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 противоэрозионной 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 противоэрозионных 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 stoarage-lerouxel 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 про-

ектирования.

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 наших 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 фор-

мирования 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 уче-

том 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 лессовидные суглинки и лессы. Поэтому интенсивное оврагообразование происходит в районах, где залегают мощные толщи лессов и лессовидных 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 является 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. Гаршинёву [15] в период их деятельности во Всесоюзном (за-

тем 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 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, сниже-

нию 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 снегозапасы, 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 факто-

ров (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 способство-

вать 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 (зябь, 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 эрози-

онный 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 предусматривают: 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.

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 кру-

тых 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 смытости 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).

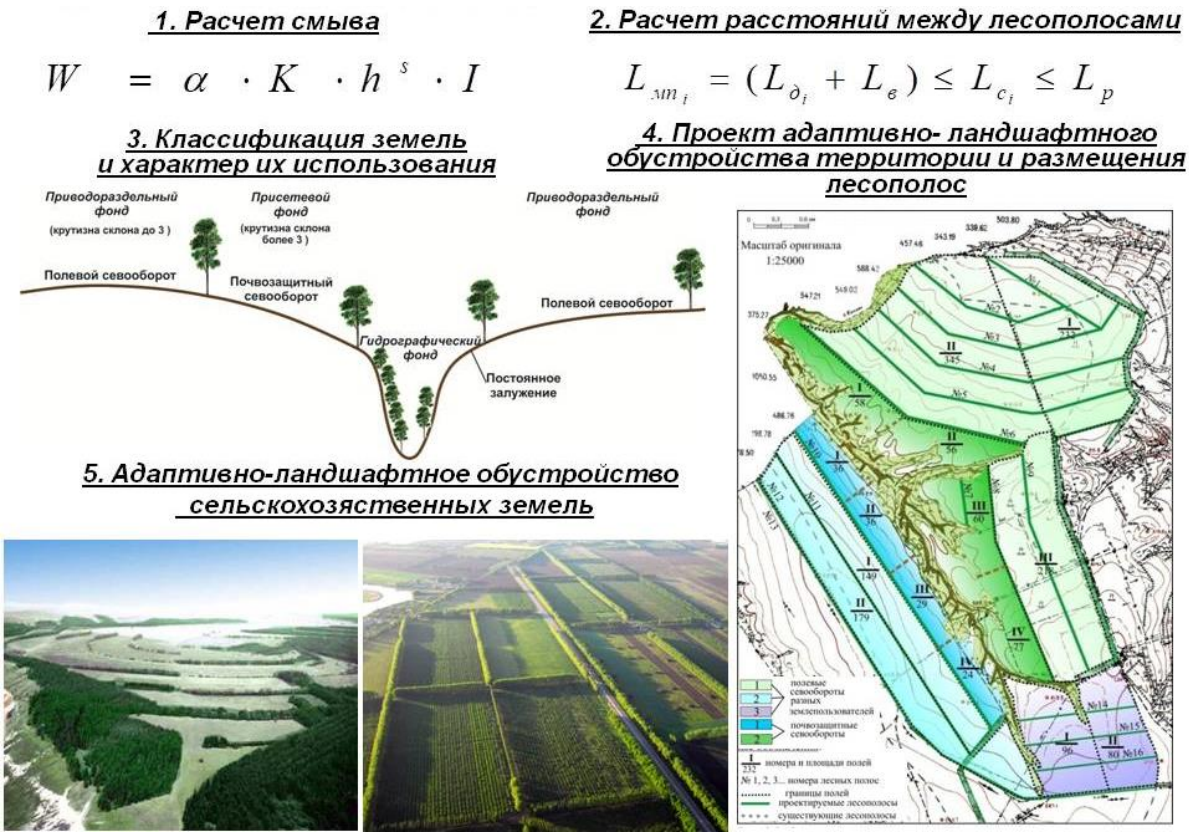


Рис. 1. Технология адаптивно-ландшафтного обустройства территории и создания агролесомелиоративного экологического каркаса

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 пунктам идут примерно параллельно. Эти кривые аппроксимируются уравнением:

$$У = a + bx,$$

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 экс-

периментальными данными в области значений стока с рыхлой пашни свыше 1 мм колеблются всего от –5 до +6 %.

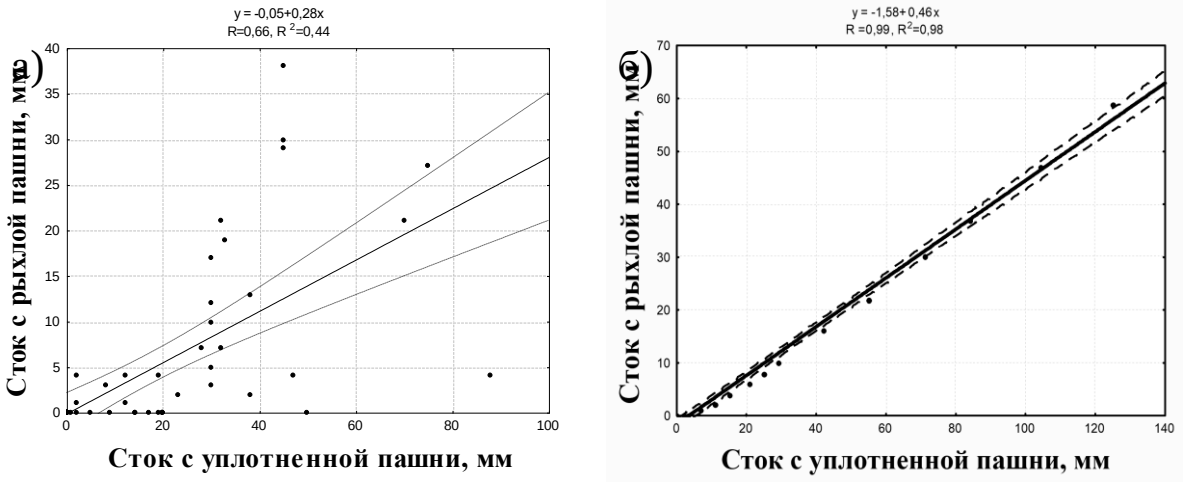


Рис. 2. Графики связи стока с рыхлой и уплотненной пашни, построенные по экспериментальным данным (а) и равнообеспеченным показателям (б)

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 бассей-

нах 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 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 и несмытые, слабо- и среднесмытые, а также намытые почвы. Меро-

приятия 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 почвоскрепляющие 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 смытости 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 почвах 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).

