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 разработа-

ны 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 формирования 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 освобождаются от снега, поэтому на них усиливается смыв почвы из-за поступающей сверху воды.

В силу того обстоятельства, что рельеф территории является ве-

дущим 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 смытости. 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. Гаршиневым предложено выражать функцию формы склона посредством логистического уравнения. Таким образом, им найдено универсальное математическое выражение для описания выпукло-вогнутых склонов как результата проявления ЭГП. Гаршиневым Е. А. разработана теория и созданы математические модели эрозионно-аккумуля-

тивного 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]:

$$H = (H_{max} - H_{min})/(1 + \exp(-a + bL)) + H_{min}, \qquad (1)$$

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 антропо-

генную эволюцию ландшафтов и т. п.

В связи с тем, что закон, описывающий форму склона и эрозионно-аккумулятивный процесс, един, Е. А. Гаршиневым 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 лесонасаждения. 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 опытным 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. 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 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.

Анализ полученных данных показал, что средние величины сто-

ка 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.

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, % | | | | | | | $C_v$ | $C_s$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 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; $C_v$ – коэффициент вариации, $C_s$ – коэффициент асимметрии.*

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. Среднемноголетняя 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 паш-

ни. 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.

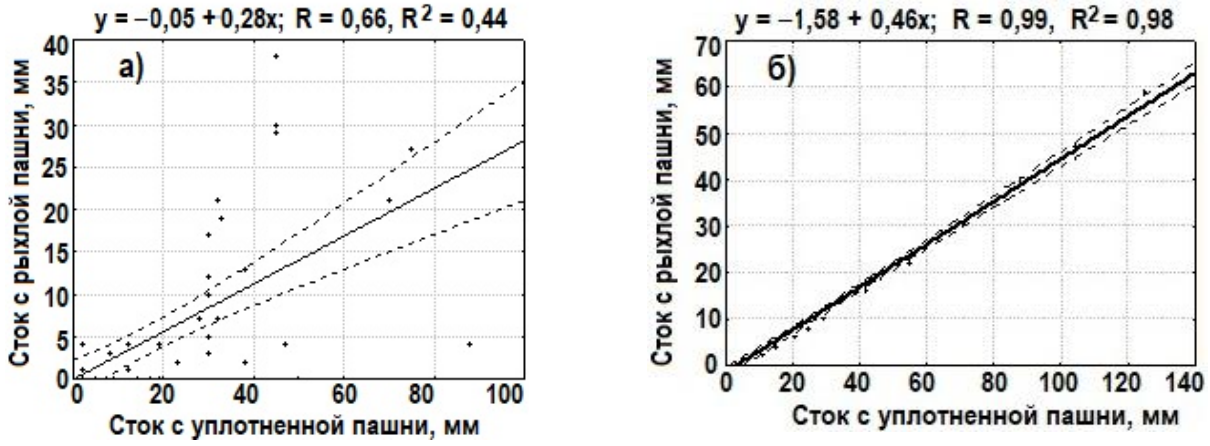


Рис. 1. Графики связи стока с рыхлой и уплотненной пашни, построенные по экспериментальным (а) данным и равнообеспеченным (б) показателям

Эти кривые аппроксимируются уравнением $y = a + вx$, 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, снегозапасы), 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 снегозапасов (т. е. больше снега – больше сток) нет.

Анализ наших данных показал, что на величину поверхностного стока существенно влияют только 3 природных фактора: снегозапасы, 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 светло-каштановые), видах угодий (пашня, луг, залежь) и пашни (зябь, озимые, многолетние травы и др.). Уравнения связи стока с природными факторами приведены в табл. 2. В зональном плане эта связь проявляется по-

