность абсолютно гладкой, выровненной, одно-высотной (как у резинового мяча), с максимальной энтропией (для «идеального, абсолютно выровненного в виде горизонтальной плоскости»). Но в реальности такие плоские земные поверхности формируются и встречаются исключительно редко (днища некоторых высохших соляных озер). Могучие эндогенные силы Земли перемещают, поднимают или опускают тектонические континентальные плиты, вызывают горообразование, землетрясения, вулканизм. Такое противостояние эндогенных и экзогенных сил Земли, горообразования и их разрушения выветриванием, водной и ветровой эрозией и процессами сглаживания-выравнивания (седиментации измельченных горных пород) происходил, происходит и будет происходить всегда. Особенно великая роль эрозии проявляется в самоорганизации эрозионного рельефа и ландшафтов. Практически вся поверхность Земли и весь рельеф на Земле связан с эрозионными процессами. Подвижная вода служит инструментом эрозионного среза земли (горных пород, почвы, грунта) и разрушения неустойчивых ландшафтов. Вода совершает в ландшафте и в целом в ландшафтосфере непрерывные циклы движения, энерго-массопереноса (циркуляции вещества, круговорот воды в природе) с фазовыми переходами (жидкое, твердое, паро- и газообразное состояние, движение типа конвективных ячеек Бенара). Основными продуктами самоорганизации эрозионных процессов на поверхности суши Земли служат главные формы эрозионного рельефа – склоновая поверхность-катена (склоновая кривая как линия, образующаяся при расчленении склоновой поверхности плоскостью сечения) как простой рельеф-аттрактор и фрактально-разветвленная иерархия разнообразных водосборных бассейнов – производных гидроэрозионных процессов в режимах с обострением (по А. А. Самарскому [52], С. П. Курдюмову [29, 30], Г. Г. Малинецкому [32, 33] и Е. Н. Князевой [21, 22-24]). Чем привлекли наше внимание в синергетическом подходе к гидрологии суши, эрозиоведению, эволюционному природно-зональному эрозио-ландшафтоведению и разработке устойчивого (сберегающего) ландшафтно-адаптивного аграрного природопользования самоорганизующиеся процессы с обострением? Занимаясь многие десятилетия исследованием эрозионно-гидрологических процессов в природной среде, наши старшие учителя и наставники-естествоиспытатели В. В. Докучаев, В. И. Вернадский, А. С. Козменко, Г. П. Сурмач, Н. И. Маккаве-

ев, Г. Н. Высоцкий были крупнейшими естествоиспытателями, природоведами и ландшафтоведами своего времени. В то время еще не было учений о самоорганизации в природе, но тесно и много общаясь с ней, они стояли на принципах диалектики развития мира и природы, целостности и эволюционного усложнения ее развития, формирования естественным путем самой природой (обусловленных комплексом географических природно-зональных условий) сбалансированных ландшафтных систем. Ландшафтный принцип естественных природных пейзажных систем (угодий – леса, степи, луга, реки, болота и др.) и их совместное рациональное использование при сельскохозяйственном использовании развивал В. В. Докучаев [15]. Эволюционное совместное развитие фазовых геосфер развил в своих исследованиях его выдающийся ученик и последователь В. И. Вернадский [9], создавший учение о биосфере и ноосфере. Самобытное направление эрозиоведения, о древнем гидроэрозионном развитии рельефа и о бассейновом противоэрозионном агролесогидромелиоративном ландшафтном комплексе и принципе аграрного природопользования разработали А. С. Козменко [24-26], Н. И. Маккавеев [31], Г. Н. Высоцкий, Г. П. Сурмач [55-59] и их последователи. Они учили и призывали своих последователей больше общаться с природой, быть наблюдательными и обращать внимание на все, что способствует ее сохранению, рациональному использованию и сбережению. Изучая многие годы гидрологические, эрозионно-гидрологические и эрозионно-аккумуляционные процессы в природной обстановке на разных ландшафтах равнинного эрозионного рельефа, мы заметили, что синергетический принцип ее изучения и самоорганизации наиболее применим в виде процессов с обострением [29, 30]. То, как происходит горение есть большая схожесть и при развитии эрозионно-гидрологического и эрозионно-аккумулятивного процессов. Этими мыслями мы руководствовались при разработке как общей схемы палеоэрозионной эволюционной самоорганизации рельефа равнинной суши [43], единой целостной иерархии древних катенно-бассейновых суходольно-речных водосборных бассейнов с дренирующей их линейно-руслевой гидрографической сетью и современными эрозионными формами (табл. 1), так и при создании развернутой и детализированной структурно-пространственной типизации элементов самоорганизованного эрозионного рельефа – катен-склонов и водосборных бассейнов, по классификации А. С. Козменко – Г. П. Сурмача – В. И. Панова [43] (табл. 2).

Таблица 1

**Общая схема палеоэрозионной эволюционной самоорганизации рельефа равнинной суши, древних катенно-бассейновых сухоходльно-речных водосборных бассейнов с дренирующей гидрографической сетью и с современными эрозионными образованиям**

<p>Сомоорганизация обширной равнинной территории суши происходит эволюционно во времени и пространстве (в форме режимо-обострения, по С. П. Курдюмову), как 4D-мерные объекты под воздействием могущественных системообразующих сил земной гравитации и движущейся воды (удары капель, текущие турбулентные потоки) и других факторов экзогенно-эндогенного рельефообразования, эрозионно-гидрологических процессов, перемещения и седиментации смытого диспергированного грунта в конечных пунктах</p>
<p>Эрозионный самоорганизованный рельеф равнинной суши представлен на континенте несколькими сопряженными гигантскими или большими водосборными бассейнами крупных, больших и великих рек разной величины и формы (это высший иерархический уровень бассейново-речных систем или древних гидроэрозионных структур), каждый из которых представлен фрактально-разветвленной целостной системой водосборов рек-притоков более низкого иерархического уровня (3-7 уровней). Каждый из них дренируется единой целостной разветвленной сухоходльно-речной гидрографической сетью, питающую водой как саму реку-приток, так и главную реку, определяя ее гидрологический режим</p>
<p>Каждый крупный самоорганизованный (зрелый, саморазвивающийся) водосборный бассейн возникает в процессах длительной эволюции, включая древние палео-эрозионно-гидрологические процессы, когда живая материя отсутствовала или была недостаточно развита, то есть, когда древняя гидроэрозионная самоорганизация равнинного рельефа происходила при участии только косной (неживой, минеральной) материи. Но диспергированная минеральная материя легко разрушается водными потоками и такие самоорганизованные структуры являются неустойчивыми. Саморазвитие природы и материи привело к возникновению разных форм живой материи (микроорганизмы, водоросли, лишайники, мхи, папоротники, деревья, кустарники, хвойные и лиственные). Древесно-кустарниковые и травянистые сообщества самоорганизовались на эрозионном рельефе в природно-зональные растительные сообщества, устойчивые и биопродуктивные биокосные экосистемы: локальные биогеоценозы и катенно-бассейновые биогеоландшафты, успешно противостоящих разрушающе-эрозионному воздействию водных капель и потоков. В каждой природно-географической зоне эти самоорганизованные биокосные экосистемы, находясь в непрерывно изменяющейся внешней среде, продолжают саморазвиваться, адаптироваться самосовершенствоваться и самозащищаться, приспособляясь к выживанию и эффективному освоению поступающей из внешней среды материи – вещества, энергии, информации</p>
<p>Древний гидроэрозионный (палеоэрозионный) самоорганизованный (4D-мерный: площадь – высота (глубина вреза) – время) рельеф равнинной территории суши с фрактально разветвленной иерархической структурой водосборно-гидрографических бассейнов (в направлении увеличения иерархического уровня</p>



Продолжение табл. 1

<p>Обязательный облик и основные элементы высотно-пространственно-временной гидроэрозивной самоорганизации любого водосборного бассейна на равнинном рельефе суши (земельно-эрозивные фонды, по А. С. Козменко). Поперечное сечение водосбора</p>	<p>Древние эрозивные (палеоэрозивные) бассейновые водосборно-гидрографические (или ложбинно-суходольно-речные) самоорганизованные системы</p> <p><i>А. Ложбинно-суходольное звено:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Доложбинные (длина 0,1-0,5 км)</li> <li>2. Ложбины (0,5-1,0 км)</li> <li>3. Лощины (1-3 км)</li> <li>4. Лощина-суходолы (3-5 км)</li> <li>5. Суходолы (5-7 км)</li> <li>6. Балки (переход к рекам) (7-10 км)</li> <li>7. Крупные разветвл. балочные системы (7-10 км)</li> </ol> <p>Современные эрозивные плоскостные и линейные разрушения почв и линейные разрушения земли ландшафтов:</p> <p><i>А. Плоскостная эрозия почв (смыты):</i></p> <p>размыты:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Несмытые почвы (0%)</li> <li>2. Слабосмытые почвы (1-10 %)</li> <li>3. Среднесмытые почвы (10-25 %)</li> <li>4. Сильносмытые почвы (25-40 %)</li> <li>5. Весьма сильно смытые почвы (более 40 %)</li> </ol>	<p><i>Б. Речное (длинное) звено:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Самые малые реки (длина 10-20 км)</li> <li>2. Малые реки 1 (20-50 км)</li> <li>3. Малые реки 2 (50-100 км)</li> <li>4. Средние реки 1 и 2 (100-500 и 500-1000)</li> <li>5. Крупные реки (1000-1500 км)</li> <li>6. Большие реки (1500-2000 км)</li> <li>7. Великие реки (длина более 2000 км)</li> </ol> <p><i>Б. Линейные (глубинные) эрозивные</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Мелкие ручейковые микропробинны</li> <li>2. Водоронны (мелкие, средние, крупные)</li> <li>3. Значительные размывы</li> <li>4. Овражные размывы</li> <li>5. Овраги-рвы, каньоны, большие системы</li> </ol>
---	---	--

Таблица 2  
**Структурно-пространственная типизация элементов самоорганизованного эрозионного рельефа – катен (склонов) и водосборных бассейнов (ВБ). По классификации А. С. Козменко – Г. П. Сурмача – В. И. Панова [58]**

1	2	3	4
<p>Типичный элемент рельефа – катены (склона) или водосборного бассейна. Катенный ярус и бассейново-временная иерархия</p> <p>Эрозия (и эрозионные процессы) как фундаментальная категория и обязательная составляющая всех процессов самоорганизации в природе. Главные, обязательные элементы самоорганизации эрозионного рельефа равнинной суши – катена (склон) как прочной рельеф-аттрактор, дренажные водотоки и иерархия мультifrактальных водосборных бассейнов как сложных (странных) рельефов-аттракторов.</p> <p>Всеобщее обязательное явление в природе и в аграрном природопользовании. Эрозия – явление опасное для природы и человека. Понимание сути явления, разработка и применение</p>	<p>Местоположение в 3D-мерном пространстве на катене или водосборного бассейна. Величина в % от площади катены или водосборного бассейна. Специфика системы (структуры). Индивидуальные особенности</p> <p>Синергетическая сущность эрозионных процессов и явлений. Эрозионная самоорганизация равнинного рельефа суши происходит в 3D-мерном пространстве и во времени (выход в 4D-мерность как пространственно-временной процесс) под действием си-стемобразующих сил гравитации и космоса. Элементы водного баланса суши. Атмосферные осадки как фактор самоорганизации дождевой ударно-кавитационной и та-кой стоково-потоковой эро-зии</p>	<p>Основные параметры элемента рельефа. Потенциальная стоково-энергетическая опасность, сток и смыв. Эрозионно-аккумулятивные процессы</p> <p>Эрозионно-аккумулятивные процессы самоорганизации эрозионного рельефа относятся к процессам с обострением в LS- и HS-режимах (активизации и затухания).</p> <p>Выветривание и диспергирование горных пород, гравитационное выравнивание поверхности суши из рыхлого грунта. Явление бифуркации. Закономерности самоорганизации из прямого гиперсклона первичного большого водосборного бассейна. Пространственно-временная самоорганизация основных земельно-эрозионных фондов (элементов эрозионного рельефа). Действие фундаментальных законов природы и естественности (сохранения, симметрии, гидротермодинамики и др.).</p> <p>Появление живой материи и ее участие в самоорганизации биосферных, бас-сейновых биогеландшафтов и природ-</p>	<p>Первичные уголья и ландшафты. Аграрное природопользование: А – современное технологичное, Б – кластерно-синергетическое, эрозионно-безопасное</p> <p>1. Эрозионные ускоренные и катастрофические процессы рельефообразования на минеральных переотложенных грунто-вых поверхностях в доэкосистемный пе-риод самоорганизации ландшафтной оболочке Земли или в ледниково-межлед-никовые эпохи при слабом развитии рас-тительного покрова – время великих эро-зионных срезов и катастроф, грандиозных трансформаций облика равнинной суши (предмет изучения). Древняя эрозия.</p> <p>2. Эволюционная естественная самоор-ганизация на ранее возникшем эрозион-ном рельефе растительно-животных зо-нальных экосистем, устойчивых против эрозии (предмет изучения синергетиче-ского эрозио-ландшафтоведения).</p> <p>3. Разные периоды аграрной природо-польвательской деятельности человека: осуществление и результаты реализации принятых методологий, идей, теорий и</p>



Продолжение табл. 2

1	2	3	4
<p>ние противоэрозионных методов, приемов и систем</p> <p>А. Главные и обязательные элементы катены (склона). Катенная (склоновая) поверхность как простой рельеф-аттрактор. 1. Водораздельно-при- водораздельный ярус тер- ритории равнинно- пологий</p>	<p>Самый верхний (высокий) ярус земли (катены), примыкающий к водораздельной линии; равнинные и слабопологие склоны до 10 (до 0,0175); 15-20 %.</p>	<p>географических зон. Биогеохимическое (фото- биопродуктивное) освоение солнечной энергии</p> <p>Длина по одной из катен в расчлененных районах 100-300 м, в равнинных 200-500 м Елв = Мп г Нп.</p> <p>Преобладает плоскостной поверхностный сток и слабый плоскостной смыв. Начальное звено формирования потокового эрозионного рельефа. Преобладают несмытые и слабосмытые почвы. Доминирует плоскостной (пеленой) поверхностный и мелко ручейковый сток. Начальное звено формирования ручейкового и потокового стока</p>	<p>стратегий эрозионной безопасности (предмет изучения и использования систем и стратегий эрозионно-безопасного аграрного природопользования)</p> <p>А. Эти земли почти полностью распаханы и переведены в пашню. Культуры размещаются без учета особенностей формирования стока и эрозионной устойчивости фонов. Б. Противоэрозионное земледельческое тообустройство. Контурно-мелиоративное адаптивно-ландшафтное ресурсоэкономное более креативное земледелие с оптимальной лесомелиорацией</p>
<p>2. Склоновый ярус; возможно его разделение на 2-3 подъяруса: склоны верхние, средние, нижние</p>	<p>Второй от водораздела ярус земель склоновой катены или водосборного бассейна, расположен ниже по склону. Основной массив земель крутизной 1-3 градуса (0,0175-0,060). Доля участия - 20-50 %.</p>	<p>В расчлененных районах 150-300 м, в равнинных - 200-700 м и более. Есо = Еск + Елв = g(МскНск + МпвНпв). Формируется суммарный (консолидированный) сток из собственного и поступающего сверху (с приводораздельных земель). Плоскостной сток начинает переходить в ручейково-потоковый. Почвы слабо- и среднесмытые. Размывы, промоины, овраги</p>	<p>А. Склоны полностью распаханы вместе с руслами временных водотоков (погжины и ложбины). Они введены в пашню без достаточных мер противоэрозионной защиты. Б. Противоэрозионное земледельческое тообустройство с контурно-ленточным размещением полей и стокорегулирующих лесных полос с гидроусилением и осушительно-увлажнительным дренажем. Соблюдение противоэрозионной ярусности агрофонов и угодий для недопущения кагастрофических форм антропогенной эрозии. Арена озимых и многолетних культур и трав. Почвозащитные севообороты. Залужение русел водотоков</p>