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 произрастания и обладающими высокой почвозащитной способностью многолетними травами. Соотношение культур в севооборотах определяет и структуру посевных площадей. На границе между севооборотами и

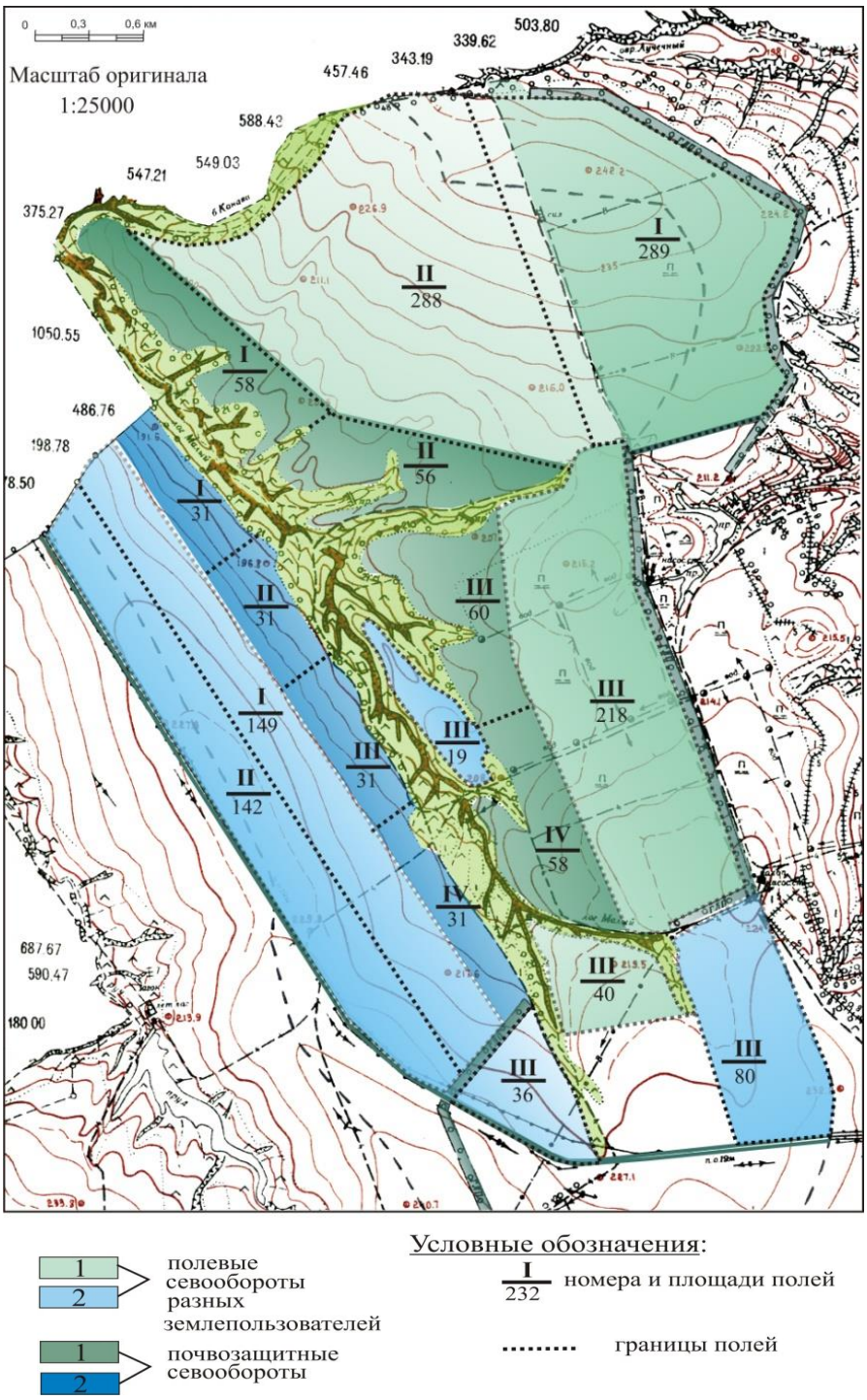


Рис. 3. Схема противоэрозионной организации территории

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 на-

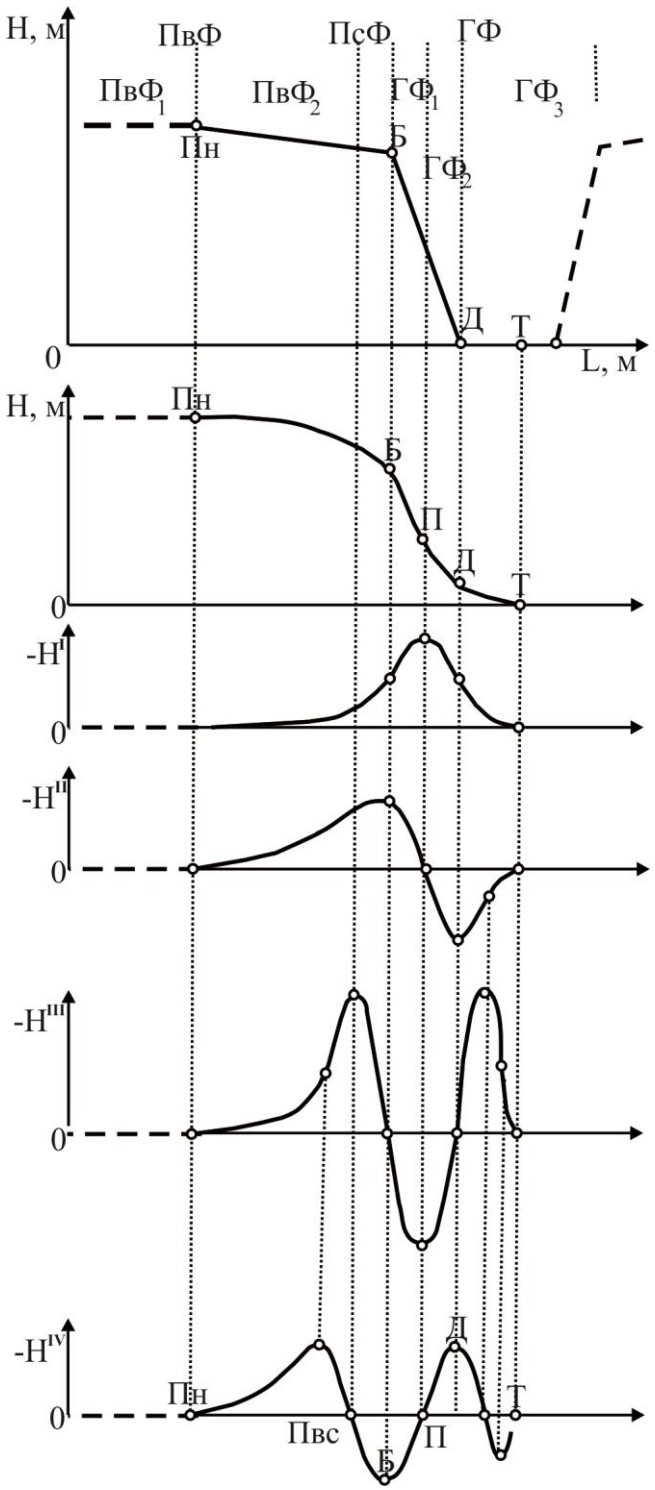


Рис. 4. Принципиальная схема аналитического определения характерных геоморфологических точек и границ ландшафтных поясов:

эрозионные фонды (ландшафтные пояса): $П_ВФ$, $П_вФ_1$ $П_вФ_2$ – приводораздельный; $П_СФ$ – присетевой; ГФ, $ГФ_1$ $ГФ_2$, $ГФ_3$ – гидрографический. Границы и характерные точки: $П_н$ – граница плакора нерасчлененного; $П_{ВС}$ – граница между приводораздельным и присетевым фондами; Б – бровка гидрографической сети (ГС); П – точка перегиба; Д – граница между берегом ГС и днищем; Т – тальвег

личии 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 ве-