Таблица 2

**Уравнения связи стока талых вод на рыхлой $У_р$ и уплотненной пашне $У_п$ с запасами воды в почве $W_п$ и снеге $W_с$, мм**

| Зона, область, почва | Рыхлая пашня | Уплотненная пашня |
|---|---|---|
| Лесостепь, Орловская, серая лесная | $У_р = -141+0{,}08Wn+0{,}38Wc$<br>$R_{УрWпWc} = 0{,}93$; $M_{ух} = 12{,}4$ | $У_п = -16{,}4-0{,}15W_п+0{,}34W_с$<br>$R_{УпWпWc} = 0{,}81$; $M_{ух} = 13{,}3$ |
| Лесостепь, Курская: | | |
| серая лесная | $У_р = -57+0{,}34W_п+0{,}26W_с$<br>$R_{УрWпWc} = 0{,}61$; $M_{ух} = 26{,}8$ | Нет данных |
| типичный чернозем | $У_р = -50+0{,}25W_п+0{,}25Wc$<br>$R_{УрWпWc} = 0{,}92$; $M_{ух} = 4{,}5$ | $У_п = -116+0{,}71W_п+0{,}41W_с$<br>$R_{УрWпWc} = 0{,}74$; $M_{ух} = 16{,}0$ |
| Степь, Воронежская, обыкновенный чернозем | $У_р = -40+0{,}19W_п+0.38W_с$<br>$R_{УрWпWc} = 0{,}54$; $M_{ух} = 21{,}5$ | $У_п = -12+0{,}06W_п+0{,}69W_с$<br>$R_{УрWпWc} = 0{,}91$; $M_{ух} = 6{,}8$ |
| Степь, Самарская, обыкновенный чернозем | $У_р = -53+0{,}51W_п+0{,}04W_с$<br>$R_{УрWпWc} = 0{,}48$; $M_{ух} = 8{,}4$ | $У_п = -24+0{,}17W_п+0{,}40W_с$<br>$R_{УрWпWc} = 0{,}92$; $M_{ух} = 7{,}0$ |
| Сухая степь, Волгоградская: | | |
| каштановая | $У_р = -27+0{,}38W_п+0{,}29W_с$<br>$R_{УрWпWc} = 0{,}96$; $M_{ух} = 7{,}1$ | $У_п = -4+0{,}19W_п+1{,}14W_с$<br>$R_{УрWпWc} = 0{,}92$; $M_{ух} = 9{,}2$ |
| светло-каштановая | $У_р = -5{,}2+0{,}04W_п+0{,}44W_с$<br>$R_{УрWпWc} = 0{,}64$; $M_{ух} = 6{,}3$ | $У_п = -21{,}9+0{,}26W_п+0{,}22W_с$<br>$R_{УрWпWc} = 0{,}84$; $M_{ух} = 13{,}1$ |

разному. На юге ЦРНЗ и севере Центрально-Черноземной области (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.

Расчет стока по этим уравнениям (см. табл. 2) дает довольно близкую сходимость расчетных данных с экспериментальными.

### 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 (1,5-2,0 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 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 (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**

<table>
<tr><th colspan="3">Уровень факторов</th><th rowspan="2">Характер формирования стока</th></tr>
<tr><th>глубина промерзания почвы, см</th><th>запасы воды, мм, в почве (слой 0-50 см) по зонам</th><th>снегозапасы, мм</th></tr>
<tr><td>Менее 50</td><td>Любой</td><td rowspan="2">Любой</td><td rowspan="3">Сток не формируется</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Более 50</td><td>Менее 70-120</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Более 70-120</td><td>Меньше объема микрорельефа</td></tr>
<tr><td>Больше объема микрорельефа</td><td>Сток формируется, величина его зависит от уровня запасов воды в снеге и почве</td></tr>
</table>

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 *У* (мм) рассчитывается по выражению

$$У = (\sum_{1}^{n} У_i \cdot Si / \sum_{1}^{n} Si) - У_{пэм}, \qquad (2)$$

где $У_i$ – сток с *i*-того агрофона, мм (рассчитывают по уравнениям); $S_i$ – площадь *i*-того агрофона, га; $У_{пэм}$ – стокорегулирующий эффект от применения системы противоэрозионных мероприятий: противоэрози-

онной 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 снегозапасы, 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, 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.