Продолжение табл. 2

1	2	3	4
<p>3. Присеговой крутосклонный ярус, подножья склонов и катен – до бровки гидрографической сети</p>	<p>Третий сверху ярус земель катен (склонов). Подножья катен, как правило, крутосклонные, крутизной 3-10 градусов (0,06 – 0,15). Долевое участие – 10 – 25%. Они примыкают к бровкам суходольной гидрографической сети (находятся выше их по катене)</p>	<p>В районах с расчлененным рельефом длина линии стока 100-200 м, в равнинных территориях 200-300 м. Епо = Епс + Елв + Еск = g(МпсНпс + МпвНпв + МпсНск)</p>	<p>А. В большинстве распаханы и введены в пашню, оставшиеся используются в качестве суходольных пастбищ и сенокосов. Б. Нуждаются в залужении, создании культурных пастбищ, лесомелиорации, гидро-лесолуговом освоении. Засыпка промоин, лесосады, экологические заказники. Закрепление вершин действующих оврагов</p>
<p>4. Крутосклонные берега суходольной гидрографической сети, нижние основания катен, примыкающие к линейному элементу эрозионного рельефа – руслу водотока</p>	<p>Ими оканчиваются катены. Это их самый нижний ярус, заканчивающийся локальным базисом эрозии – линейным дренающим элементом – руслом. Их длина в суходольном звене от 30-50 м и до 100-150 м. Крутизна от 10-15 и до 65-85 градусов (стены каньонов). Долевое участие – 5-15%</p>	<p>Формируется местный верхностный сток. Доминируют сильный плоскостной и линейный смыв и размыв. Почвы сильно и весьма сильносмытые. Берега подвержены возникновению густой сети промоин и размывов, осыпей и оползней. Еко = Есб + Елс + Еск + Елв</p>	<p>А. Низкоэффективное использование – пастба, сенокосение. Оголенные стены оврагов не используются совсем. Б. Залужение, облесение, комплексное гидроресурсное освоение, создание заказников, ботанических резерватов, создание лесосадов, экологических заказников</p>
<p>Б. Суходольное звено водосборной бассейновой древне-эрозионной самоорганизации равнинного рельефа в пределах локального большого водосборного бассейна (ВБ) рек и иерархия мультифрактальной системы водосборных бассейнов разного ранга и дренирующей гидрографической сети – продукт его эволюционного усложнения и развития. Водосборный бассейн суходольного звена как сложный (странный) рельеф-аттрактор</p>	<p>Они располагаются вблизи водоразделов, занимают полные приволдораздельные земли крутизной 0,1 градуса и выше в верхней части катены. Возникновение гофрированного склона. Глубина ручьев не большая, определяется базисом эрозии</p>	<p>Сток приобретает поточный характер; медленное ламинарное течение постепенно переходит в быстрое турбулентное, но масса и энергия первичных ручьев невелика, размывающая сила ручьев невелика</p>	<p>А. Доложбинные ручьевые углубления малозаметны на глаз, входят в состав пашни, все полностью распаханы. Б. Контурно-мелиоративная организация территории предусматривает создание по нижней границе поля стоко-регулирующих лесных полос с гидроусилением и дренажем</p>

Продолжение табл. 2

1	2	3	4
<p>1. Доложбинное звено – углубления-потязины первичной концентрации по верхностного стока в ручьи и потоки с неявно выраженными микроводосборными бассейнами. В классификации ВВ в самостоятельный порядок обычно не выделяется</p>			
<p>2. Древние (палеозероонные) ложбины – первичный, элементарный водосборный бассейн 1-го порядка</p>	<p>Располагаются преимущественно на склоновых землях и объединяют несколько водотоков-потязин. Величин водосбора 3-50 га, ширина звена (русло и берега) 20-80 м, глубина вреза русла 1-3 м, асимметрия берегов отсутствует</p>	<p>Как правило, весь водосбор ложбин, в том числе и русло водотока, входят в папашно и распахан, вследствие чего в русле водотока часто возникают донные размывы и овраги</p>	<p>А. В доаграрный период ложбины были хорошо задернованы и не подвергались вторичному размыву. Б. При эрозионно-безопасном агроприродопользовании русла распаханых ложбин необходимо искусственно залужить травосмесями многолетних трав</p>
<p>3. Лощины – древнеэрозионная самоорганизация равнинного рельефа; водосборный бассейн 2-го порядка (по величине и сложности)</p>	<p>Водосборный бассейн лощины объединяет в единое целое несколько ВВ ложбин. Лощины располагаются (в целом рельефе данной речной системы) ниже ложбин. Величина ВВ лощины – 50-300 га, ширина прирусловой части 80-150 м, асимметрия берегов практически отсутствует. Глубина вреза русла 3-10 м</p>	<p>Русло и берега лощин обычно задернованы и часто имеют древесно-кустарниковую растительность. При интенсивной пастбе задернение ослабляется, и на берегах лощины и по руслу возникают береговые и донные размывы и овраги. Лощины в многоводные по стоку годы формируют мощные водные потоки, впадающие в суходолы</p>	<p>А. В обычном общепринятом технологическом агроприродопользовании, лощинам как составной части бассейнового ландшафта уделяется мало внимания. Земли используются экстенсивно. Б. В сберегающем и безопасном природопользовании ВВ лощин подлужит агролесомелиоративному обустройству и эффективному использованию</p>
<p>4. Лощино-суходолы – водосборные бассейны древне-эрозионной самооргани-</p>	<p>Водосборный бассейн лощино-суходола объединяет в единое целое несколько ВВ лощин. Лощино-су-</p>	<p>Русло и берега лощино-суходолов задернованы и имеют древесно-кустарниковую растительность. Инсолиро-</p>	<p>А. При чрезмерно технологическом неберегающем агроприродопользовании прирусловые земли и русла лощино-</p>

Продолжение табл. 2

1	2	3	4
<p>заций равнинного рельефа 3-го порядка иерархии (по величине и сложности)</p>	<p>ходолы располагаются (в целом речном бассейне) ниже ложины. Величина ВБ ложино-суходола 300-800 га, ширина прирусловой части 150-200 м, асимметрия берегов ясно заметна, глубина вреза русла 10-15 м</p>	<p>ваные склоны крутые, слабо задернованные или голые и осыпаятся, теневые пологие с хорошо развитым растительным покровом. На ложино-суходолах формируется значительный местный сток, смыв и размыв</p>	<p>суходолов используют малоэффективно. Б. Прирусловые берега ложино-суходолов при сберегающем и безопасном природопользовании надлежит ландшафт-но обустроить (гидролесо-лесолуговое обустройство с оптимальным соотношением угодий. Часть русел ложино-суходолов отводятся под каскад противозерозионно-мелиоративных прудов и водохранилищ</p>
<p>5. Суходолы (балки) – водосборные бассейны древне-эрозийной самоорганизации равнинного рельефа 4-го порядка иерархии (по величине и сложности). Балки – наиболее крупные суходолы</p>	<p>Водосборный бассейн суходола объединяет в единое целое (древовидна система) несколько ВБ ложино-суходолов, ложины и ложбин. Суходолы располагаются ниже ложино-суходолов. Величина их ВБ 800-3000 га, ширина прирусловой части 200-400 м, глубина вреза русла 15-25 м</p>	<p>Это крупные локализованные и сложно организованные рельефо-ландшафтные эко-геосистемы со своим локализованным гидрологическим режимом, самостоятельно входящим составной частью в общий гидрологический режим водосборного бассейна (в гидрологический режим речного водосборного бассейна)</p>	<p>А. Как правило, в современном чрезмерно техногенном несберегающем природопользовании безопасность и экопродуктивность всего ВБ не решена, из-за чего идет его ускоренное разрушение. Б. Необходимо целостное ландшафтно-безопасное кластерное обустройство всего ВБ, формирование устойчивого, биопродуктивного и сбалансированного агроэколандшафтно-агроэкополиса</p>
<p>6. Наличие единой, древовидно разветвленной иерархической) суходольно-русловой гидрографической сети (дренирующей)</p>	<p>Суходольная иерархическая русловая и древовидно-разветвленная (линейная) сеть; доложбинные потяжкины, ложбины, ложины, ложино-суходолы, суходолы, балки</p>	<p>В иерархическом порядке возрастает протяженность суходольной сети. В пределах ВБ суходола (балки) индивидуальную наибольшую длину имеет суходол, наименьшую – ложбина, в суммарном измерении – обратное явление</p>	<p>В пределах всего суходольного (балочного) водосборного бассейна каждая иерархия суходольной дренирующей сети имеет свои особенности и свойства. Используется для создания каскадов искусственных противозерозионно-мелиоративных прудов и водохранилищ на остаточном местном стоке (талом и частично дождевом); их комплексное использование</p>
<p>В. Речное звено водосборно-бассейновой самоорганизации равнинно-</p>	<p>Включает в себя несколько суходолов, ложино-суходолов и ложины и много ложбин. Имеют</p>	<p>Малые реки, имея большой диапазон длины, разделяются на несколько категорий: самые малые</p>	<p>Малые речные системы, как и суходолы, являются наиболее распространенной самоорганизующейся структурой эрозийного рельефа,</p>

Продолжение табл. 2

1	2	3	4
<p>го рельефа в пределах локального бассейна (ВБ) водосборного бассейна (ВБ) великой реки – иерархия мультифрактальной системы речных и сухоходных ВБ разного ранга и дреннирующей речной (и сухоходной) гидрографической сети – продукт длительного эволюционного развития и усложнения. ВБ речного звена – сложный (странный) рельеф-аттрактор.</p> <p>1. Малая река – сложная водно-земельная упорядоченная система (структура), древне-эрозионной самоорганизации равнинного рельефа. Малая река – речная система 1-го порядка иерархии, имеющая постоянный водоток, соответствующую величину, структуру и речную долину с выраженной асимметрией строения долины. Гидрологический и экологический режим каждой малой реки должен быть тщательно просчитан, обеспечен специальными проектами экологической защиты и эффективного использования, находиться под контролем и мониторингом</p> <p>2. Средние реки – сложные водно-земельные упорядоченные синергетические системы древне-эрозионного происхождения с длительной эволюцией развития</p>	<p>площадь ВБ более 3000 га и длину 10-100 км, асимметричную долину 1-го типа, уклон русла и поймы более 0,0002 со слабым меандрированием</p>	<p>(длиной 10-20 км), малые 1 порядка (20-50 км), малые 2 порядка (50-100 км)</p>	<p>главной таксономической единицей речных синергетических систем (структур). Пока их ландшафтное обустройство – несовершенное. Необходимо целостное эрозионно-безопасное обустройство, поддержание экологического режима и благополучия. Возможно создание водорегулирующих водохранилищ для орошения и комплексного использования. Проекты речного гидро-экологического благоустройства</p>
<p>Включают в себя несколько малых рек, множество суходолов и лощин. Имеют площадь водосбора более 5000 га, длину главного русла 100 – 500 км, долину 2-го типа с резкой асимметрией берегов, значительным меандрированием, уклоном поймы менее 0,0002</p>	<p>Средние реки разделяются на 2 подтипа: средние реки 1-го подтипа (100 – 500 км) и средние реки 2-го подтипа (500 – 1000 км). Их водосборные бассейны представляют сложные бассейновые агроколандшафты – межхозяйственные агрополисы регионального масштаба</p>	<p>Средние реки, имея большую протяженность, находятся иногда в разных географических зонах, и при природно-хозяйственном районировании их части водосборных бассейнов относятся к разным районам или подрайонам. Обеспечение гидро-экологического благоустройства</p>	



Продолжение табл. 2

1	2	3	4
<p>3. Большие реки – обширные локальные водно-земельные синергетические системы древне эрозионного происхождения с длительной эволюцией самоорганизации</p>	<p>Включают в себя несколько средних и множество малых речных систем и суходолов. Имеют площадь водосбора более 7-9 тысяч га, длину главной реки более 1000-1500 км, уклон поймы менее 0,0002, резко асимметричную долину шириной 3-7 км</p>	<p>Большие речные системы. Условно можно разделить на 3 категории: крупные (1000-1500 км), большие (1500-2000 км) и великие (более 2000 км)</p>	<p>Большие речные системы, являясь локальными системами, охватывают огромные территории, находящиеся в различных природно-географических зонах, на их территориях находятся разные административно-хозяйственные субъекты и даже разные государства</p>
<p>4. Древняя речная гидрографическая (дренирующая) древовидно-разветвленная сеть. Реки малые, средние, крупные, большие и великие. Фрактальное строение</p>	<p>Отличительный признак речной гидрографической сети по сравнению с суходольной – это наличие долин, когда русло (линейная или речная форма стока) располагается в широкой пойме (поверхность), позволяющей водному речному потоку менять вектор движения, мандрировать, иметь повышенную степень свободы)</p>	<p>Крупные, большие и великие реки как линейно-пространственные водные системы имеют свой неповторимый облик, специфику, обличье и колорит</p>	<p>Ландшафтное обустройство речных долин, берегов, пойм – сложная многофункциональная проблема, нуждающаяся в глубоком и многостороннем изучении</p>
<p>Г. Современная ускоренная антропогенная (агротехногенная) эрозия и ее последствия (эрозионные структуры-образования) 1. Плоскостной смыв почв. Формирование смывных почв с потерей ими естественного плодородия. Разработка целевой государственной программы сохранения и повышения почвенного плодородия, государственная программа рекультивации смывных почв</p>	<p>Выделяют 4 степени смытости почв: слабо смытые (1-25 %), среднесмытые (25-50 %), сильно смытые (50-75 %), очень сильно смытые (75-100 %)</p>	<p>Величина и интенсивность плоскостного смыва тесно связаны с местоположением почв, крутизной склона, величиной и интенсивностью поверхностного стока, растительным покровом и противозерозийной устойчивостью почв</p>	<p>А. Современное чрезмерно технологичное агроприродопользование не обеспечивает в должной мере почвы от разрушительной плоскостной антропогенной эрозии. Б. Переход на берегающее эрозивно-безопасное агроприродопользование обеспечит их надежную защиту от ускоренного разрушения. Меры по повышению их плодородия</p>

Окончание табл. 2

1	2	3	4
<p>2. Современные линейные формы антропогенной эрозии и их типизация. Образование размывов, промоин и оврагов. Государственная целевая программа по закреплению действующих оврагов и по рекультивации размывных промоинами земель</p>	<p>В зависимости от величин ручьев и потоков образуются микропромоины, водоройны, размывы, промоины, овраги (мелкие, средние, крупные), мощные овраги-каньоны, крупные овражные системы</p>	<p>Величины линейных эрозионных образований измеряются в 3D-мерном пространстве и их ростом во времени; переход в 4D-мерное измерение (пространство) – эволюционное расширение объекта</p>	<p>А. В настоящее время борьба с линейными формами эрозии практически не ведется. Линейные формы эрозии выводят из оборота большие площади ценных земель. Необходимо рекультивация смытых и размывных земель. Б. Борьбе с линейными формами эрозии необходимо уделять самое большое внимание. Необходимость осуществления запрограммированного закрепления вершин действующих оврагов сложными гидросооружениями</p>

Новизна и ценность этих таблиц заключается в том, что они базируется на новых принципах синергетической парадигмы. В основу нами положена разработка отечественных ученых – открытые ими режимы с обострением, законы коэволюции и самоорганизации сложных систем (А. А. Самарский, В. А. Галактионов, С. П. Курдюмов, А. П. Михайлов и другие [4, 8, 29, 30, 33, 52]). В нашем представлении, любой локализованный (естественно ограниченный) участок равнинной суши в земной ландшафтосфере (склон-катена, водосборный бассейн, русла суходолов и речных систем) есть открытая нелинейная 3D-4D-мерная экогеосистема (4D-мерная – при ее рассмотрении в развитии во времени, находящаяся в непрерывном становлении, живущая во времени или в 4D-ом измерении, – В. П.). Она имеет определенный эрозионный рельеф, длительно эволюционно развивающийся в соответствии с естественными законами эрозионной самоорганизации, условиями внешней среды, географической зональности и возникшего на нем естественного биокосного (живая материя + косная, неживая) ландшафта – целостного сообщества живой и минеральной (косной, неживой) материи. При этом она стремится к достижению наиболее совершенного облика активного и динамически устойчивого биогеоландшафта-аттрактора – гомеостатической системы с оперативной адаптацией к изменяющимся условиям среды и средствами самоорганизации самой системы (положительной обратной связи), эффективным управлением всеми жизненно-важными процессами функционирования всех подсистем и системы в целом. Она стремится также реализовать свой внутренний биоэкологический потенциал: продуктивно использовать все имеющихся и активно взаимодействующие с ней ресурсы среды в виде вещества, энергии, информации для обеспечения более длительного времени собственной жизни, роста собственного совершенства (высокая степень интеллекта и информатизации для живых систем) при минимализации энтропии системы. Почему нас привлекли процессы с режимами обострения, – будет сообщено чуть ниже. Скорее всего, это пришло от наших учителей и наставников, их состоявшейся всей жизненной и научной методологией общения и изучения живой самоорганизующейся природой среды (в те времена А. С. Козменко науки о самоорганизации сложных систем еще не было), но основные ее положения реально давно существовали и использовались.