личинами, представленными в табл. 2, на рис. 5 и 6 для европейской части РФ и сопряженных территорий (Белоруссия, Украина).

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_v	C_s
			1	5	10	50	70	80	90		
Лесостепная зона, Орловская обл.											
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 зона, Курская обл.											
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
Степная зона, Воронежская обл.											
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 зона, Самарская обл.											
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 зона, Волгоградская обл.											
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_v – коэффициент вариации, C_s – коэффициент асимметрии.

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) мож-

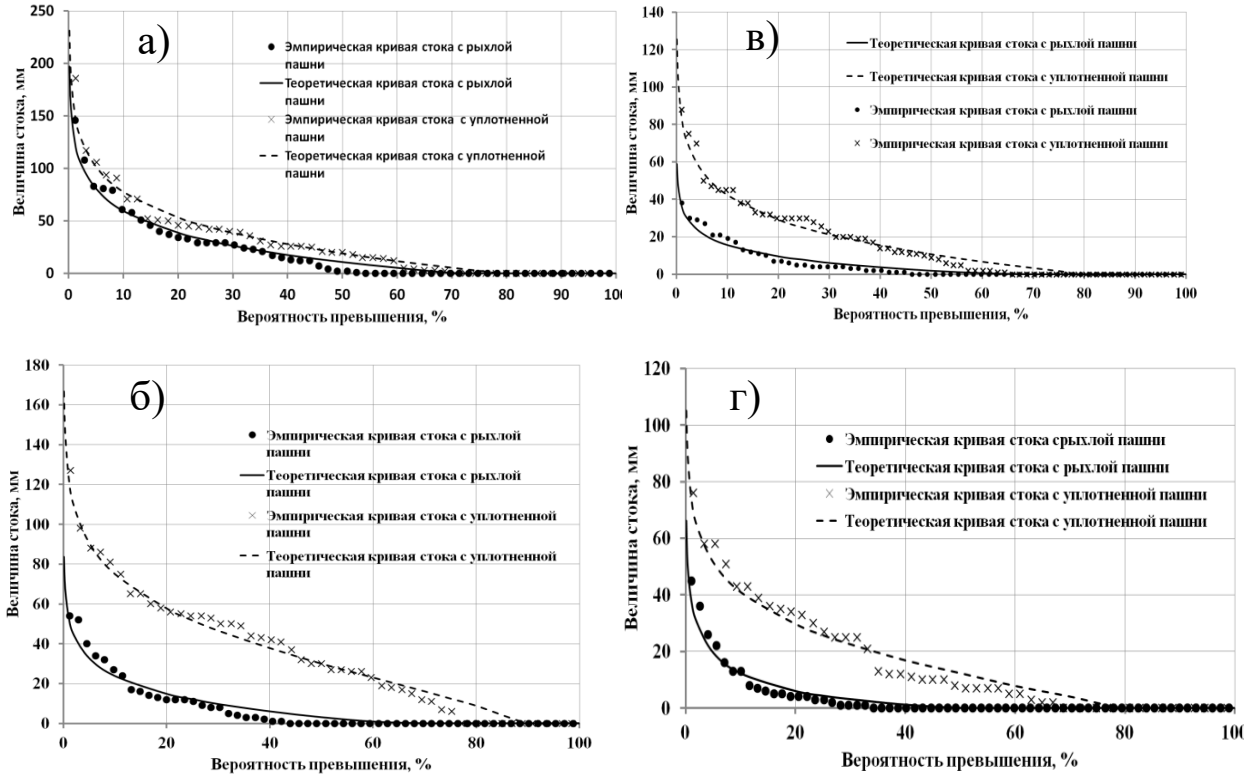


Рис. 5. Кривые вероятности превышения поверхностного стока талых вод с рыхлой и уплотненной пашни на серых лесных почвах Орловской обл. (а), на обыкновенных черноземах Самарской обл. (б), на каштановых и темно-каштановых почвах Волгоградской обл. (в), на светло-каштановых почвах Волгоградской обл. (г)