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 сельскохозяйственных угодий.

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 сильносмытых 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 смытые 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.

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 противоэрозионную 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 противоэрозионной эффективности (табл. 4).

Таблица 4

**Эффективность противоэрозионных агротехнических приемов**

| Прием | Количество годо-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 |

Имеющийся большой набор агротехнических средств не позволяет сильно воздействовать на процесс водопоглощения почвой влаги зимних осадков. Они малоэффективны в стокорегулирующем и противоэрозионном отношении. Эти приемы в принципе не могут быть высокоэффективны, так как почти не влияют на природные факторы стока: увлажнение и промерзание почвы, снегозапасы. Низкая стоко-

регулирующая 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.

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 урожайности 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° на каштановых и светло-каштановых почвах и 3° на черноземах и темно-каштановых почвах; присете-

вой – 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. Исходя из вышеизложенного, рекомендуется земли на приводораздельных склонах крутизной меньше 2-4° 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°, 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 – 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 энергосберегающих 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 сельскохозяйственных 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 закреплением вершин). К сложным водосбросным сооружениям, которые находят применение в практике при закреплении интенсивно размываемых вершин крупных оврагов, относятся различные перепады, быстротоки, а также подпорные стенки. В табл. 6 приводится группировка 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,

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 |
| *Донные* | | | | |
| 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 |

| 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 |
| *Вершинные* | | | | |
| 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 | > 6-8 | | 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 |
| *Береговые* | | | | |
| 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, исключающая 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 |

| 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 5º, дно с рытвинами, перепадами, свежими промоинами | Водозадерживающие валы в сочетании с выполаживанием вершин и донными запрудами |
| | | | Крутизна склонов в вершине свыше 5º. Состояние берегов позволяет осуществить сброс воды | Система водоотводящих валов |
| 20-25 (общая) | | Независимо | Густая сеть оврагов, расположенных близко друг к другу, на крутых берегах (15-20º). 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 10º | Выполаживание откосов с засыпкой оврага и залужением многолетними травами |
| | | 6-10 | | Частично выполаживаются откосы. Водозадерживающие валы в сочетании с выполаживанием и залужением вершины |
| | | До 10 | Крутизна берегов больше 10º | Водоотводящие валы в сочетании с выполаживанием и залужением вершин |
| *Склоновые* | | | | |
| 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 | Водозадерживающие валы в сочетании с выполаживанием и залужением вершин |
| | | | Зона залужения | Водоотводящие валы в сочетании с выполаживанием и залужением вершины. Откосы частично выполаживаются |

Окончание табл. 6

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| 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 |

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 $20^{o}$ 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. Гаршинева 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.