В данной работе будет представлен раздел, показывающий развернутую общую схему структурно-пространственной типизации гид-



роэрозионной склоново-бассейновой (или катенно-водосборной) фрактально-иерархической самоорганизации равнинного рельефа степного пояса суши и краткая функционально-природопользовательская характеристика главных самоорганизованных земельно-эрозионных форм рельефа (земельно-эрозионных фондов, по классификации А. С. Козменко [25-26]). Структурно-пространственная типизация элементов гидроэрозионного самоорганизованного рельефа с их высотно-ярусной и пространственной упорядоченностью детально представлены в табл. 2. Действительно, чтобы глубже познать такое сложное и важное явление, как эрозия – это всеобщее в природе явление и эрозионно-гидрологические процессы, эрозионные рельефообразовательные процессы и многое другое, связанное с сущностью «эрозия» (научные направления эрозиоведение, эрозиоландшафтоведение, эрозионнобезопасное аграрное природопользование и многие другие), мы посчитали целесообразным обратиться к самым новым научным методологическим направлениям: о целостной сложной картине мира, к современным концепциям естествознания и открытым нелинейным и иерархически целостным самоорганизующимся сложным системам, и с их позиций рассмотреть эти категории, сделать их методологическими принципами и разработать теоретическую научную основу для практического рационального и устойчивого аграрного природопользования [1, 40, 41, 42, 44, 54]. В деле борьбы с эрозией почв при аграрном природопользовании большая роль принадлежит эрозиоведению как методологической и теоретической науке. На разных исторических этапах значительные разработки в ее создание сделаны В. В. Докучаевым [15], А. С. Козменко [25, 26], Г. П. Сурмачем [55-59], Н. И. Маккавеевым [31], М. Н. Заславским [17], Р. Хортоном, У. М. Дэвисом, В. Пенком [48], Г. И. Швобсом, А. В. Поздняковым [50], Е. А. Гаршиневым [11-12], А. Т. Барабановым [6] М. И. Калининным [20], В. И. Пановым [41] и многими другими учеными.

Многолетние исследования по эрозионной тематике и развитию гидроэрозионного рельефа велись во ВНИАЛМИ и продолжают вестись в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН) учениками и последователями школы А. С. Козменко и Г. П. Сурмача.

Рельеф суши Земли – основа, на которой человек осуществляет свою природопользовательскую, в т. ч. и прежде всего, аграрную. Развитие рельефа ландшафтной сферы Земли происходит непрерывно

сотни миллионов и миллиарды лет. Современный его облик, по исследованиям А. С. Козменко [24-26] и Г. П. Сурмача [55-59], сформировался в четвертичный геологический период истории Земли. Особая роль принадлежит многолетним оледенениям – ледниковым и межледниковым эпохам (периодам). За многие миллионы лет естественно-природного формирования, самоорганизации, развития и жизни облик ландшафтной сферы неузнаваемо менялся. Под действием могучих и взаимодействующих системообразующих эндогенных (внутренних сил земной гравитации) и экзогенных (внешних, самой Земли, Солнца, ближнего и дальнего космоса) сил закономерно, но часто и непредсказуемо, перемещались континенты, понимались и опускались материковые плиты, росли и разрушались горные системы, превращаясь в плоские территории выравнивания.

Таким образом, разработка концепций синергетического эрозиоведения и эволюционного эрозиоландшафтоведения на междисциплинарной общей методологии, базирующейся на открытых сложных нелинейных самоорганизующихся системах и синергетической парадигме, открывает новые большие возможности успешного решения многих нерешенных проблем в этом важном научно-практическом направлении фундаментальных и прикладных исследований естествознания и аграрного природопользования. Эрозия и эрозионно-гидрологические процессы в ландшафтосфере Земли относятся к категории всюду и непрерывно протекающих в природе процессов самоорганизации и дезорганизации (разрушения, распада, хаотизации) сложных открытых систем.

Переотложенная равнинная территория степного пояса Восточно-Европейской (Русской) равнины (южная гиперкатена Русской равнины) представлена гидроэрозионным самоорганизованным рельефом огромных водосборных бассейнов больших и великих рек Волги, Днепра, Дона – огромными по площади локализованными (самостоятельными, ограниченными) водосборными бассейнами наивысшего иерархического уровня речной самоорганизации. Разработана таблица детальной структурно-пространственной типизации фрактально-иерархических самоорганизованных форм эрозионного рельефа или земельно-эрозионных (см. табл. 1, 2).

Впервые в отечественном и мировом эрозиоведении предложено рассматривать самоорганизацию эрозионного равнинного рельефа суши на методологии жизни и самоорганизации сложных открытых

систем, синергетической парадигме и режимов с обострением (LS-режим, HS-режим и S-режим). Дана краткая характеристика водосборов разного иерархического ранга и их главных самоорганизованных земельно-эрозионных форм рельефа, их параметры, формирование консолидированного агрокатенного стока и стоково-эрозионной опасности, современное их техногенное использование и состояние и перспективное ландшафтно-сберегающее природопользование.

#### **Часть 4.**

### **Консолидированный агрокатенный сток, потенциальная стоково-эрозионная опасность формирования катастрофической эрозии и эффективные методы ее предотвращения**

#### **Общие положения**

Аграрное природопользование в степном засушливом поясе Евразии встречается с необходимостью решения двух важнейших и сложных проблем – хронического дефицита воды и угроз почвенной безопасности от разрушительной антропогенной (или техногенной) водной эрозии и дефляции [1]. Это актуальнейшие проблемы всего степного пояса России: без их безотлагательного решения невозможно повысить урожайность и стабилизировать сельское хозяйство [15, 40-42]. Для этого необходимы новые знания и представления о глубинной сущности этих опасных явлений, базирующиеся на самых передовых разработках и методологических принципах и концепциях современного естествознания. Они должны быть положены в основу противоэрозионных (почвоохранных) и агрогидрологических мелиораций [1, 6, 11, 42, 44, 50] с их одновременным совместным решением при внутривладельческом и межхозяйственном катенно-бассейновом природообустройстве [1, 42].

Сельское хозяйство – главная отрасль народного хозяйства нашей страны, обеспечивающая население продовольствием и разнообразным сырьем для промышленности. Данное исследование относится к наиболее актуальным и ключевым (фундаментальным) разделам противоэрозионных мелиораций и эрозиоведения. Изложенные в статье взгляды и положения обладают высокой степенью новизны, актуальности, научно-практической ценности и перспективности; их практическое использование в новейшем предстоящем противоэрозионном межхозяйственном и внутривладельческом земле-ландшафтообустройстве степных землепользований позволит эффективно решить стоящие проблемы [1, 42].

Одной из нерешенных и сложных проблем ведения стабильного и высокопродуктивного сельского хозяйства является проблема разработки и освоения теории и практики сберегающего эколого-эрозионно-безопасного природоподобного аграрного природопользования [1, 41, 42]. В ее решении большая роль принадлежит науке, включению ее передовых разработок в инновационные практические проекты.

Огромный ущерб почвам, природе, человеку наносит разрушительная антропогенная (аграрная, агротехногенная, сельскохозяйственная) водная эрозия. Данное исследование ставит своей целью существенно углубить наши знания о сущности эрозии и эрозионно-гидрологических процессах (ЭГП) с позиций современных концепций естествознания [1, 3, 7, 10, 14, 36, 50, 62] понять сущность, механизмы и генезис эрозионной опасности почв, рельефа и агробиоценозов, возникновения в сложных катенно-ярусных агроландшафтах катастрофических ее форм и найти эффективные меры и направления их недопущения и борьбы с ними. Проблема обеспечения эрозионной безопасности почв и агроландшафтов, надежного сохранения почвенного плодородия от разрушительной антропогенной (агротехногенной) водной эрозии относится к числу самых ключевых, фундаментальных проблем наук о Земле, гидрологии, географии сельского хозяйства, комплексных мелиораций, аграрного природопользования, биологии и биотехнологий синергетики. Проблема сложная, многоплановая (поликластерная), на стыке взаимодействия и взаимовлияния многих отраслей науки и практики.

Выполнение поставленной цели достигается при решении ряда задач:

1. Более углубленного представления о сущности водной эрозии как всеобщем деградационном явлении с позиций современных концепций естествознания и единой картины мира, существования сложных открытых самоорганизующихся систем;

2. Механизмы возникновения и проявления стоково-энергетической и стоково-эрозионной опасности на равнинно-эрозионном самоорганизованном рельефе. Эрозионно-безопасные и эрозионно-опасные земли и их использование;

3. Естественно-природная биогеоценозная и биогеоландшафтная защита рельефа от его ускоренного эрозионного разрушения; аграрное рыхление поверхности пашни как эрозионно-опасное воздействие. Стокообразующие и противоэрозионные показатели разных агрофонов и сельхозугодий, их учет при расположении в ярусном склоново-катенном агроландшафте;

4. Возможность формирования в многоярусном катенном агроландшафте катастрофической антропогенной эрозии. Пути и методы ее предотвращения;

5. Ландшафтно-кластерные агролесогидромелиоративные приемы и методы снижения эрозионной опасности в многоярусных скло-

ново-катенных агроландшафтах. Практические предложения по снижению рисков эрозионной опасности.

**Предмет и объект исследования.** Предмет исследования составили методологические принципы и концептуальные положения геоэкологических основ противоэрозионных мелиораций на эрозионном самоорганизованном равнинно-пересеченном рельефе степного пояса Среднего Поволжья (Самарское черноземное сыртовое Заволжье), его сельскохозяйственные земли с характеристикой и оценкой опасности формирования катастрофических форм антропогенной эрозии. Объектом исследования явились эрозионно-гидрологические процессы (ЭПГ) на различных агрофонах и сельхозугодьях проведением экспериментов в природных условиях методами закладки стоковых площадок и опытных водосборов [1, 5, 6, 11, 41, 49, 55, 57, 62].

Аграрное природопользование и природообустройства земель сельскохозяйственного назначения в XXI веке, по своей методологической основе, прежде всего, должно базироваться на природоподобных [15, 24, 40] Докучаевских принципах естественных биогеоценозов и катенно-бассейновых ландшафтов, обеспечивающих им надежную и эффективную собственную противоэрозионную самозащиту почв и биогеоценозов сообществом живой материи или сложной биокосной самоорганизующейся системой. Совершенные биопродуктивные, противоэрозионные и высокоэкологизированные агроценозы и агроэколандшафты целенаправленно конструируются на принципах противоэрозионных комплексных (кластерных) мелиорациях, направленных на наиболее эффективное и рациональное использование всех природных и привлеченных ресурсов и условий.

Научная новизна и практическая значимость исследований заключается в том, что впервые в отечественной и зарубежной литературе по противоэрозионным мелиорациям и современному эрозиоведению природное явление эрозия рассматривается наиболее широко и полно, с позиций единой картины мира, современных концепций естествознания, самоорганизации сложных открытых иерархических систем, их эволюционной адаптации, самозащиты и саморазвития. С этих позиций рассматривается эрозионно-гидрологическая самоорганизация и пространственно-временная упорядоченность равнинно-пересеченного самоорганизованного рельефа степного пояса, стоково-энергетическая и стоково-эрозионная опасность и безопасность рельефа, почв, естественных биогеоценозов и биогеоландшафтов, ру-

котворных агроценозов и агроландшафтов. Впервые дано предложение о распределении всех видов агрофонов и сельхозугодий в условный «ряд их стоково-эрозионной напряженности (опасности)» и его учета при их высотно-ярусном размещении на длинных склонах, чтобы не допустить формирования катастрофических и опасных форм антропогенной эрозии в средних и нижних частях склонов. Разработаны разные варианты размещения агрофонов и угодий на длинных склонах с разной степенью формирования ударных стоковых нагрузок на поля, расположенные в средних и нижних частях склонов (необходим отбор наиболее приемлемых). Исследования показали, что одни агротехнические меры и приемы размещения агрофонов и угодий на длинных склонах не могут решить проблему противоэрозионной защиты; необходимо привлекать дополнительные ландшафтные кластеры противоэрозионных мелиораций (рубежи перехвата, отведения и поглощения стока, контурные стокорегулирующие лесные полосы с простейшими гидротехническими водопоглощающими устройствами (волы, щели, канавы и осушительно-увлажнительным дренажем).

Перед современной аграрной наукой стоит важнейшая цель – создать научную методологию, базовые принципы и природоподобные эколого-ландшафтные технологии неразрушающего экологического, устойчивого и высокопродуктивного аграрного природопользования. Прогрессивный ландшафтный (Докучаевский) принцип, как основа ландшафтной природоподобной методологии и технологий устойчивого экологического аграрного природопользования, выдвинут и первоначально разработан В. В. Докучаевым [15]; он продолжает совершенствоваться.

Ключевая роль в решении этой сложной проблемы принадлежит фундаменту любой практической деятельности – разработке методологии и теоретических основ сущности эрозии, эрозионно-гидрологических процессов и концепции современного эрозиоландшафтоведения базирующейся на достижениях междисциплинарной метанауки – синергетики, осуществляющей подход к каждому явлению, системе, процессу и научному направлению с позиций всеобщей картины мира А. Д. Арманд [2], С. П. Курдюмов [30], Н. Н. Моисеев [34, 35] – его открытости, сложности, нелинейности, иерархической системности В. И. Панов [44, 47]. На ее основе разрабатываются положения ландшафтной (Докучаевской) методологии противоэрозионного и влагосберегающего аграрного природопользования для степного засушливого пояса Евразии [42].