а б

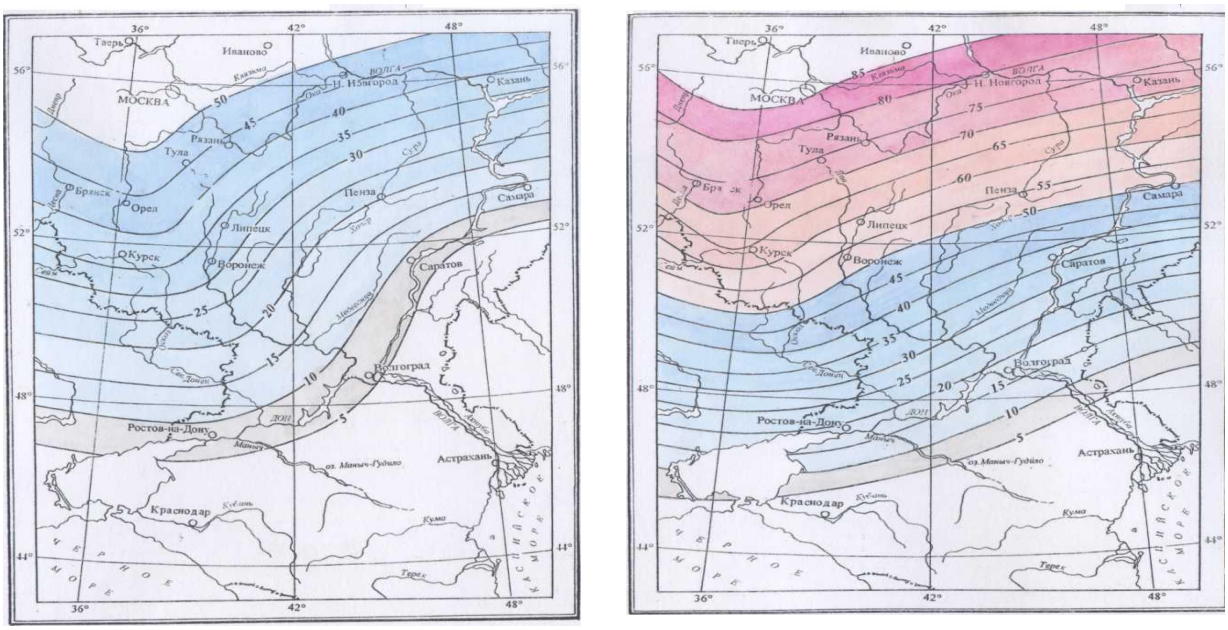


Рис. 6. Изолинейные карты поверхностного стока талых вод на рыхлой (а) и уплотненной (б) пашне в европейской части РФ

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

но 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.

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 $У_р$ и уплотненной $У_п$ пашне по уравнениям связи его с запасами воды в почве $W_п$ и снеге $W_с$, мм

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

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 гидрографической 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. Гаршинёвым [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 отступание 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]:

$$I = P^{I} = \Delta P b c \varphi P_{\Delta}^{2}, \quad (3)$$

где $\Delta P = P_{max} - P_{min}$; $c = \exp(a)$; $\varphi = \exp(-bL)$; $P_{\Delta} = 1/(1 + c\varphi)$,

$$P^{II} = \Delta P b^{2} c\varphi(c\varphi - 1)P_{\Delta}^{3}, \quad (4)$$

$$P^{III} = \Delta Pb^3 c\varphi((c\varphi-1)^2 - 2c\varphi)P_\Delta^4, \quad (5)$$

$$P^{IV} = \Delta Pb^4 c\varphi((c\varphi - 1)^3 - 2^3 c\varphi(c\varphi - 1))P_\Delta^5, \quad (6)$$

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-микроклиматических 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]:

$$W_т = \alpha[K]\,(h_c)^s(\varphi_1 P^2)^n L^p, \qquad (7)$$

где α – 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 – $5{,}4\cdot10^{-6}$, средним – $1{,}6\cdot10^{-4}$, слабым – 0,00210); [К] – произведение коэффициентов ($K_т$, $K_г$, $K^э$), 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 ($n \approx 1\text{-}2$, $p \approx 0{,}5\text{-}2{,}0$, $s = 0{,}95$).

Коэффициент $K_т$, характеризует относительную податливость смыву почв разных типов и подтипов: чернозем типичный ($Ч_т$), выщелоченный ($Ч_в$,), обыкновенный ($Ч_{об}$) – 1,00; чернозем оподзоленный ($Ч_{оп}$) и южный ($Ч_ю$), темно-серая лесная и темно-каштановая ($К_т$) – 1,07; серая лесная ($С_л$), каштановая (К) – 1,15; светло-серая лесная, дерново-подзолистая ($Д_п$), светло-каштановая ($К_с$) – 1,23.