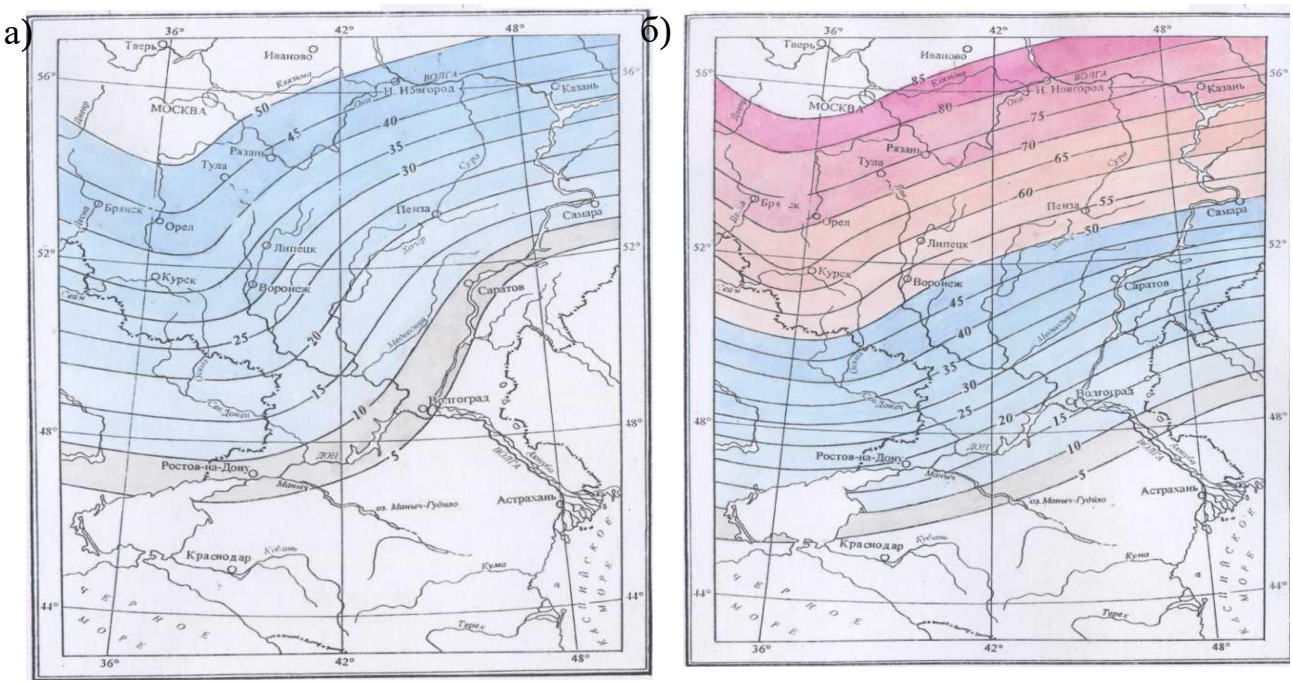


Рис. 2. Изолинейные карты поверхностного стока талых вод на рыхлой (а) и уплотненной (б) пашне в европейской части РФ

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]

$$W = \alpha \cdot K \cdot h^s \cdot I, \qquad (3)$$

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 |

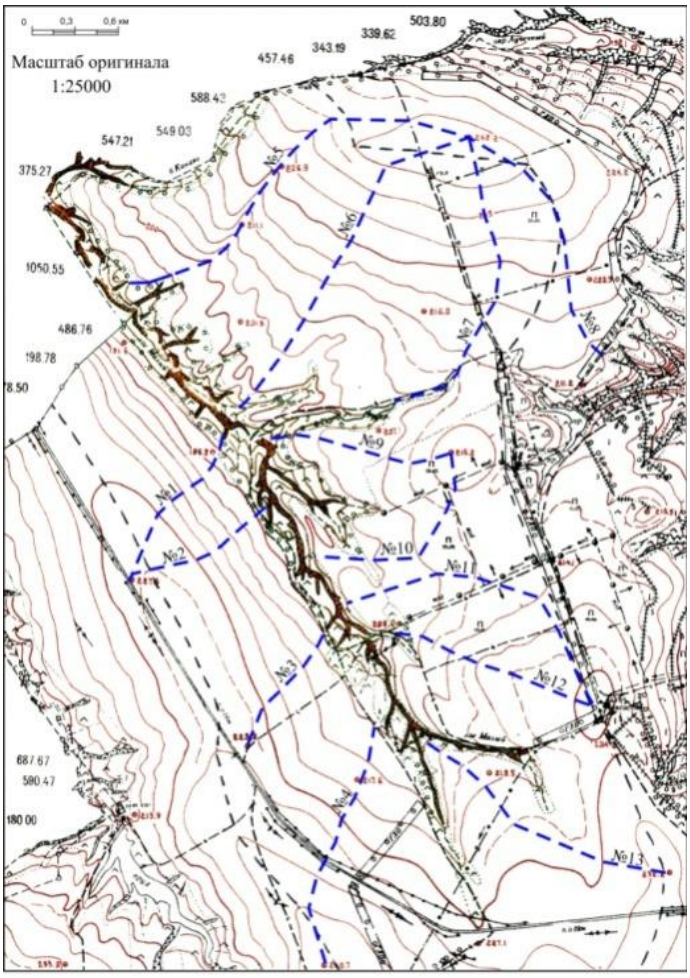


Рис. 3. Пример построения линий тока на водосборе лога Малый Клетского р-на Волгоградской обл.