Исследования в данном направлении противоэрозионных мелиораций и эрозиоведения являются своевременными, актуальными, в полном соответствии с мировым уровнем требований, проводимыми в США, Канаде, Франции, Китае [1, 6, 10, 11, 15, 42, 44, 50, 57, 62, 63-65]. Они направлены на получение новых знаний по основным и пока недостаточно изученным и мало известным явлениям и процессам: о сущности эрозии, эрозионно-гидрологических процессов и стоково-эрозионной опасности, об эрозионно-опасных землях, о распределении агрофонов и угодий в условный ряд стоково-эрозионной напряженности (опасности, активности), о понятии катастрофического антропогенного стока, о противоэрозионной высотно-ярусной упорядоченности агрофонов и угодий по длине склоновой катены, о консолидированном (интегральном) склоново-катенном стоке, о контурно-горизонтальных стокопоглотительных лесных полосах (с гидроусилением водопоглощения лесополос и с осушительно-увлажнительным дренажем) по продольным границам контурных полей. При этом осуществляется эффективное управление приходно-расходными элементами весеннего водного баланса с использованием кластерных комплексных мелиораций (агротехнических, противоэрозионных, гидромелиоративных, фитомелиоративных, агролесомелиоративных и других). По ним имеются перспективные разработки [1, 11, 17, 31, 41, 42].

Все эти меры коренным образом изменяют представления об эрозионной безопасности антропогенной катастрофической водной эрозии, бедственные потери гумуса на смыв и падение почвенного плодородия, рационально управлять эрозионно-гидрологическими процессами в агроландшафтах и весенним водным балансом, снизить бесполезные потери воды на ветро-метельную сублимацию и снос снега, на поверхностный сток и физическое испарение, повысить и стабилизировать гидрологический, биоэкологический и противоэрозионный режим сельскохозяйственных земель в условиях степного засушливого климата, нейтрализовать часто повторяющиеся здесь сильные и катастрофические засухи.

Объектами наблюдений и экспериментальных исследований служили поля с обыкновенными черноземами степного пояса Самарского Заволжья в ОПХ Поволжской АГЛОС (стоково-эрозионные стационары, опытные водосборы, опытные севообороты с высотнo-ярусным размещением полей (их топографическая высота 60-200 м над уровнем моря) на длинных склонах пологих (пахотных) склонах (длина 1200-1800 м и более).



Антропогенная эрозия и эрозионные процессы наиболее глубоко и всесторонне изучаются экспериментально методами водного баланса на специально оборудованных стоково-эрозионных стационарах, включающих в себя простые и комбинированные стоковые площадки, простые и комбинированные опытные водосборы [6, 11, 24, 41, 42, 44]. Такие исследования весеннего водного баланса и водной эрозии на различных агрофонах пашни (зябь, плоскорезные обработки, щелевание, стерня, озимые, многолетние травы), лесные культуры, естественный лес проводились на Поволжской АГЛОС – филиал ФНЦ агроэкологии РАН в 1959-2017 годах на обыкновенных черноземах Самарского степного Заволжья, в 10 км южнее г. Самары. Природные условия типичны для обширного степного субрегиона Среднего Поволжья и ЦЧО.

Методики экспериментальных эрозионно-гидрологических исследований методами водного баланса на стоковых площадках и опытных водосборах разработаны в ГГИ, ИГ АН СССР, ВНИАЛМИ, ВНИИЗПЭ, опубликованы и приняты в качестве базовых [6, 11, 41, 42, 57, 62]. Методики проводившихся исследований включали следующие этапы:

1. Ежегодная закладка полевых стоковых площадок с разными агрофонами – с рыхлой поверхностью почвы (разные виды зяблевой вспашки, щелеваний-кротований озимых и многолетних трав, плоскорезных рыхлений), с разрыхленно-уплотненной (прикатанной) поверхностью почвы (разные стерневые агрофоны, озимые) и сельхозугодий с плотно-выровненной (утрамбованной) поверхностью почвы (многолетние травы и другие культуры, пастбища, суходольные выгона). Использовались также опытные простые ложбинные водосборы (с пашней, пастбищем, лесом и др.), оснащенные в замыкающем створе гидрометрическим оборудованием (водосливом Томпсона с тонкой стенкой, углом выреза  $45^\circ$  и  $90^\circ$ ) и самописцем уровня воды на водосливе типа «Валдай-М». Проводился обширный комплекс водобалансовых наблюдений и вычислений (влажность почв, глубина промерзания, снежный покров, влагозапас в снеге, поверхностный сток, инфильтрация, смыв почвы и др.). По многолетним наблюдениям строились кривые превышения стока заданной обеспеченности [5, 83] и устанавливались среднемноголетние его величины, а также его величины в маловодные и многоводные годы.

2. На длинных склонах (длиной 1000-1500 м и больше) размещались опытные севообороты и поля, в несколько ярусов по склоно-

вой катене, с разными вариантами сочетаний агрофонов и сельхозугодий (от водораздела и до подножия склона, до тальвега или водотока). Весной, по всей линии склона, на каждом поле, велись наблюдения за стоком и смывом (методом водороин). Велись наблюдения за формированием консолидированного или интегрального агрокатенного поверхностного стока и за его эрозионной работой.

Расчеты основных показателей проводились по формулам:

1. Консолидированный или кооперативный катенно-агроландшафтный сток ( $S_{ka}$ ), когда на катене выделено несколько полей с разной высотной ярусностью и шириной рассчитывается по формуле:

$$S_{ka} = \sum(10 \cdot S_i \cdot L_i) \quad (1)$$

где  $S_{ka}$  – суммарный (консолидированный) катенно-агроландшафтный сток;  $S_i$  – слой поверхностного стока с  $i$ -того агрофона или угодья, мм;  $L_i$  – ширина поля (по линии стока), км.

2. Показатели стоково-эрозионной опасности элементов эрозионного самоорганизованного рельефа. Любой участок суши, на котором находится (или поступает) определенная масса или объем воды, обладает свойством подвергнуться воздействию ее потенциальной и кинетической энергии, энергетической и эрозионной опасности, согласно формул (1) и (2):

$$E_n = M_d H; \quad (2)$$

$$E_k = MV^2/2, \quad (3)$$

где  $E_n$  и  $E_k$  – энергия потенциальная и кинетическая. воды (осадков, стока);  $M$  – потенциальная масса воды (ливневые осадки, поверхностный сток);  $H$  – топографическая высота местности (участка суши) над уровнем океана;  $g$  – ускорение земного притяжения,  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$  ( $g = 9,8066 \text{ м/с}^2$ );  $v$  – скорость стекания воды (м/с), зависит от местного базиса эрозии ( $H$ ) крутизны и длины склона (катены).

Механизмам возникновения эрозии, энергетике атмосферных осадков поверхностного стока посвящена обширная литература как отечественная, так и зарубежная – А. С. Козменко [26], Н. И. Маккавеев [31], Г. П. Сурмач [55-59], С. И. Сильвестров [54], М. Н. Заславский [17], М. И. Калинин [20], и другие.

3. Склоновые агроландшафтные катены и высотнo-ярусное размещение полей. Формирование стоковых ударных нагрузок на границу нижележащего поля. В степном поясе, особенно в зонах степи и сухой степи, с выровненным эрозионным рельефом и длинными склонами длиной до 1500-2000 м (см. рис. 1), многие поля имеют

огромные размеры – 200-400 га; при средней длине поля 2000 м, его ширина распространяется на всю длину склона (до 1000-2000 м). При таких размерах и формировании значительного слоя стока (20-30 мм и больше), ударно-стоковая нагрузка на нижние участки поля может достигать запредельных величин и вызывать сильный смыв (30-75 м<sup>3</sup>/га и больше). В таких условиях воздействовать и управлять стоком и смывом практически невозможно. Такие параметры и размещение полей делалось землеустроителями в советское время в сухостепных районах под использование тяжелых гусеничных широкозахватных полевых агрегатов. При такой ширине полей ни о каких проблемах перехвата и поглощения поверхностного стока, а, следовательно, об эрозионной безопасности почв, говорить не приходится.

Величины ударных стоковых нагрузок на почвы нижних частей склонов становятся огромными. Даже при сравнительно небольшой величине слоя поверхностного стока, например, 10 мм, с ровного склона-поля шириной 800-1200 м (0,8-1,2 км) при равномерном его распределении, на нижележащее угодье поступит слой:

$$S_k = 10 \cdot S_{\text{ср.}} \cdot L = 10 \cdot 10 \cdot (0,8 - 1,2) = 80 - 120 \text{ мм}, \quad (4)$$

где  $S_k$  – поверхностный суммарный сток со склона катены длиной 1 км;  $L$  – длина склоновой катены, км; 10 – переводной коэффициент;  $S_{\text{ср.}}$  – средний слой поверхностного стока с данного агрофона или угодья, мм.

Стоковая нагрузка или условный показатель стоково-эрозионной (энергетической) опасности (СЭО), на каждый погонный метр нижней кромки такого широкого поля, вычисляется по формуле:

$$SN_{\text{п.м.}} = \text{СЭО} = 0,1 \cdot S_k \text{ м}^3/\text{п. м.} \quad (5)$$

В нашем примере стоковая нагрузка составила 8-12 м<sup>3</sup>/п.м на нижнюю кромку поля.

Исходя из этого, необходимо использовать в теории и практике разработки противоэрозионных агротехнических и агро-, фито-, лесо- и гидромелиораций такое новое понятие, как консолидированный (или кооперативный, интегральный) катенный сток с его стоково-эрозионной ударной нагрузкой на нижнюю границу каждого катенного яруса (поля, угодья).

### **Формирование условного ряда стоково-эрозионной напряженности агрофонов и угодий**

Работа базируется на результатах собственных многолетних исследований авторов на стоково-эрозионных стационарах, опубликован-

ные в работах [6, 40-47]. Помимо их, использованы и другие опубликованные данные по эрозионно-гидрологической тематике, применительно к степному поясу Среднего Поволжья европейской части России.

Опыты проводились на стоково-эрозионных стационарах на обыкновенных глинистых черноземах Самарского сыртового Заволжья ОПХ Поволжской АГЛЮС – филиал ФНЦ агроэкологии РАН в период 1964-2017 гг. [6, 41, 42, 49,]. Получены также 58-летние гидрологические ряды [5] по поверхностному стоку с рыхлых (вспаханных) агрофонов и угодий с уплотненной поверхностью, защищенной растительным покровом за период 1959-2017 гг.; эти ряды были обработаны математически – построены «кривые обеспеченности стока» или кривые превышения стока заданной обеспеченности [6, 41, 42-45], позволившие иметь объективное представление о поверхностном стоке в разные по водности годы (в маловодные, средневодное и многоводные).

Обобщенный анализ элементов весеннего водного баланса и смыва почвы, полученный на простых стоковых площадках и опытных водосборах с разными агрофонами и угодьями показал все они имеют свои специфические показатели элементов баланса, но соблюдается определенная закономерность в их распределении: среднемноголетняя величина весеннего поверхностного стока и противоэрозионной стойкости почв достаточно тесно связана с величиной объемной массы (объемного веса) в г/см<sup>3</sup> верхнего 0-30-см слоя почвы – с его уменьшением (на зяби, разные виды пахоты и агрофонов) поверхностный сток понижается и резко снижается противоэрозионная устойчивость почвы (см. табл. 3).

Г. П. Сурмач [55, 57, 58] произвел их группировку в 2 категории – угодья с уплотненной поверхностью и агрофоны (пашня) с рыхлой поверхностью. Угодья с уплотненной поверхностью обладают выровненным плотным сложением верхнего 0-30 см слоя с объемной массой 1,3-1,6 г/см<sup>3</sup>. Это склоновые суходольные сенокосы и пастбища (выгона), многолетние травы, стерня сельхозкультур, озимые. На них почти ежегодно формируется поверхностный сток, а в средние и многоводные годы – значительный (больше 30 мм). В то же время наличие растительности, плотность сложения почвенных частиц, их скрепление дерниной делает их эрозионно-устойчивыми, противостоящими размывающему и диспергирующему действию поверхностного стока.

Агрофоны с рыхлой поверхностью (варианты разноглубинной зяби, выравненной зяби, зяби с микрорельефом, плоскорезные обра-

ботки и др.) имеют рыхлое комковато-глыбистое сложение с наличием в верхнем 0-30 см слое множества крупных воздушных каналов, полостей, трещин (некапиллярная парусность), объемную массу  $(0,9)1,0-1,4 \text{ г/см}^3$ . Они обладают высокой впитывающей способностью в период весеннего снеготаяния, хорошо поглощают талые снеговые воды и формируют большой влагозапас для выращивания яровых культур. В то же время разрыхленная и оголенная от растительного покрова почва легко разрушается ливневым и талым стоком. В степном поясе на зяби в каждые 6-7 лет из 10 поверхностный сток или не формируется совсем, или меньше 10 мм. На уплотняющихся и заплывающих глинистых и тяжелосуглинистых черноземах Самарского сыртового Заволжья, углубление пахоты или безотвального рыхления на каждый 1 см, способствует дополнительному впитыванию от 1,8 до 2,8 мм талой влаги (от общепринятых 22-25 см).

По обобщенным нашим экспериментальным данным построения кривой обеспеченности стока [6, 40, 42] по степной зоне Среднего Поволжья на обыкновенных черноземах (за 58-летний период наблюдений 1959-2017 гг.), среднемноголетняя величина весеннего поверхностного стока (50 %-ной обеспеченности) составила 7 мм при влагозапасе в снеге 120 мм, инфильтрация в почву 113 мм, в то время, как на уплотненной пашне (стерня, озимые, многолетние травы) сток составил 34 мм при влагозапасе в снеге 130 мм, а инфильтрация в почву равнялась 96 мм (на 15 % меньше, чем на пашне). Из этих данных видна большая гидрологическая роль зяби в сравнении с пашней (агрофонами) с уплотненной поверхностью (сток в 4,8 раза ниже). Исследование водного баланса суходольного пастбища на опытном водосборе «Пастбище» (публикация [43, см. табл.], где величина объемной массы верхнего 0-30 см слоя почвы высокая –  $1,3-1,6 \text{ г/см}^3$ , из-за пастьбы стада), величина поверхностного стока еще выше – 57 мм при влагозапасе в снеге 118 мм и инфильтрации всего 61 мм. Среднемноголетний смыв почвы ( $\text{м}^3/\text{га}$ ) составил всего 0,14  $\text{м}^3/\text{га}$  за счет уплотненности частиц почвы и скрепляющего действия корней дернины.

Таким образом, разрыхленная (вспаханная) почва обладает высоким гидрологическим эффектом, но очень низкой противозерозионной устойчивостью, легко размывается и разрушается движущейся водой (ливневой, поверхностным стоком).

Все используемые агрофоны и угодья целесообразно сгруппировать в единый условный ряд по их стоково-эрозионной напряженно-

сти (в порядке сокращения стока и эрозионной устойчивости), что упростит подход к их размещению по ярусам катены (табл. 3).