Коэффициент $K_г$, 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 $K^э$, характеризует влияние степени смытости 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 ($L_{МП}$) определяют из неравенства [14]:

$$L_{МП} = (L_{\partial i} + L_в) \leq L_{сi} \leq L_р, \qquad (8)$$

где $L_{\partial i}$ – длина отрезков склона, м, на каждом из которых текущий смыв $W_т$ достигает допустимой величины W_∂ (табл. 5), т/га; i = 1, 2, 3...– порядковый номер (от водораздела) межполосного пространства; $L_в$ – суммарная ширина прилегающих к верхней и нижней опушкам лесополосы поясов, в пределах которых темпы восстановления почвенного плодородия превышают темпы смыва, м; $L_р$ – расстояние между основными лесными полосами, м, на территории с отсутствием эрозии и не превышающей допустимых величин (см. табл. 5); $L_{сi}$ – расстояние между основными лесными полосами с учетом уменьшения дальности их ветрорегулирующего влияния на склонах, м.

Таблица 5

Величины допустимого среднегодового смыва почвы W_∂ (т/га) и параметры постоянных членов $L_в$ и $L_р$ уравнения (8)

Степень смытости почв и параметры $L_в$ и $L_р$	$Д_п$, $С_л$	$Ч_в$, $Ч_{оп}$	$Ч_{об}$	$Ч_ю$	К, $К_т$	$К_с$
Степень смытости почв						
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
Величины параметров постоянных членов $L_в$ и $L_р$						
$L_р$	600	600	500	400	350	250
$L_в$	100	90	60	50	40	40

Расчет расстояний $L_{сi}$ выполняется по уравнению [16, 25]:

$$L_{ci} = L_p(1 - 3tg\bar{\alpha}_i), \qquad (9)$$

где L_p – дальность ветрорегулирующего влияния основных лесополос на равнине, м; $\bar{\alpha}_i$ – средняя крутизна склона между верхней и нижней лесополосами 1-го межполосного пространства (при $\bar{\alpha}_i \geq 2°$).

Размещение стокорегулирующих лесополос (СЛП) осуществляется на основе расчета смыва почвы по методике ВНИАЛМИ, разработанной Е. А. Гаршинёвым.

Положение стокорегулирующих лесополос на склоне определяется следующими условиями:

1) величина текущего смыва не должна превышать некоторого допустимого предела – допустимого смыва W_∂;

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_∂ 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.

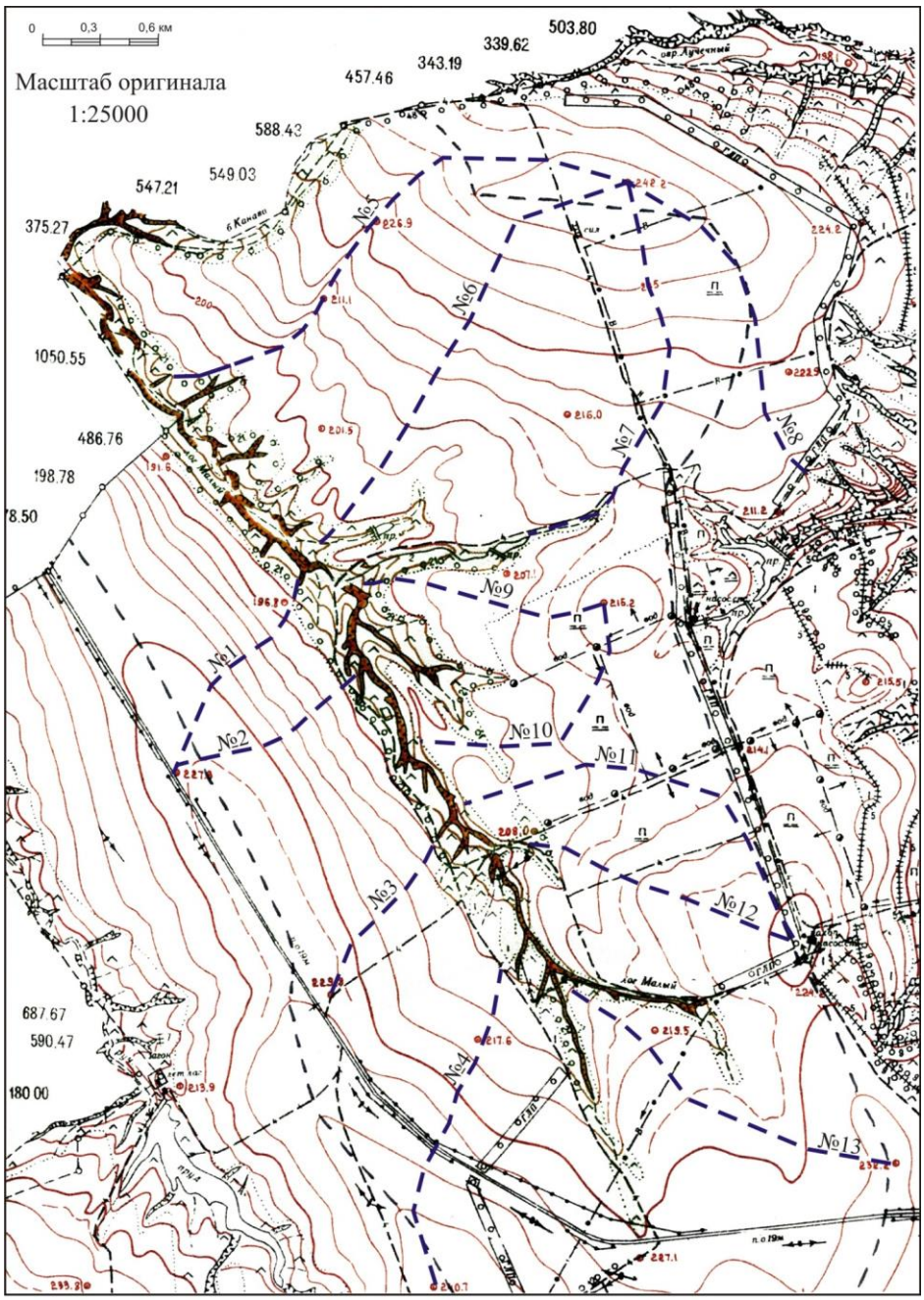
Во всех случаях, разумеется, $L_{мп} = (L_g + L_в) \leq (L_p - L_в)$, для первой стокорегулирующей лесополосы от водоразде-