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 × $10^3$ | L, град. | |
| *Профиль 1* | | | |
| 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 |
| *Профиль 2* | | | |
| 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 |

### 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 $W_д$;

около каждой стокорегулирующей ЛП вдоль верхней и нижней опушек формируется так называемый пояс восстановления плодородия почвы суммарной шириной $L_в$, 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 $W_д$ при расстояниях между ЛП $L_р$, принятыми для "равнинных" условий ($L_р$ = 400 м), то расстояние между ЛП $L_{мп}$ определяется из неравенства $L_р \geq L_{мп} \geq L_с$, где $L_с = L_р(1 + 3\text{tg}L)$;

из-за уменьшения дальности ветроломного влияния ЛП на ветроударных склонах $L_{мп} = L_с$, где $L$ – средняя крутизна склона между ЛП, град.

Во всех случаях, разумеется, $L_{мп} = (L_д + L_в) \leq (L_р - L_в)$, для первой стокорегулирующей ЛП от водораздела, если $L_д \geq L_р$, величина

$1/2L_{мп} = 1/2(L_р - 1/2L_в)$. Это означает, что на водоразделе ЛП не создается, а вместо нее проектируются две приводораздельные ЛП по обе стороны водораздела так, что расстояние $L_{мп}$ между ними в сумме равно расстоянию $L_р$ 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 $1/2\ L_р$ или величина смыва на некотором расстоянии $L_д \leq 1/2(L_р - L_в)$ не достигнет предельно допустимого размера. Положение нижележащей 2-й стокорегулирующей ЛП получают расчетом от точки, расположенной на расстоянии от водораздела $L_2 = L_д + L_{лп} + 1/2\ L_в$ 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 стремится 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 участ-

ке 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 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.