Таблица 3

**Условный ряд стоково-эрозионной напряженности агрофонов и угодий для степного пояса европейской части России (обобщенные данные)**

Наименование агрофонов и угодий, средняя объемная масса почвы слоя 0-30 см, г/см <sup>3</sup>	Усредненная стокообразующая способность, мм	Противоэрозионная стойкость	
		относительная (%), по М. Н. Заславскому	смыв, м <sup>3</sup> /га
Суходольное выпасаемое пастбище, 1,3-1,5(1,6)	40-52	0,05	0,1-0,3
Многолетние травы, 1,2-1,4(1,5)	40-45	0,10	0,3-0,5
Стерня кукурузы и подсолнечника, 1,2-1,3(1,4)	30-40	0,50	2,7
Стерня пшеницы, (1,2)1,1-1,3(1,4)	30-35	0,50	3,2
Озимые, (1,1)1,0-1,3	20-30	0,4-0,5	4,2
Плоскорезная обработка и безотвальная вспашка, 1,0-1,3	15-18	0,8-0,9	4,8
Зябь отвальная: средняя (25 см) и глубокая (28-30 см), (0,9)1,0-1,2(1,3)	7-12	1,00	> 5-7

Приведенные в табл. 3 величины связаны с поверхностным стоком с данных агрофонов и угодий. При поступлении поверхностного стока с выше расположенных полей, смыв многократно возрастает и может достигать катастрофических величин 70-100 м<sup>3</sup>/га и больше. Такое явление происходит на эрозионном рельефе с большими базами эрозии и длинными склонами (1000-1500 м и больше), когда на нем формируется агрокатена – на длинном склоне «амфитеатром», в несколько ярусов, размещается 2-3 и более полей, занятые разными агрофонами и угодьями, на которой, от водораздела и до подножья (тальвега, водотока), ежегодно формируется общий со всей катены, консолидированный (интегральный) склоново-катенный поверхностный сток. Такой «катенный подход» к характеристике и оценке земель, как эрозионно-опасные и эрозионно-безопасные, к возможности формирования катастрофических форм антропогенной эрозии в нижних частях длинных склонов за счет неправильного размещения слогаобразующих агрофонов и угодий, в современном эрозиоведении и противоэрозионных мелиорациях, ставится и исследуется впервые.

Также приведенные в табл. 3 данные указывают на то, что противозерозионная стойкость почв в большой степени зависит от прочности скрепления частиц корнями (дерниной), их защищенности густым растительным покровом, плотности и прочности «упаковки» почвенных частиц. Разрыхленные почвы, в том же объеме, имеют много некапиллярных пор и полостей, проницаемы для инфильтрации воды, но крайне неустойчивы в эрозионном отношении.

Условный ряд стоково-эрозионной напряженности очень важен для формирования сложных многоярусных агрокатенных ландшафтов с высотно-ярусным (амфитеатровым) расположением полей на длинных склонах, для прогнозирования вероятных стоково-энергетических (ударных) нагрузок поверхностного стока с вышележащей части склоновой катены, вероятности возникновения и предотвращения проявления ее катастрофических форм в нижней половине склона.

Схематический облик длинного склона с высотно-ярусным (амфитеатровым) размещением полей представлен на рис. 8. За основу взята классическая классификация земельно-эрозионного фондирования эрозионного рельефа, разработанная А. С. Козменко [26]. Эта классификация разрабатывалась им для лесостепных регионов с преимущественно короткими склонами (Орловская, Тульская, Липецкая области). Для них выделил 2 высотных яруса: верхний, приводораздельный (включает верхние пологие склоны) и нижний, присетевой (более крутые склоны, примыкающие к сухоходольной гидрографической сети). Для длинных склонов (1000-1500 м и более), нами предложено ввести (между этими двумя) дополнительный – «средний высотный склоново-высотный ярус полей» с подразделением его на два подъяруса – средние и нижние пахотные склоны круизной от  $1,5^\circ$  до  $3,0^\circ$  (далее идут присетевые земли с крутизной склонов выше  $3,0^\circ$ ). Нижний высотный склоново-катенный ярус включает в себя земли трех земельных фондов (по А. С. Козменко) – присетевые крутосклоны, сухоходольную и речную гидрографическую сети. Все эти земли на длинном склоне разделены на несколько высотно-ярусных полей, занятых различными агрофонами (сельхозкультурами, угодьями, лесными насаждениями); вместе они образуют катенно-склоновый агроландшафт.

На катенном высотно-ярусном агроландшафте (на каждом поле и на всем склоне) формируется консолидированный или интегральный катенный поверхностный сток, обладающий потенциальной и кинетической энергией и несущий в себе потенциальную и реальную



Рис. 8. Схематический профиль эрозионного длинного склона с выделением 7 земельно-эрозионных фондов (по А. С. Козменко) с их базисами эрозии (Нб), обеспечивающих для каждого фонда потенциальную энергетическую опасность. Представлено высотнo-ярусное размещение полей и сельхозугодий (3 яруса). Профиль длинного склона с разными агроценозами и сельхозугодьями формирует агроландшафтную склоновую катену (агрокатена) и консолидированный (интегральный) катенный сток:

Нбпв – высота базиса эрозии пахотных земель приводораздельного фонда; Нбс1 – высота базиса эрозии пахотных земель верхнего склона; Нбс2 – высота базиса эрозии пахотных земель среднего склона; Нбс3 – высота базиса эрозии пахотных земель нижнего склона; Нбпс – высота базиса эрозии земель присетевого фонда; Нбсс – высота базиса эрозии земель суходольной гидрографической сети; Нбурс – высота базиса эрозии земель речной гидрографической сети; S – поверхностный сток с земель (агрофондов и угодий соответствующего земельного фонда)

эрозионную опасность. Каждое вышележащее по склону поле, с конкретным агрофоном и угодьем, вносит свой вклад в формирование консолидированного (интегрального) агрокатенного поверхностного стока путем его суммирования; вычисления проводятся по формуле (1). Если по нижним границам полей созданы рубежи перехвата и по-



глощения поверхностного стока (в виде стокорегулирующих лесных полос, простых гидротехнических устройств), сток частично поглощается и в меньшем объеме поступает на нижележащее поле. Когда таких рубежей нет, сток, поступивший сверху, создает «дополнительную ударную стоковую нагрузку» на нижнее, по линии склона, поле и существенно повышает ударную стоково-энергетическую и стоково-эрозионную опасность (угрозу). Вычисления потенциальной стоково-энергетической опасности каждого поля от собственного стока проводятся по формулам (2), (4) и (5). На длинных склонах, при амфитеатровом, высотном-ярусном размещении полей, потенциальная стоково-энергетическая и стоково-эрозионная опасность существенно возрастает за счет поступления транзитного поверхностного стока с выше расположенных полей, особенно при отсутствии стоконехватывающих рубежей по нижним границам полей. В табл. 4 представлены особенности пространственно-упорядоченного формирования и алгоритмов расчета катенно-ярусной потенциальной стоково-энергетической и эрозионной опасности для каждого яруса (по рис. 8) и для всей катены в целом.

Таблица 4

**Пространственно-упорядоченное формирование катенно-ярусной потенциальной стоково-энергетической и эрозионной опасности (каждого яруса и для всей катены)**

Пространственно-высотные земельно-эрозионные ярусы катены	Собственная потенциальная СЭО яруса	Фактическая СЭО катенного яруса с учетом поступления транзитного стока сверху
Приводораздельные ПВ	$R_{пв} = S_{пв} \cdot g \cdot H_{Бпв}$	$R_{фпв} = R_{пв}$
Склоны верхние С1	$R_{с1} = S_{с1} \cdot g \cdot H_{Бс1}$	$R_{фс1} = R_{с1} + k \cdot R_{фпв}$
Склоны средние С2	$R_{с2} = S_{с2} \cdot g \cdot H_{Бс2}$	$R_{фс2} = R_{с2} + k \cdot R_{фс1}$
Склоны нижние С3	$R_{с3} = S_{с3} \cdot g \cdot H_{Бс3}$	$R_{фс3} = R_{с3} + k \cdot R_{фс2}$
Присетевые земли ПС	$R_{пс} = S_{пс} \cdot g \cdot H_{Бпс}$	$R_{фпс} = R_{пс} + k \cdot R_{фс3}$
Берега-крутосклоны ГГС	$R_{ггс} = S_{ггс} \cdot g \cdot H_{Бггс}$	$R_{фггс} = R_{ггс} + k \cdot R_{фпс}$
Вся катена	$R_{кт} = S_{ф} \cdot g \cdot H_{Б}$	$R_{фк} = k \cdot R_{фггс}$

Такие предварительные оценочные расчеты потенциальной стоково-энергетической и стоково-эрозионной опасности должно иметь каждое поле на длинных склонах. Расчет ведется для каждого пространственно-высотного земельно-эрозионного яруса катены. Вычисление ведется через усредненный средневзвешенный поверхностный

сток каждого яруса и высоту базиса эрозии (Н) данного высотного яруса (выявляется собственная потенциальная стоково-эрозионная опасность, а для каждого нижележащего по склону яруса – с прибавлением поступающего с вышележащих ярусных полей транзитного поверхностного стока (с вводом корректирующих коэффициентов эрозионной интенсивности возросшего стока). Модельные расчеты для разных сочетаний агрофонов и угодий по длине склоновой катены были произведены и представлены для обсуждения.

Исходя из исходных базовых материалов и построенного условного ряда стоково-эрозионной напряженности формирования стоково-эрозионной напряженности (см. табл. 4, табл. 5) в табл. 5 приведены сравнительные модельные матрицы различных вариантов сочетаний агрофонов и угодий сверху вниз по склоновой катене с общей оценкой эрозионной опасности для почв нижнего яруса.

Таблица 5

**Сравнительные матрицы вариантов сочетаний агрофонов (сверху вниз по склоновой катене) с оценкой эрозионной опасности для почв нижнего яруса**

Высотные ярусы полей на склоне и агрофоны склон катены	Матрицы вариантов сочетаний агрофонов сверху вниз на склоне			
	1	2	3	4
Ярус 1 – приводораздельные земли	Многолетние культуры	Озимые	Озимые	Зябрь
Ярус 2 – верхнесклоновые и среднесклоновые земли	Озимые	Озимые	Зябрь	Озимые
Ярус 3 – среднесклоновые земли	Зябрь	Зябрь	Зябрь	Многолетние культуры
Присетевые пастбищные земли – часть распахана (нижнесклоновые)	Зябрь	Зябрь	Озимые, многолетние травы	Постоянное залужение
Крутые берега гидрографической сети	Естественный травостой с деградирующей дерниной	Изреженный естественный травостой с дерниной	Естественный травостой с нормальной дерниной	Плотный естественный дернинный травостой
Оценка эрозионной опасности для почв нижних ярусов катены (по Б. В. Виноградову [10])	Бедствие, катастрофа	Кризис	Риск	Норма (начало риска)

Приведенные 4 варианта различных сочетаний агрофонов и угодий довольно часто встречаются в реальной практике сельскохозяйственного производства в регионах, где распространены земли с самоорганизованным эрозионным рельефом с длинными склонами. Если их оценивать с позиций противоэрозионной защиты, то к категории наиболее благополучных следует отнести вариант 4, в котором не создается реальная угроза сильного эрозионного разрушения почв среднего и нижнего ярусов (нет разрыхленных и оголенных от растительного покрова земель); по оценочным критериям Б. В. Виноградова [10], его можно принять как норму или начала риска. Вариант 3, когда на приводораздельных землях размещают стокообразующие агрофоны (озимые, стерня и др.), а на верхних и средних склонах распаханная земля – сразу возникает реальная угроза их размыва; такое размещение оценивается как риск. Варианты 1 и 2, когда приводораздельные и верхние склоновые земли, в значительной части, заняты фонами и угодьями заведомо высокостокообразующими, а средние и нижние части склоновой катены распаханная – это недопустимое сочетание: его надо оценивать, как кризис, бедствие, катастрофа. При таких сочетаниях агрофонов и угодий эрозия почв на средних и нижних распаханная частях склоновой катены может достигать катастрофических форм.

Трагедия заключается в том, что она создается самим человеком по незнанию и в силу сложившихся обстоятельств; приведенные результаты исследований помогут не допускать таких последствий.

### **Эрозия с позиций современного естествознания и сложных открытых самоорганизующихся систем**

До недавнего времени почвенная эрозия рассматривалась все-таки достаточно упрощенно, как рядовое, обыденное и побочное явление неправильных обработок почвы, приводящее к эрозионному разрушению почв и земли. В настоящее время эрозия (как категория естествознания) начинает рассматриваться с позиций современного видения единой целостной картины мира и новейших концепций естествознания, иерархичности, сложности, самоорганизации и нелинейности взаимодействующих открытых систем, их жизни и эволюционного развития. И это открывает новые большие возможности получения новых знаний и ценной информации. С этих позиций явление

«эрозия» следует отнести к числу фундаментальных, всеобщих категорий природы. Исходя из этого, понятие «эрозия» участвует во всех процессах жизни и эволюции открытых самоорганизующихся нелинейных систем, их рождения, жизни (структурно-функциональное становление, развитие, совершенствование, гибель), связано с процессами их усложнения (организации) и упрощения (хаотизации, распада, эрозии) по общим законам самоорганизации, открытых в 70-80-ые годы XX века, положенным в основу методологической междисциплинарной метанауки – синергетики, разработанной лауреатом Нобелевской премии И. Р. Пригожиным, Г. Хакеном, С. П. Курдюмовым, Н. Н. Моисеевым, С. П. Капицей и другие].

С позиций новых, более глубоких, фундаментальных представлений об эрозии, как всеобщего явления природы (фазы хаотизации открытой системы) следует рассматривать и эрозию в агроландшафтосфере, в аграрном природопользовании, в самоорганизации эрозионно-гидрологических процессов, в методологических подходах к разработкам противоэрозионно-экологических катенно-бассейновых высокопродуктивных и устойчивых агроэколандшафтов.

На начальных, переходных этапах нового подхода и понимания эрозии, почвенных эрозионно-гидрологических процессов, разрушительных форм антропогенной эрозии (вплоть до катастрофических), целесообразно иметь четкое и углубленное представление о таких фундаментальных явлениях и процессах, как эрозионно-опасные земли, стоково-энергетическая и эрозионная опасность и ее риски, риски формирования катастрофических форм антропогенной эрозии, пути и методы ее предотвращения и необходимости применения дополнительных кластеров противоэрозионных мелиораций. Эти представления базируются на изложенных выше наших исходных многолетних экспериментальных материалах и методах исследования, позволивших сформировать «ряд стоково-эрозионной напряженности (активности)» и необходимости его учета на высотных ярусах склоновой катены (необходимость соблюдения порядка целесообразного расположения агрофонов и угодий в высотно-ярусных полях склоновой катены, в соответствии с их стоково-эрозионными показателями; несоблюдение такого порядка однонаправленно приводит к усилению антропогенной эрозии, вплоть до катастрофических ее форм).

Разные виды водной эрозии связаны с движущейся водой – это выпадающие на землю жидкие атмосферные осадки (ливни, обильные

дожди и весенний талый поверхностный сток или непитавшаяся талая вода) и стекающие по склоновым землям струи и потоки – главные факторы водной эрозии, разрушительных эрозионно-гидрологических процессов. В проведенном исследовании внимание обращено на такие актуальные понятия эрозиоведения, противоэрозионных мелиораций и аграрного природопользования, как эрозионно-опасные и эрозионно-безопасные земли, потенциальная стоково-энергетическая и эрозионная опасность, на понятие «ряд стоково-эрозионной напряженности агрофонов и угодий». В качестве основных эрозионных форм самоорганизованного рельефа взяты два ключевых элемента – склоновая catena – любой склон данной территории от водораздела и до водотока суходольной или речной сети, вместе с разнообразными биокосными естественными и рукотворными (аграрными) экосистемами, образующими на всей catene (от водораздела до тальвега или водотока) сложный рукотворно-естественный катенный агроэколандшафт. Второй важный элемент эрозионного рельефа – целостная эволюционно самоорганизованная иерархия водосборных бассейнов (доложбинный, ложбинный, лощинный, суходольный, речные) с сформированными на них бассейновыми агроэколандшафтами.