ла, если $L_g \geq L_р$, величина $1/2\ L_{мп} = 1/2\ (L_р - 1/2\ L_в)$. Это означает, что на водоразделе лесная полоса не создается, а вместо неё проектируются две приводораздельные лесополосы по обе стороны водораздела так, что расстояние $L_{мп}$ между ними в сумме равно расстоянию $L_р$ 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 $1/2\ L_р$ или величина смыва на некотором расстоянии $L_g \leq 1/2\ (L_р - L_в)$ не достигнет предельно допустимого размера. Положение нижележащей 2-й СЛП получают расчетом от точки, расположенной на расстоянии от водораздела $L_2 = L_g + L_{лп} + 1/2\ L_в$ и т. д. до бровки лощинно-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



№ 1, 2, 3 … – номера линий тока; — — · линии тока

Рис. 7. Схема линий тока водосбора лога "Малый"

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.

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
	$tgLx10^{+3}$	L, град.	
1	2	3	4
Профиль 1			
250	6,2	0,4	0,1
500	5,0	0,3	0,1
750	50,0	2,9	2,3
1	2	3	4
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
Профиль 3			
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
Профиль 4			
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
Профиль 5			
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	2,8
2250	26,0	1,5	2,6
2500	34,0	2,0	4,3

Продолжение табл. 6

1	2	3	4
2750	16,0	0,9	4,5
3000	30,0	1,7	4,2
Профиль 6			
250	3,5	0,2	0,1
500	3,5	0,2	0,1
750	15,0	0,9	0,4
1000	24,0	1,5	1,0
1250	24,0	1,5	1,2
1500	28,0	1,6	1,8
1750	22,0	1,3	1,5
2000	16,0	0,9	1,0
2250	18,0	1,0	1,5
2500	12,0	0,7	0,9
2750	44,0	2,5	6,6
Профиль 7			
250	5,9	0,3	0,1
500	14,9	0,9	0,3
750	20,0	1,2	0,6
1000	32,0	1,8	1,5
1250	16,0	0,9	0,7
1500	15,0	0,9	0,7
1750	15,0	0,9	0,8
2000	18,0	1,0	1,25
2250	12,0	0,7	0,7
Профиль 8			
250	4,8	0,1	0,1
500	7,2	0,4	0,1
750	12,0	0,7	0,3
1000	11,0	0,6	0,3
1250	25,0	1,4	1,3
1500	20,0	1,2	1,1
1750	18,0	1,0	1,1
2000	30,0	1,7	2,7
Профиль 9			
250	9,8	0,6	0,1
500	15,0	0,9	0,2
750	10,0	0,6	0,2
1000	8,0	0,5	0,2
1250	30,0	1,7	1,7
Профиль 10			
250	4,0	0,2	0,1

Окончание табл. 6

1	2	3	4
500	12,8	0,7	0,2
750	5,2	0,1	0,1
1000	12,8	0,7	0,4
1250	15,0	0,9	0,6
1500	10,0	0,6	0,4
Профиль 11			
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
Профиль 12			
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
Профиль 13			
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

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 колеблется 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.

Второй параметр системы лесополос – их ширина – определяется многими факторами: стокорегулирующей способностью лесополос, необходимостью минимального отвода пашни под ЛП, создания оптимальной конструкции ЛП, их устойчивостью.

Таблица 7

Ширина межполосных пространств $L_{МП}$ (м) для стокорегулирующих лесных полос на почвах разных типов на выпуклой части склона длиной 1000 м (ΔH = Pm = 100 м; a = 5; b = 0,005; $\bar{\alpha}$ = 2,86°; агрофон: 50 % зябь, 50 % озимые)

Номер лесополосы от водораздела	Почва					
	серые лесные	черноземы			темно-каштановые	светло-каштановые
		выщелоченные	обыкновенные	южные		
1*	300/0,6	300/0,6	250/0,6	200/0,5	175/0,4	125/0,3
2	360/3,1	400/3,7	470/4,1	400/2,9	350/2,2	250/1,1
3	210/5,9	240/6,7	250/7,0	270/6,3	350/6,4	250/3,4
4	-	-	-	-	-	250/6,6

**Для первого межполосного пространства приводится расстояние от водораздела. Знаменатель – крутизна склона на верхней границе пояса восстановления плодородия почвы.*

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.