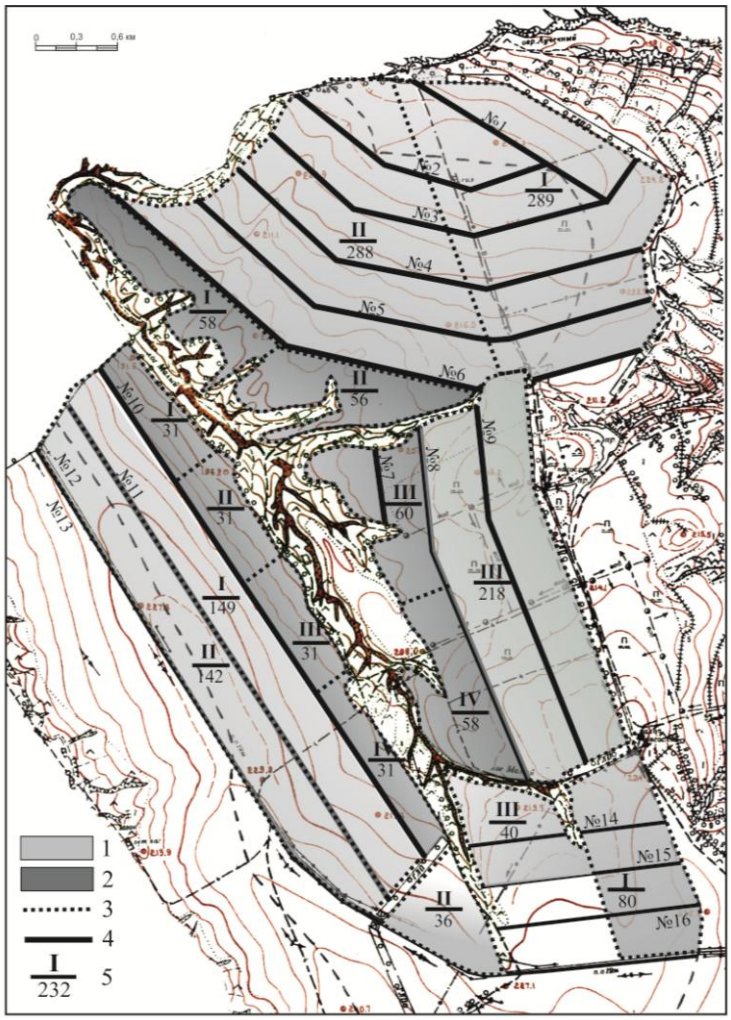


Рис. 4. Схема адаптивно-ландшафтного обустройства территории водосбора и размещения ЛП в Клетском р-не:

1 – полевые севообороты, 2 – почвозащитные севообороты, 3 – границы полей, 4 – проектируемые ЛП, 5 – номера и площади полей

### 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, обусловливают 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 обусловливает 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 плотной 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 разработ-

ке 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 ресурсовлагосберегающих 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.: Гидрометеоиздат, 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:

Гидрометеоиздат, 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.: Гидрометеоиздат, 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

**Введение**……..… 3
**1. Общие закономерности формирования эрозионно-гидрологического процесса и научное обоснование элементов адаптивно-ландшафтного обустройства водосборов**……. 5
1.1. Закономерности эрозионных процессов. Рельеф как фактор эрозионно-гидрологического процесса……. 5
1.2. Закономерности формирования поверхностного стока талых вод, его характеристика и расчет…… 10
1.2.1. Общая характеристика поверхностного стока талых вод с разных сельскохозяйственных угодий……..... 10
1.2.2. Оценка влияния характера использования пашни на формирование стока талых вод…….. 12
1.2.3. Влияние природных факторов на формирование стока……..... 13
1.2.4. Закон лимитирующих факторов поверхностного стока талых вод 15
1.3. Концепция адаптивно-ландшафтного обустройства сельскохозяйственных земель и совершенствования системы земледелия……. 17
1.4. Принципы противоэрозионной организации землепользования…….. 18
**2. Система мероприятий по управлению эрозионно-гидрологическим процессом**……. 21
2.1. Общая характеристика противоэрозионных приемов и их стокорегулирующая и противоэрозионная эффективность……. 21
2.2. Противоэрозионная организация территории водосборов и характер использования сельскохозяйственных земель……..……... 24
2.3. Система обработки почвы, агротехнические противоэрозионные мероприятия и почвозащитные технологии возделывания сельскохозяйственных культур…… 26
2.4. Лесомелиоративные мероприятия……... 28
2.5. Гидротехнические противоэрозионные мероприятия……... 28
2.5.1. Гидротехнические противоэрозионные мероприятия на пашне… 28
2.5.2. Гидротехнические противоэрозионные мероприятия на оврагах….. 29
2.6. Лугомелиоративные мероприятия……... 32
2.7. Технология агролесомелиоративного адаптивно-ландшафтного обустройства территории……. 33
2.7.1. Размещение стокорегулирующих лесных полос и других рубежей…….. 33
2.7.2. Расчет стока талых вод и смыва почвы……. 33
2.7.3. Расчет расстояний между стокорегулирующими лесополосами и другими рубежами…… 36
2.7.4. Назначение параметров проектируемых лесополос…… 39
**Заключение**……. 42
**Литература**…….. 44

*Барабанов* Анатолий Тимофеевич, *Кулик* Анастасия Владимировна,
*Гордиенко* Олег Андреевич, *Киселева* Татьяна Ивановна

СИСТЕМА МЕРОПРИЯТИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ
ЭРОЗИОННО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ
Научные основы и рекомендации

*Редактор* Т. Е. Крохта
*Компьютерная верстка* В. Г. Гирявенко
*Ответственный за выпуск* М. А. Ардов

Подписано в печать 26.12.2018.
Объем 3,04 уч.-изд. л. Заказ 13. Тираж 100 экз.

400062, Волгоград, Университетский проспект, 97.
Копировально-множительное бюро ФНЦ агроэкологии РАН