### **Самоорганизация эрозионного рельефа и его самозащита биокосными ценозно-ландшафтными экосистемами**

В давнем геологическом прошлом, когда еще не было живой материи, природа, в процессе своей длительной эволюционной эрозионной самоорганизации, сформировала эрозионный равнинно-пересеченный 4D-мерный фрактальный и пространственно-иерархически упорядоченный рельеф, сложенный из диспергированного минерального (косного) материала (грунта – песка, супесей, суглинков, глин). Но сложенный из такого измельченного и несвязанного минерального материала, он оказался неустойчивым и подвергался быстрому разрушению движущейся водой и ветром. Но в природе действуют фундаментальные законы сохранения, замедляющие энергозатратные (с избыточными затратами процессами выделения механической и тепловой энергии). Для эффективной защиты от ускоренного разрушения возникшего рыхлого и неустойчивого рельефа, природа сделала гениальное изобретение, создав самоорганизующуюся, самовосстанавливающуюся, самовоспроизводящуюся и самозащищающуюся живую материю. В един-

стве с минеральным субстратом, живая материя создала сложные саморазвивающиеся адаптирующиеся и эволюционирующие к изменяющимся условиям среды и самих сложных ландшафтных биокосных экосистем элементарные биогеоценозы (по определению В. Н. Сукачева) или элементарные экосистемы (экосистемы, биогеоценозы, биогеоландшафты). За многие миллионы лет адаптации, саморазвития и самосовершенствования, возникли устойчивые к разрушительным колебаниям среды естественные зонально-локальные биогеоценозы и биогеоландшафты (биокосные сложные экосистемы-аттракторы, наиболее приспособленные к таким колебаниям). Их естественный (зонально-географический) древесно-кустарниковый, травяной покров и дернина надежно защищали почву степей и лесостепей от эрозии.

На определенном эволюционном этапе жизни биосферы появился человек и стал все активнее вмешиваться в жизнь естественных ландшафтных систем. Появление здесь человека, с его природопользовательской деятельностью, направленной, прежде всего, на обеспечение своих интересов и потребностей, в получении нужной ему продукции (пищи, одежды, жилья, топлива, корма для животных и др.), со временем и по мере расширения его вмешательства в жизнь дикой природы, пошло в разрез с интересами природы. Выжигание степей и лесов, умеренная пастьба, все возрастающие площади пашни, коренным образом стали менять облик естественных лесов, лесостепи и степи, превращая их в агроценозы и агроландшафты, которые на протяжении значительной части года, остаются распаханными, разрыхленными, оголенными от растительного покрова. А такая почва является незащищенной, легко подвержена разрушению и иссушению под воздействием Солнца, движущейся воды и ветра, других природных факторов. Эрозии подвержены практически все обрабатываемые земли. Но в эрозиоведческой литературе еще встречается разделение земель на эрозионно-опасные и эрозионно-безопасные. И такого взгляда на разделение земель придерживается довольно много ученых, проектировщиков и практиков земледелия. Больше того, понятие «эрозионно-безопасные земли» укоренилось среди работников сельского хозяйства, вошло во многие зональные и региональные рекомендации по борьбе с эрозией почв, нашло широкое применение при составлении проектов противоэрозионных мероприятий в агрохозяйствах и при составлении разных Генеральных схем и планов ландшафтообустройства и противоэрозионных мероприятий. Как правило, к ним относили очень ровные, с малым

уклоном земли. Выделение эрозионно-безопасных земель позволяет осуществлять на них приемы земледелия, не предусматривающие почвозащиту, не соблюдать на них принципы эрозионной безопасности.

Чем больше и интенсивнее выпадает атмосферных осадков на данный участок суши, чем больше и интенсивнее на нем формируется и движутся воды поверхностного стока; чем выше топографическая его высота, глубже местные базисы эрозии, сильнее эрозионная расчлененность рельефа, короче и круче склоны, тем больше потенциальная и кинетическая энергия воды на его поверхности, тем выше потенциальная и реальная (кинетическая) эрозионная опасность воды и земель [1, 11, 20, 25, 31, 40, 43, 50, 54].

Практически все земли суши потенциально эрозионно-опасны, но степень опасности весьма изменчива – от очень высокой до очень низкой. Поэтому абсолютно эрозионно-безопасных земель практически нет, а есть земли с очень низкой или просто низкой эрозионной опасностью, где уровень протекания эрозии характеризуется как «естественный эрозионный процесс, по Д. Л. Арманду» [3], или близок к нему. Это достигается за счет надежной защиты почв зональным растительным покровом или созданной и используемой системой мер (стратегией) эрозионно-безопасного аграрного природопользования.

Это важное положение эрозиоведения и противоэрозионных мелиораций подтверждают модельные проработки и расчеты величин стоково-ударных нагрузок на 1 п.м. нижней границы поля и комплексного индекса эрозионной опасности, представленные на рис. 8 и 9 (см. табл. 5), табл. 6 и 7.

На рис. 9 представлена схема 5 модельных вариантов различных сочетаний размещения агрофонов и угодий на склоновой катене. Проведена целенаправленная подборка (от 1-го к 5-му варианту) от наиболее эрозионно-опасных к менее эрозионно-опасным (на схеме показаны все необходимые обозначения).

На стадии предпроектных проработок по созданию проектов противоэрозионного защитно-мелиоративного обустройства конкретного землепользования, по крупномасштабной карте производится расчет и оценка для каждого участка потенциальной и реальной энергетической и стоково-эрозионной опасности для всех высотных ярусов склоновой катены (нарастающим итогом вниз по склону вплоть до водотока-тальвега, что будет продемонстрировано ниже). При этом даже самый невысокий плоскоравнинный рельеф, неопасный для та-

лого стока, может быть высокоопасным для катастрофической ударно-кавитационной ливневой эрозии.

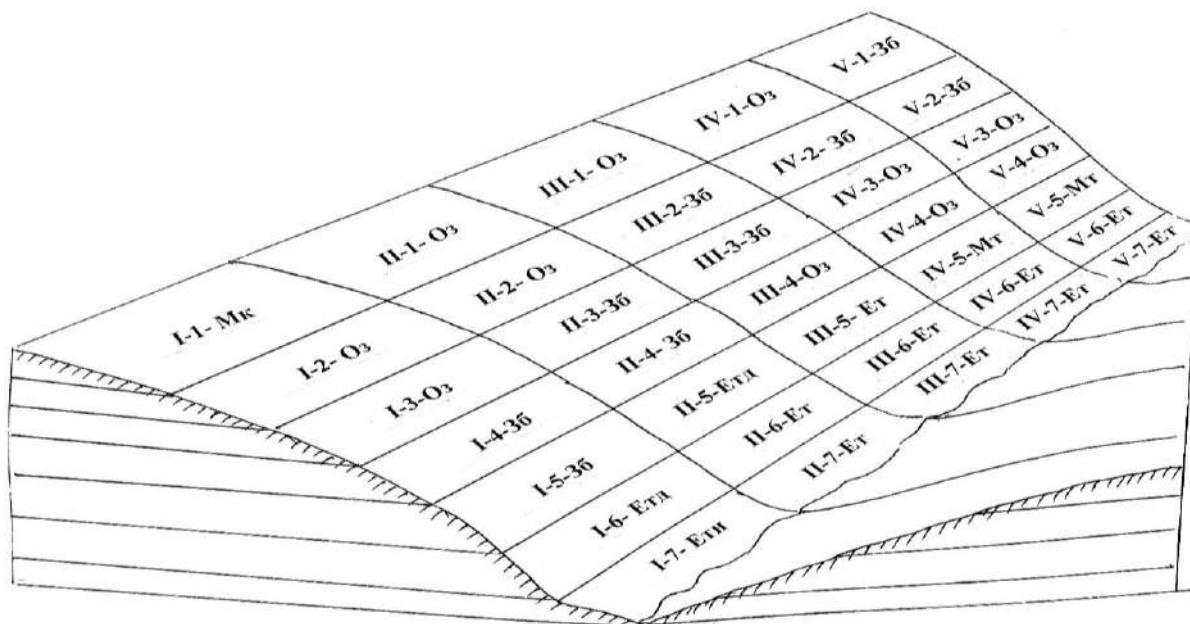


Рис. 9. Схема матричных вариантов различных сочетаний агрофонов и сельхозугодий на склоновой катене (длинный склон с разновысотным размещением полей в несколько ярусов). Возникают неблагоприятные сочетания агрофонов и угодий, которые могут усиливать антропогенную эрозию, вплоть до катастрофических форм. Условные обозначения на схеме: I, II, III, IV, V – 5 модельных вариантов различных сочетаний агрофонов и сельхозугодий по длине склоновых катен от водораздела и до тальвега суходола или реки; принятые агрофоны и сельхозугодья: 36 – зябь, Уз – озимые, Mk – многолетние культуры, Mт – многолетние травы, Етд – естественный травостой, деградированный (ослабленная, поврежденная дернина), Етн – естественный травостой нормальный, Ет – естественный травостой хорошо развитый

Его соблюдение крайне необходимо при землеустройстве и в повседневной практике – оно позволяет исключить катастрофические формы антропогенной эрозии. Специально поставленные наблюдения на склоновых полях показали, что нарушение этого принципа на глинистых и тяжелосуглинистых обыкновенных черноземах Самарского Заволжья может приводить к катастрофическому смыву распаханной почвы, достигающему 75-100 м<sup>3</sup>/га. Соблюдение его позволяет полностью исключить из практики такие катастрофические разрушения па-



Таблица 6

Матрицы модельных вариантов сочетаний агроценозов и угодий на склоновой катене, их ярусное размещение, не предусматривающее эрозийной безопасности почв

Параметры склоновой катены	Варианты сочетаний агрофонов на катене															
	1			2			3			4			5			
	А	Д <sub>к</sub>	СЭО	А	Д <sub>к</sub>	СЭО	А	Д <sub>к</sub>	СЭО	А	Д <sub>к</sub>	СЭО	А	Д <sub>к</sub>	СЭО	
условная ширина поля, км	3(15)45	4,5	3(15)45	4,5	3(15)45	4,5	3(15)45	4,5	3(15)45	4,5	3(15)45	4,5	3(15)45	4,5	3(15)45	
нараст. итогом, км	0,3	0,3	0,6	0,3	0,3	0,6	0,3	0,3	0,6	0,3	0,3	0,6	0,3	0,3	0,6	
сокр. обозн.	ПВ	С-1	С-2	С-3	ПС											
	3(15)90	9,0	О <sub>3</sub> (25)120	12,0	МТ <sub>1</sub> (90)150	15,0	МТ <sub>2</sub> (50)300	30,0	МТ <sub>3</sub> (50)450	45,0	С <sub>1</sub> (35)225	22,5	С <sub>2</sub> (35)330	33,0	С <sub>3</sub> (25)525	52,5
	3(15)135	13,5	3(15)165	16,5	3(15)345	34,5	3(15)425	42,0	3(15)465	46,5	3(15)375	37,5	3(15)570	57,0		
	3(15)180	18,0	3(15)210	21,0	3(15)255	25,5										
	3(15)225	22,5														

Примечание: Принятые условные обозначения: А – индекс агрофона, угодья (З – зябь; О<sub>3</sub> – озимые; С<sub>1</sub> – стерня; МТ – многолетние ряды травы соответствующего года пользования и средняя величина слоя стока (мм); К – поверхностный сток катенный, формирующийся до нижней границы высотного яруса с учетом среднего стока с угодья, длины линии стока и вышележащих ярусов; Д<sub>к</sub> – формирующаяся удельная стоковая катенно-ярусная (суммирующаяся) нагрузка на 1 п.м. нижней границы яруса м<sup>3</sup>/м (допустимая, опасная, катастрофическая); СЭО – комплексный индекс стоково-эрозийной опасности, зависящий от стоковой нагрузки и эрозийной неустойчивости агрофона или угодья. Вычисляется по формуле (5), в последующем, по мере углубления исследований, дополняется специальным индексом, связывающим ударную стоковую нагрузку с противоэрозийной устойчивостью почв в разных агрофонах и угодьях.

Таблица 7

**Матрица вариантов размещения агрофонов и агроценозов по земельно-эрозионным высотным ярусам склоновой катены (без дополнительных мер противоэрозионной защиты)**

Пространственно-высотные ярусы катены	Вариаты сочетаний				
	1	2	3	4	5
<i>Эрозионно-опасные сочетания агроценозов на склоновой катене (в катенном консолидированном агроландшафте)</i>					
Приводораздельный	Мн. травы	Мн. травы	Озимые	Стерня	Стерня
Верхний склон	Мн. травы	Стерня	Стерня	Стерня	Озимые
Средний склон	Озимые	Озимые	Озимые	Зябрь	Зябрь
Нижний склон	Зябрь	Зябрь	Зябрь	Зябрь	Зябрь
Присетевой склон (подножье)	Зябрь	Зябрь	Зябрь	Зябрь	Зябрь
<i>Эрозионно-безопасные сочетания агроценозов на склоновой катене (в катенном консолидированном агроландшафте)</i>					
Приводораздельный	Зябрь	Зябрь	Зябрь	Зябрь	Зябрь
Верхний склон	Зябрь	Зябрь	Зябрь	Зябрь	Зябрь
Средний склон	Озимые	Озимые	Озимые	Зябрь	Зябрь
Нижний склон	Мн. травы	Стерня	Стерня	Стерня	Озимые
Присетевой крутосклон (подножье склона у водотока)	Мн. травы (выгон)	Мн. травы (выгон)	Озимые (выгон)	Озимые (выгон)	Стерня (выгон)

хотных земель, потерю их плодородия. В свое время на необходимость исключения катастрофической антропогенной эрозии указывали А. С. Козменко [24], С. И. Сильвестров [54], Г. П. Сурмач [58], М. Н. Заславский [17], К. Л. Холупяк и другие. К сожалению, вопрос о необходимости снижения ударной стоково-эрозионной нагрузки и опасности, практически никакими обязательными требованиями и нормативами документами не регламентируется и не устанавливается.

Севообороты такой безопасности автоматически не обеспечивают, а «слепое чередование» полей под разными культурами приводит к тому, что повсеместно стоково-эрозионная нагрузка на полях, расположенных на средних и нижних склонах, как правило, превышает предельно допустимые величины в средние и многоводные по стоку годы.

Другой, часто встречающийся вариант аграрного освоения длинных пахотных склонов – его деление на несколько ярусов полей (3-6 ярусов, см. рис. 8, 9), без стокопоглощающих рубежей на границах деления (ярусных полей) и с произвольно-случайным раз-

мещением агрофонов и угодий, без учета их стоково-эрозионной опасности (из-за незнания), следствием чего при их определенном сочетании по длине склоновой катены (сверху вниз) может быть искусственно создана катастрофическая эрозия на средних и нижних частях склоновой агрокатены.

Эрозионная ситуация, в зависимости от местоположения агрофонов на склоновой катене, может быть оценена как бедствие (катастрофа), кризис, риск и норма [по Б. В. Виноградову [10], что наглядно видно из таблицы 5 (см. ранее) и по данным матриц разных вариантов размещения агрофонов и угодий (см. табл. 5-7).

Из представленных в таблицах четырех примерных сочетаний агрофонов и угодий наиболее эрозионно-опасными сочетаниями являются варианты 2 и 1 (по стоково-ударной нагрузке на поля ярусов 4 и 5). Но из таблицы видно, что даже при самом благоприятном размещении агрофонов на склоне, кластер одних агротехнических приемов никак не решает проблемы перехвата и поглощения стока (неполное управление стоково-эрозионным процессом). Стоит вопрос создания на границах разделения ярусов (полей) – рубежей перехвата и поглощения стока – элементов лесомелиоративного и гидротехнического кластера – стокопоглотительных (стокорегулирующих) лесных полос с их гидротехническим усилением и осушительно-увлажнительным дренажом, о чем подробно будет сообщено в специальном исследовании.