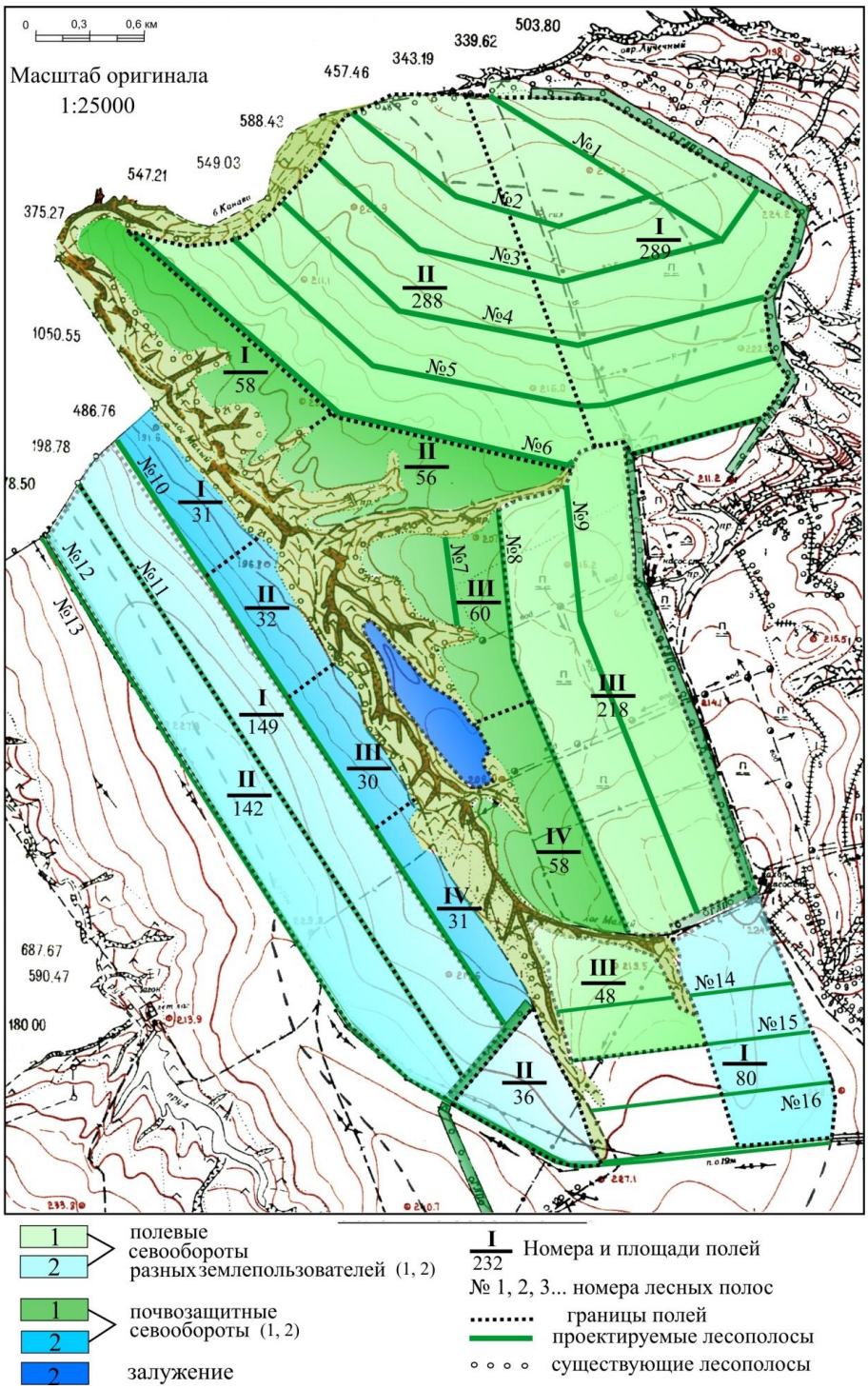


Рис. 8. Схема размещения стокорегулирующих лесополос

Общая схема трассирования стокорегулирующих лесополос осуществляется следующими способами (рис. 9):

- параллельно-прямолинейно – на склонах с прямым поперечным профилем;

- параллельно, контурно-горизонтально, криволиней-

но – 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.

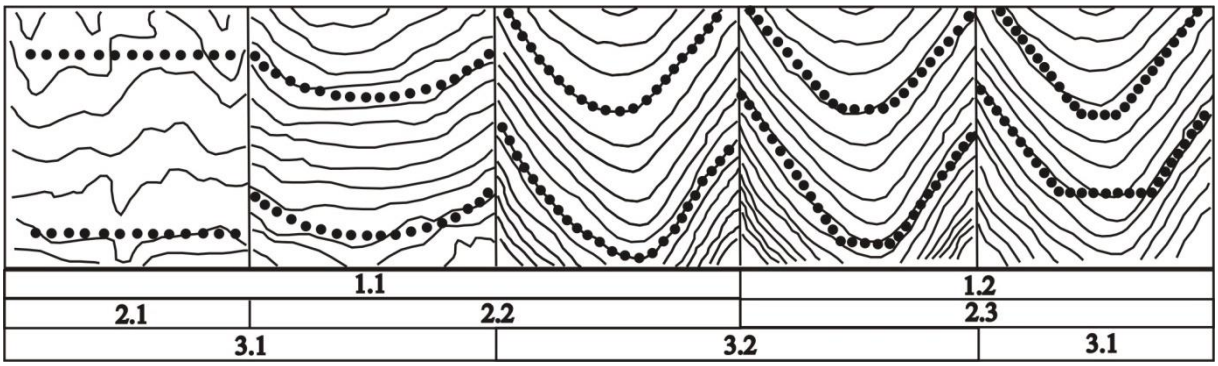


Рис. 9. Варианты трассирования стокорегулирующих лесополос (Е. А. Гаршинёв): 1.1 – горизонтальное (контурное), 1.2 – субгоризонтальное (субконтурное), 2.1 – прямолинейное, 2.2 – криволинейное, 2.3 – криволинейно-прямолинейное, 3.1 – эквидистантное (параллельное), 3.2 – неравнодистантное (непараллельное)

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 по-

верхностного 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 ря-

Таблица 8

Оптимальная ширина лесных полос в сочетании с гидротехническими сооружениями

Крутизна склона, град.	Тип сооружений	Рабочая высота земляного вала, м	Ширина* лесной полосы, м	
			степь	лесостепь
1,0-2,0**	Водозадерживающий или водонаправляющий земляной вал	0,3-0,4	9	8
2,1-3,0	Канава с валом	0,4-0,5	9	8
3,1-4,0	Канава с валом	0,5-0,7	9	6
4,1-5,0	Канава 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.*

дами 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 (канава, основание вала), не должна превышать 12 м.

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 тепломассообмена 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 $W_ф$) обусловливает величину водопоглощения. Слой стока У зависит от дефицита влаги в почве ΔW и снегозапасов перед снеготаянием $W_с$. В общем виде уравнение можно записать так:

$$У = W_с – (W_{пв} – W_ф) = W_с – \Delta W.$$

В рамках концепции ледяного экрана и термоинфильтрации 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 исключающих его, особенно при их сочетании с гидротехническими устройствами (канавами с талым дном).