Таблица дает также наглядное представление о двух новых вводимых нами понятиях – это «консолидированный (общий или суммарный, кооперативный, интегральный) катенный сток» с его скрытой качественной составляющей – эрозионной опасности и «ряд стоково-эрозионной напряженности агрофонов и угодий» – оценка каждого из них по величине формирующегося на нем стока и противоэрозионной стойкости.

В табл. 5 представлена матрица модельных вариантов сочетания нескольких агрофонов и угодий (зябь, стерня, озимые, многолетние травы) на 5-ти высотных ярусах склоновой катены длиной 1,5 км (длинный склон), разделенной на 5 равных по ширине лент-полей (300 м). В ней даны расчеты ярусного стока, его увеличения за счет поступления транзитного стока с вышерасположенных ярусов полей (нарастающим итогом) и величины формирующихся удельных стоковых нагрузок ( $D_k$ ) в  $m^3/п.м.$  на нижнюю границу поля. При средних величинах поверхност-

ного стока с разных агрофонов и угодий от 15 мм с зяби до 50 мм с утрамбованных многолетних трав и пастбищ, ударные стоковые нагрузки на нижние границы полей, находящихся в 300 м от водораздела и на расстоянии 1500 м близ гидрографической сети, сильно различаются – от 4,5 м<sup>3</sup>/м до 57,0 м<sup>3</sup>/м. Нагрузки свыше 15-20 м<sup>3</sup>/м приходящиеся на агрофоны с разрыхленной почвой (зять, озимые, стерня) являются запредельными; они вызывают усиленную агротехногенную эрозию (смыв почвы по водоразделам после прохождения стока достигает 20-30 м<sup>3</sup>/га и выше). На вспаханных полях, по стерне и озимых возникает эрозионно-опасная ситуация, относимая к категории кризиса и бедствия. При поступлении нарастающего катенного стока свыше 30-40 м<sup>3</sup>/га на зяблевых полях, расположенных в нижних склонах и распаханых паросетевых землях наблюдается катастрофическая антропогенная эрозия с величиной смыва 50-75 м<sup>3</sup>/га и выше. Образуются большие водородные, размывы и овраги.

Как видно из схемы рис. 8 и табл. 5 и 6, возможны самые различные сочетания агрофонов и угодий по высотным ярусам склоновой катены. Наиболее эрозионно-опасные ситуации возникают тогда, когда стокообразующие агрофоны и угодья размещаются вблизи водоразделов, а фоны с разрыхленной поверхностью почвы (зять), находятся в самых нижних частях склонов. В этих случаях возникает настоящая катастрофическая форма антропогенной эрозии, вызванная человеком из-за незнания сущности эрозионной безопасности. В дополнение к табл. 5, нами составлена специальная матрица (см. табл. 6), где сгруппированы варианты с эрозионно-опасным сочетанием агроценозов по высотным ярусам склоновой катены в едином консолидированном катенном агроландшафте, и отдельно приведены относительно варианты эрозионно-безопасного их сочетания и размещения. Эта таблица наглядно демонстрирует эффект соблюдения и несоблюдения «принципа эрозионно-безопасного размещения агрофонов и угодий по высотным ярусам (или по длине катены сверху вниз) склоновой катены».

Однако, как показали натурные наблюдения и расчеты, проведенные на модельных вариантах сочетаний агроценозов на склоновой катене (см. табл. 7), даже при благоприятном размещении агрофонов и угодий, стоковые нагрузки и индексы эрозионной опасности на средних и нижних участках превосходят предельно допустимые величины, особенно на зяби. Одной агротехникой не обойтись. Необходимы дополнительные эффективные и надежные методы поглощения и

противоэрозионной защиты. Многолетние отечественные исследования и производственный опыт дает такие методы – создание противоэрозионных агролесомелиоративных барьерно-рубежных (агролесных или лесоаграрных с системой ЗЛН), катенных агроценозов и агроландшафтов, которые будут рассмотрены в отдельной статье.

Из приведенных выше материалов видно, что варианты сочетаний агроценозов по ярусам склоновой катены можно условно распределить на две группы:

1. Заведомо эрозионно-опасные, когда формируются варианты, усиливающие стоковую нагрузку и эрозионную опасность вплоть до катастрофических форм (см. табл. 7).

2. Закономерно эрозионно-безопасные с расчетным (запланированным) предусмотренным размещением агроценозов, обеспечивающих снижение стоковой нагрузки и недопущением фонов с разрыхленным состоянием почвы в нижних частях склоновой катены.

В решении проблем противоэрозионной безопасности в аграрном природопользовании при новом природообустройстве сельскохозяйственных территорий, наряду с противоэрозионной организацией полей и севооборотов на склоновых катенах и иерархии суходольно-речных водосборов, планируются кластеры специальных и природоподобных [42] комплексных противоэрозионно-мелиоративных технологий и мероприятий, известных в виде противоэрозионных мелиораций – агротехнических, фито- и лесомелиоративных, гидротехнических и других [1, 9, 11, 15, 17, 24, 40, 41, 42, 56, 64].

В практическом противоэрозионном аграрном природопользовании надо стремиться сводить до минимума неблагоприятное размещение агрофонов и угодий по всем высотным ярусам склоновой катены, приводящим к высокой вероятности формирования катастрофической эрозионной опасности. Однако одними агротехническими приемами ослабить и перехватить поверхностный сток невозможно – необходимо использовать другие ландшафтные кластеры противоэрозионных мелиораций – лесомелиоративные, гидротехнические, мульчирующие и другие.

## **Выводы**

1. Все процессы аграрного природопользования необходимо рассматривать с позиций экологической и эрозионной безопасности, концепций современного естествознания, единой целостной картины мира, доминирования в нем сложных нелинейных систем с процессами самоорганизации и эволюционного саморазвития (адаптации и самосовершенствования к изменяющимся условиям внешней и внутренней среды), с поступлением и освоением потоков вещества, энергии и информации, с присутствием процессов усложнения (роста организации и упорядочения) и упрощения (распада, деградации, деструкции, эрозии). С этих позиций явление «эрозия» относится к числу фундаментальных, всеобщих категорий природы, символизирующих для любой природной системы риски и разной степени угрозы разрушения, распада, деградации, что необходимо проецировать на почвы, землю, агросистемы, катенно-бассейновые агроколандшафты.

2. Вся огромная территория степного пояса или степного субрегиона Российской Федерации (лесостепь, степь, сухая степь) и Евразии представлена равнинным эрозионным рельефом, самоорганизовавшимся преимущественно движущейся водой с участием многих других геоморфологических процессов в результате длительной (во времени) эволюции. Главные типичные элементы эрозионного самоорганизованного рельефа – его целостность и фрактальность с пространственно-упорядоченными главными структурными элементами – склоны-катены, линейные водотоки разных порядков и соответствующая им иерархия водосборных бассейнов.

3. Равнинный самоорганизованный рельеф степного пояса имеет трехмерное (3D-мерное) измерение, а его жизнь и эволюционное развитие во времени – четырехмерное (4D-мерное) измерение. Степень эрозионного расчленения рельефа определяется высотой базисов эрозии (общей и локальными), протяженностью линейных дренирующих водотоков (тальвегов) и склонов. Высота базиса эрозии формирует высотные земельно-эрозионные ярусы (земельно-эрозионные фонды (по А. С. Козменко) склоновой катены: наивысшие ярусы находятся вблизи водораздела (приводораздельные равнинные земли и верхней пологие части склона, низшие – в нижней части склона, близ тальвега-водотока. Эрозионно-самоорганизованные земли (эрозионные земельные фонды) классифицированы по А. С. Козменко – Г. П. Сур-

мачу – В. И. Панову), как приводораздельные, верхне-, средне-, и ниже-склоновые пахотные, крутосклоновые присетевые (суходольно-пастбищные), суходольно-гидрографические (псевдо-долинные) и речные гидрографические или долинно-пойменные. Обычно выделяют 3 высотных яруса полей на длинных (длиной 1000-1500 м и больше) склоновых катенах.

4. Исходя из формулы потенциальной энергии вод поверхностного стока, стекающего с поверхности земли, имеющей определенную топографическую высоту или базис эрозии, практически все земли являются эрозионно-опасными, но с разной величиной эрозионной опасности и вероятности ее проявления. Поэтому при аграрном природопользовании все земли необходимо принимать как эрозионно-опасные и предусматривать для них при природообустройстве соответствующие почвозащитные меры и технологии. В степном поясе европейской части России преобладают эрозионно-опасные земли разной степени опасности. Все они нуждаются в надежной и эффективной защите от агротехногенной разрушительной эрозии, с учетом имеющихся степеней рисков ее проявления, применением соответствующих почвозащитных систем аграрного природопользования.

5. Используемые в практике сельского хозяйства агрофоны и угодья образуют так называемый «ряд стоково-эрозионной напряженности». В нем каждый агрофон или сельхозугодье оцениваются комплексно, по двум показателям – по его стокообразующей способности и по противоэрозионной устойчивости. В направлении увеличения средних величин формирующегося на них весеннего поверхностного стока и противоэрозионной устойчивости, они располагаются в следующем порядке: глубокая (27-35 см) зябь – обычная (23-25 см) отвальная зябь – плоскорезная и безотвальная вспашка – озимые (слабо раскустившиеся, с редким травостоем) – стерня зерновых – стерня кукурузы и подсолнечника – озимые с густым хорошо развитым травостоем – многолетние злаковые травы – выпасаемое суходольное пастбище (с утрамбованным верхним слоем почвы).

6. Стокообразующая способность агрофонов и угодий на глинистых и тяжелосуглинистых обыкновенных черноземах в большой степени определяется величиной объемной массы (в г/см<sup>3</sup>) почв верхнего 0-30-см почвенного слоя (рыхлостью сложения, наличия крупных некапиллярных пор и полостей, противоэрозионная устойчивость – прочностью упаковки и сцепления почвенных частиц, защитным

действием развитого растительного покрова, скрепляюще-армирующим действием дернины.

Знание распределения агрофонов и угодий в ряду стоково-эрозионной напряженности очень важно для недопущения непреднамеренного возникновения сильных и катастрофических форм разрушительной антропогенной эрозии, когда на длинных склонах, на полях верхних ярусов, размещают стокообразующие агрофоны и угодья, а на нижних – распаханное и разрыхленное, с низкой противоэрозионной устойчивостью. Это особенно важно в тех случаях, когда на продольных (горизонтальных, контурных) границах высотно-ярусных полей нет рубежей перехвата стока (нет стокорегулирующих лесных полос с гидроусилением и водоотводящим осушительно-увлажнительным дренажом).

7. По всей длине склоновой катены, особенно на длинных равнинных склонах (1000-2000 м), размещается несколько полей с разной высотной ярусностью, занятых разыми агрофонами и угодьями, на которых формируется различный по величине сток и смыв. Обычно, на практике, поля, расположенные на разной высоте, объединяют в 3 высотных яруса: верхний, средний и нижний. Катастрофические формы антропогенной разрушительной эрозии могут сформироваться в нижних частях склона, когда на одной линии стока (склоновой катены), на верхних и средних ярусах расположены стокообразующие фоны и агроценозы, а в нижнем ярусе – распаханное, разрыхленное и стерневые агрофоны. Об этом надо знать и не допускать такого на практике.

8. Целесообразно сформировать представление о консолидированном (интегральном) катенном стоке и смыве, о величинах стоковых ударных нагрузках на каждый погонный метр нижних границ выделенных высотно-ярусных полей. В работе дано первое представление о нем, даны варианты различных сочетаний и возникающих ударных нагрузках. Эти исследования надо расширять и получать численные величины нагрузок (формировать банк данных), разработать специальные индексы допустимых и катастрофических стоково-эрозионных нагрузок, в том числе, и для ложбинистых («гофрированных») нижних склонов (где нагрузки намного больше).

9. Важными и необходимыми мерами противоэрозионной и мелиорирующей защиты почв, управления и регулирования стока, смыва и гидрологического режима полей, являются противоэрозионные лесогидромелиоративные кластеры – стокорегулирующие лесные полосы,



их гидротехническое усиление для повышения водопоглощения, осушительно-увлажнительный дренаж, мульчирующие приемы сбережения влаги, различные виды мелиораций. Это позволит снизить величины ударных нагрузок поверхностного стока на почвы и рационально-продуктивно использовать дефицитную в этом регионе влагу.

10. В настоящее время вся практическая сельскохозяйственная деятельность осуществляется на сельскохозяйственных землях, где внутрихозяйственное и межхозяйственное землеустройство (по современной терминологии – природообустройство) проводилось очень давно (30-40 лет назад) по землеустроительным инструкциям советского периода. За эти годы произошли большие перемены во многом. Сложившаяся ситуация требует скорейших неотложных мер по проведению всероссийского природообустройства сельскохозяйственных земель, прежде всего, степного пояса на соблюдении главного условия (принципа, парадигмы, методологии) – обеспечения их всемерной безопасности – экологической, эрозионной, деградационной, гидрологической, радиационной и других.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Агролесомелиоративное адаптивно-ландшафтное обустройство водосборов / И. С. Кочетов, А. Т. Барабанов, Е. А. Гаршинев [и др.]. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1999. – 84 с.
2. Арманд, Д. Л. Самоорганизация и саморегулирование географических систем / Д. Л. Арманд. – М.: Наука, 1988. – 264 с.
3. Арманд, Д. Л. Наука о ландшафте (Основы теории и логико-математические методы) / Д. Л. Арманд. – М.: Мысль, 1975. – 288 с.
4. Асимптотическая стадия режимов с обострением и эффективная локализация тепла в задачах нелинейной теплопроводности / В. А. Галактионов, С. П. Курдюмов, А. П. Михайлов [и др.] // Дифференциальные уравнения. – 1980. – Т. 16, № 7. – С. 1196-1204.
5. Барабанов, А. Т. Мелиоративная роль стокорегулирующих лесополос комбинированной конструкции / А. Т. Барабанов, Р. Д. Балычев, В. И. Панов // Агролесомелиорация в 21 веке: состояние проблемы, перспективы. Фундаментальные и прикладные исследования: материалы Международ. науч.-практ. конф. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2015.
6. Барабанов, А. Т. Эрозионно-гидрологическая оценка взаимодействия природных и антропогенных факторов формирования поверхностного стока талых вод и адаптивно-ландшафтного земледелия / А. Т. Барабанов. – Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2017. – 188 с.
7. Баранцев, Р. Г. Синергетика в современном естествознании / Р. Г. Баранцев. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 144 с. (Синергетика: от прошлого к будущему).
8. Беркович, Л. М. Как прикладная математика помогла сделать открытие в физике / Л. М. Беркович // Вестник СамГУ – Естественнонаучная серия. – 2003. – Вып. 2. – С. 36-47.
9. Вернадский, В. И. Живое вещество / В. И. Вернадский. – М.: Наука, 1978. – 355 с.
10. Виноградов, Б. В. Основы ландшафтной экологии / Б. В. Виноградов. – М.: Геос, 1998. – 418 с.
11. Гаршинев Е. А. Противозерозионная лесомелиорация и эволюция эрозионно-гидрологического процесса / Е. А. Гаршинев: автореф. дис. ... д. с.-х. н. – Волгоград, 1995. – 47 с.
12. Гаршинев, Е. А. Эрозионно-гидрологический процесс и лесомелиорация. Теория и модели / Е. А. Гаршинев. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1999. – 196 с.
13. Гленсдорф П. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций / П. Гленсдорф, И. Пригожин. – М.: УРСС, 2003.
14. Добронравова, И. С. Синергетика как общенаучная исследова-

тельская программа / И. С. Добронравова // Синергетическая парадигма. Когнитивно-коммуникативные стратегии современного научного познания: монография. – М.: Прогресс – Традиция, 2004. – С.78- 87.

15. Докучаев В. В. Наши степи прежде и теперь / В. В. Докучаев. – М. – Л.: ОГИЗ – Сельхозгиз, 1936. – 117 с.

16. Дэвис, В. М. Геоморфологические очерки / В. М. Дэвис; пер. с англ. – М.: Изд-во ИЛ, 1962. – 455 с.

17. Заславский, М. Н. Эрозиоведение. Основы противоэрозионного земледелия / М. Н. Заславский. – М.: Высшая школа, 1987. – 375 с.

18. Исаченко, А. Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование / А. Г. Исаченко. – М.: Высшая школа, 1991.

19. Калесник, С. В. Общие географические закономерности Земли / С. В. Калесник. – М.: Мысль. 1970. – 283 с.

20. Калинин, М. И. Методические рекомендации по определению энергетической структуры поверхностного стока на склонах / М. И. Калинин. – М.: ВАСХНИЛ, 1987. – 34 с.

21. Князева, Е. Н. Антропный принцип в синергетике / Е. Н. Князева, С. П. Курдюмов // Вопросы философии. – 1997. – № 3. – С. 62-79.

22. Князева, Е. Н. Основания Синергетики. Режимы с обострением, самоорганизация, темпомиры / Е. Н. Князева, С. П. Курдюмов. – Санкт-Петербург: Изд-во Алетейя, 2002. – 412 с.

23. Князева, Е. Н. Синергетика об аналогиях живого в «неживой» природе / Е. Н. Князева, С. П. Курдюмов // Адрес в Интернет: [spkurdyumov.narod.ru/GizNeg.htm](http://spkurdyumov.narod.ru/GizNeg.htm)

24. Козменко, А. С. Борьба с эрозией почвы на сельскохозяйственных угодьях / А. С. Козменко. – М.: Изд-во сельскохозяйственной литературы, 1963. – 208 с.

25. Козменко, А. С. Геоморфологические основы борьбы с эрозией / А. С. Козменко // Труды Всесоюзного научно-исследовательского института агролесомелиорации (Итоги работ 1943-1944 годы. – М.: Гослестехиздат, 194. – С. 81-109.

26. Козменко, А. С. Основы противоэрозионной мелиорации. / А. С. Козменко. – М.: Государственное изд-во сельскохозяйственной литературы, 1954. – 424 с.

27. Кравцов, Ю. А. Земля как самоорганизующаяся климато-экологическая система / Ю. А. Кравцов // Соросовский Образовательный журнал. – 1995. – № 1. – С. 82-87.

28. Кулик К. Н. Оригинальная теория рельефообразования и основы противоэрозионной мелиорации А.С. Козменко / К. Н. Кулик, А. Т. Барбанов, В. И. Панов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2018. – № 3(51). – С. 1-8.

29. Курдюмов С. П. Синергетическое видение мира: режимы с обострением // С. П. Курдюмов, Е. Н. Князева // Самоорганизация и наука. – М., 1995.

30. Курдюмов, С. П. Режимы с обострением / С. П. Курдюмов // Эволюция идеи: сб. ст. – М.: Физматгиз, 2006. – 308 с.

31. Маккавеев, Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне / Н. И. Маккавеев. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 346 с.

32. Малинецкий, Г. Г. Научное творчество С. П. Курдюмова и теория режимов с обострением / Г. Г. Малинецкий // Режимы с обострением. Эволюция идеи: сб. ст. – М.: Физматгиз, 2006. – С. 285-301.

33. Малинецкий, Г. Г. Хаос, структуры, вычислительный эксперимент. Введение в нелинейную динамику / Г. Г. Малинецкий. – М.: УРСС, 2002.

34. Моисеев, Н. Н. Расставание с простотой / Н. Н. Моисеев. – М.: Аграф, 1998. – 472 с.

35. Моисеев, Н. Н. Современный рационализм / Н. Н. Моисеев. – М.: НГВП КОКС, 1995.

36. Мордкович, В. Г. Степные катены / В. Г. Мордкович, Н. Г. Шатохина, А. А. Титлянова. – Новосибирск: Наука, 1985. – 120 с.

37. Николаев, В. А. Ландшафтоведение / В. А. Николаев. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. – 94 с.

38. Никора, В. И. Речной поток как диссипативная система / В. И. Никора // Метеорология и гидрология. – 1981. – № 12. – С. 84.

39. От основ противоэрозионной мелиорации школы А. С. Козменко – Г. П. Сурмача к современным системам адаптивно-ландшафтного земледелия (история эрозиоведения во ВНИАЛМИ) / А. Т. Барабанов, В. И. Панов, А. В. Кулик [и др.] // Научно-агрономический журнал. – 2021. – № 3. – С. 6-19.

40. Панов, В. И. Агролесомелиоративное (ландшафтно-кластерное) управление гидрологическим режимом территорий, агроэкосистемами бассейновых ландшафтов и оздоровлением среды обитания человека в степном засушливом субрегионе / В. И. Панов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2017. – Т. 19, № 2(3). – С. 496-506.

41. Панов, В. И. Водный баланс и эрозия на черноземах степного Заволжья / В. И. Панов: автореф. дис. ... к. г. н. – М., 1975. – 31 с.

42. Панов, В. И. Гидрологические ресурсы противоэрозионного лесоаграрного ландшафта в степном поясе Евразии, созданного по природоподобной ландшафтной методологии / В. И. Панов // Современная экология: образование, наука, практика: Материалы Международ. науч.-практ. конф. (г. Воронеж, 4-6 окт. 2017 г.). – Воронеж: Изд-во «Научная книга», 2017. – Т. 1. – С. 311-320.

43. Панов, В. И. Древнеэрозионная и современная самоорганизация равнинного рельефа суши степного пояса Евразии / В. И. Панов, А. В. Кулик // Научно-агрономический журнал. – 2021. – № 3(114). – С. 20-31.

44. Панов, В. И. Ландшафтная кластерно-синергетическая методология противоэрозионного и влагосберегающего аграрного природопользования в степях России (гидролого-эрозионный аспект) / В. И. Панов, А. А. Скитяев // Таврический вестник аграрной науки. – 2017. – № 2(10). – С.145-160.

45. Панов, В. И. Синергетическая сущность эрозиоландшафтоведения (методологический аспект) / В. И. Панов // Агролесомелиорация: проблемы, пути решения, перспективы. материалы Международ. науч.-практ. конф. 24-27 сент. 2001 г. – Волгоград ВНИАЛМИ, 2001. – С. 184-185.

46. Панов, В. И. Синергетическое эрозиоландшафтоведение (парадигма, методология, концепция) в решении проблем эрозионно-безопасного аграрного природопользования и сберегающего земледелия / В. И. Панов // Эрозия почв: проблемы и пути повышения эффективности растениеводства: материалы Международ. науч.-практ. конф. – Ульяновск, 2009. – С. 69-73.

47. Панов, В. И. Синергетическое эрозиоландшафтоведение (теория и практика самоорганизации гидрологических процессов, рельефа и ландшафтов) / В. И. Панов // Защитное лесоразведение в Российской Федерации: материалы Международ. науч.-практ. конф., г. Волгоград, 17-19 окт. 2011 г. – Волгоград: «ВНИАЛМИ», 2011. – С. 231-240.

48. Пенк, В. Морфологический анализ / В. Пенк; пер. с нем. – М.: Географгиз, 1961.

49. Поверхностный сток и инфильтрация в почву талых вод на пашне в лесостепной и степной зонах восточно-европейской равнины / А. Т. Барбанов, С. В. Долгов, Н. И. Коронкевич [и др.] // Почвоведение. – 2018. – № . – С. 62-69.

50. Поздняков, А. В. Динамическое равновесие рельефообразования / А. В. Поздняков. – М.: Наука, 1988. – 207 с.

51. Пригожин И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой / И. Пригожин, И. Стенгерс; пер. с англ. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 312 с.

52. Режимы с обострением в задачах для квазилинейных параболических уравнений / А. А. Самарский, В. А. Галактионов, С. П. Курдюмов [и др.]. – М.: Наука, 1987. – 480 с.

53. Ростошинский, Е. Н. Проблема сохранения в философии и естествознании / Е. Н. Ростошинский. – Санкт-Петербург: Изд-во С.-Петербургского университета, 1999. – 176 с.

54. Сильвестров, С. И. Рельеф и земледелие. / С. И. Сильвестров. –

М.: Сельхозги, 1955. – 287 с.

55. Сурмач, Г. П. Пути борьбы с эрозией почв в СССР // / Г. П. Сурмач // Итоги работы ин-та, опытных станций и пунктов. – Волгоград, 1961. – Вып. 35. – Т. 1. – С. 45-66.

56. Сурмач, Г. П. Водорегулирующая и противоэрозионная роль лесных насаждений / Г. П. Сурмач. – М.: Лесн. пром-ть, 1971. – 111 с.

57. Сурмач, Г. П. Эрозия, поверхностный сток и его регулирование агрономическими методами и лесомелиоративными мероприятиями в лесостепных и степных районах европейской части РСФСР / Г. П. Сурмач: автореф. дис. д. с.-х. н. – М.: ТСХА, 1971. – 33 с.

58. Сурмач, Г. П. Водная эрозия и борьба с ней / Г. П. Сурмач. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 254 с.

59. Сурмач, Г. П. Рельефообразование, формирование лесостепи, современная эрозия и противоэрозионные мероприятия / Г. П. Сурмач. – Волгоград, 1992. – 175 с.

60. Хакен, Г. Синергетика / Г. Хакен. – М.: Мир, 1980. – 406 с.

61. Эбелинг, В. Образование структур при необратимых процессах. Введение в теорию диссипативных структур / В. Эбелинг. – М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. – 256 с.

62. Эрозия / Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 464 с.

63. Flanagan, D. C. USDA – Water Erosion Prediction Prodict; Hillslope profile and watershed model documentation [Text] / D. C. Flanagan, M. A. Nearing // NSERL Rep. – 1995. – Vol. 10.

64. Renard, K. G. Prediction soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) [Text] / K. G. Renard, G. R. Foster, G. A. Weesies [ et al.] // Agriculture Handbook U. S. Department of Agriculture. – Washington, 1993. – No. 703. – 404 p.

65. Tran, C. P. Land-use proximity as a basis for assessing stream water quality in New York State (USA) [Next] / C. P. Tran, R.W. Bode, A. J. Smith [ et al.] // Ecological Indication. – 2010. – Vol. 10, Is. 3. – P. 727-733.

## СОДЕРЖАНИЕ

Часть 1. Основы синергетического эрозиоведения, эволюционного эрозиоландшафтоведения как новая научно-методологическая основа построения устойчивого экологического аграрного природопользования.....	556
Часть 2. Эрозионно-гидрологические процессы с позиций синергетики как самоорганизующиеся процессы, протекающие в режимах с обострением.....	567
Часть 3. Фрактально-бассейновая типизация и пространственно-высотная упорядоченность самоорганизованного эрозионного рельефа равнинной суши (по классификации А. С. Козменко – Г. П. Сурмача – В. И. Панова.....	586
Часть 4. Консолидированный агрокатенный сток, потенциальная стоково-эрозионная опасность формирования катастрофической эрозии и эффективные методы ее предотвращения.....	603
Общие положения.....	603
Формирование условного ряда стоково-эрозионной напряженности агрофонов и угодий.....	610
Эрозия с позиций современного естествознания и сложных открытых самоорганизующихся систем.....	618
Самоорганизация эрозионного рельефа и его самозащита биокосными ценозно-ландшафтными экосистемами.....	620
Выводы.....	629

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ ТОМА

Барабанов А. Т. Агролесомелиорация в почвозащитном земледелии...	7
Барабанов А. Т. Эрозионно-гидрологическая оценка взаимодействия природных и антропогенных факторов формирования поверхностного стока талых вод и адаптивно-ландшафтное земледелие	166
Барабанов А. Т. Научные основы и методика прогнозирования поверхностного стока талых вод на водосборах бассейнов рек Волги и Дона.....	353
Барабанов А. Т., Кулик А. В., Гордиенко О. А. Научное обоснование выбора критериев и параметров для проектирования и оценки эффективности систем мероприятий по управлению эрозионно-гидрологическим процессом.....	424
Барабанов А. Т. Кулик А. В., Гордиенко О. А. Кисилева Т. И. Система мероприятий по управлению эрозионно-гидрологическим процессом.....	499
Петелько А. И., Новиков Н. Е. Влияние леса на водный режим почв...	547
Панов В. И. Развитие и совершенствование современного синергетического эрозиоведения, эволюционного природно-зонального эрозиоландшафтоведения и принципов организации устойчивого ландшафтно-экологического природопользования.....	554



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

Том четвертый

*Компьютерная верстка В. Г. Гирявенко  
Ответственный за выпуск В. Г. Гирявенко*

Подписано в печать 22.12.2023.

Формат 60×84 1/16

Объем 40,2 уч.-изд. л. Заказ 4.

Тираж 500 (первый завод 50).



### **БАРАБАНОВ АНАТОЛИЙ ТИМОФЕЕВИЧ**



Родился в 1938 г. в п. Шакин Кумылженского р-на Волгоградской обл., в 1960 г. окончил Сталинградский СХИ по специальности ученый агроном, в 1966 г. – аспирантуру ВНИАЛМИ, в 1992 г. защитил докторскую диссертацию. Внес значительный вклад в развитие противоэрозионной агролесомелиорации; открыл закон лимитирующих факторов стока; сформулировал ряд теоретических положений, углубляющих знания об эрозионно-гидрологическом процессе (ЭП); разработал методику высокоточного прогноза весеннего стока; выявил закономерности его формирования под влиянием стокорегулирующих лесополос на водосборах; дал оценку роли взаимодействия лесомелиоративных приемов с другими элементами почвозащитных систем земледелия; разработал новые способы защиты почв от эрозии.

### **ПАНОВ ВАЛЕРИЙ ИВАНОВИЧ**



Родился в 1939 г. в с. Панино Панинского р-на Воронежской обл., в 1962 г. окончил Воронежский ЛТИ по специальности инженер лесного хозяйства, в 1969 г. – аспирантуру ВНИАЛМИ, в 1975 г. защитил кандидатскую диссертацию. Внес большой вклад в совершенствование основ противоэрозионной мелиорации, созданных Козменко А.С. Разработал схему гидроэрозионной самоорганизации равнинного рельефа, создал научные основы современного синергетического эрозиоландшафтоведения, рассчитал оптимальные соотношения основных угодий бассейновых агроландшафтов. Опираясь на синергетическую парадигму, он вышел на принципы самоорганизации элементов равнинного эрозионного рельефа суши и классификации самоорганизованной сухоходльно-речной гидрографической сети.

### **ПЕТЕЛЬКО АНАТОЛИЙ ИВАНОВИЧ**



Родился в 1938 г. в г. Кременчуге Полтавской обл., в 1966 г. окончил Мичуринский плодовоовощной институт, в 1979 г. – аспирантуру ВНИАЛМИ, в 2012 г. защитил докторскую диссертацию. В развитие учения А.С. Козменко и Г.П. Сурмача об ЭП он исследовал закономерности формирования поверхностного стока талых вод и смыва почвы, оценил противоэрозионную эффективность отдельных приемов и их сочетаний, разработал основные параметры систем защитных лесных насаждений, уточнил принципы их пространственного размещения. Им установлено влияние стокорегулирующих лесополос на основные природные факторы ЭП в лесостепи, дана оценка роли противоэрозионного комплекса.