Изложенные концепции сплошной менисковой пленки и ледяного экрана позволили разработать математические модели инфильтрации [15], в т. ч. с использованием известных разработок [10].

Аналитическое описание интегральных характеристик инфильтрации при подтоке (в насаждение или на иной стокорегулирующий фон), а также при обычных дождевых и весенних паводках имеет вид следующих математических моделей:

$w = w_m [1–\exp(–i_o/w_m)]$ – для скорости процесса, мм/мин

и $W = W_m [1–\exp(–I_o/W_m)]$ – для слоя инфильтрации, мм,

где w и W – текущие значения характеристик инфильтрации; i_o, и I_o – текущие значения характеристик осадков; w_m и W_m – значения максимальной инфильтрационной способности почвы.

При определении подтока в лесные насаждения применяются следующие выражения:

$$W_л = W_{лm}[1 – \exp(–P_c/W_{лm})], \quad (10)$$

$$Kw_c = W_л/P_c = W_{лm}(1 – \exp(–P_c/W_{лm}))/P_c, \quad (11)$$

$$P_c = P_п + h_л, \quad (12)$$

$$P_п = S_п(L_п/B_л), \quad (13)$$

$$\Delta S_п = B_л(W_л – h_л)/L_п, \quad (14)$$

где $W_л$ и $W_{лm}$ – 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]:

$$S = Wm \{ \frac{h_{сн}}{W_m} - [1 - \exp(-hсн / Wm)]\} \qquad (15)$$

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 лесопо-

лосы описывается зависимостью [12, 16, 26, 27]:

$$L_{\alpha} = L_{\alpha\,max} \cos\alpha, \qquad (16)$$

где $L_{\alpha\ max}$ – максимальная дальность влияния лесополосы при перпендикулярном к ней направлении ветра ($\alpha = 0°$), α – угол между перпендикуляром к лесополосе и направлением ветра.

По данным Е. А. Гаршинёва [16] выражение (16) выявляет очень слабое изменение дальности влияния лесополос при отклонении ветра от перпендикулярного к ним направления. Так, отклонение на угол 10-20 ° изменяет дальность влияния всего на 2-6 %. При отклонении на 30° это изменение ощутимо (13 %), но невелико. Лишь при отклонении на угол 30-45 ° 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]:

$$R = K_0 \sum n_{1,9} + K_{22,5} \sum n_{2,8,10,16} + K_{45} \sum n_{3,7,11,15} + K_{67,5} \sum n_{4,6,12,14} + \\ + K_{90} \sum n_{5,13}, \qquad (17)$$

где К = cosα (индексы при К – углы α в градусах), n – по-

вторяемость 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 $\alpha = 45°$.

Характеристика R рассчитывается в двух вариантах: "абсолютная" $R_{абс}$ по выражению (17) и "относительная" $R_{отн} = 100R_{абс}/R_{п}$, где $R_{п}$ – оценка для преобладающей оси с максимальным значением R.

Для преобладающей оси направлений обычно 70 % > $R_{п}$ > 60 % [12, 14]. Таким образом, направление преобладающих ветров на рассматриваемой территории выражено слабо и отклонение трасс лесополос от перпендикуляра к оси $R_{п}$ на угол 45° и даже 90° 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 обусловливает 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].

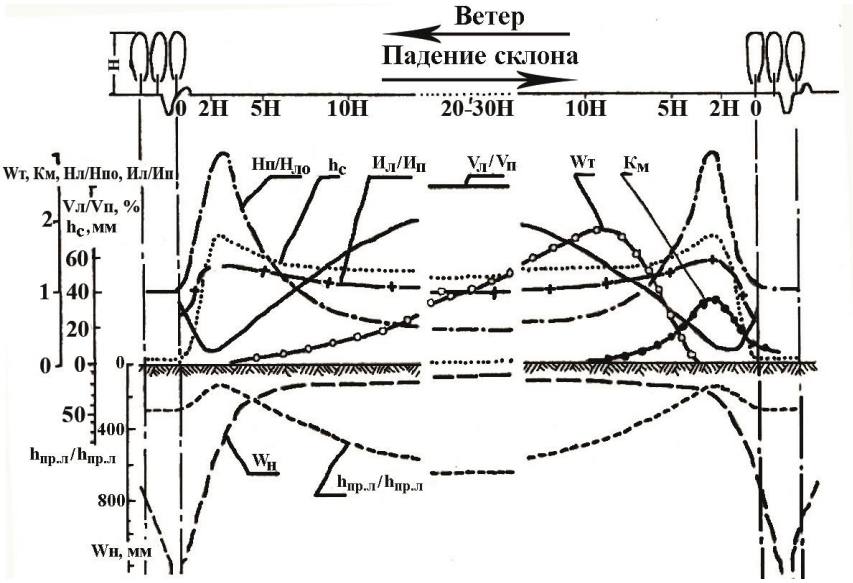


Рис. 10. Схема мелиоративного действия противоэрозионных лесополос:

$У_л$, $У_п$ – скорость ветра, $Н_л$, $Н_п$ – высота снега, $h_{пр.\,л}$, $h_{пр.\,п}$ – глубина промерзания почвы, $W_н$ – водопоглощение, $К_м$ – кольматаж мелкозема, $u_л$, $u_п$ – урожайность. Индекс "п" означает открытое поле вне влияния ЛП и "л" – защищенное лесополосами поле или лесополосу (лес – $л_о$)

Изменяя ветровой режим, лесополосы способствуют дополнительному снегоотложению в зоне их влияния, уменьшению глубины промерзания почвы, вследствие чего повышается их инфильтрационная 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 изменение их ветроломной эффективности при отклонении от перпендикулярного к вредоносным ветрам направления, однако этот вопрос нуждается в специальной проработке. Анализ ветрового режима, осуществленный Е. А. Гаршинёвым [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 противоэрозионной 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 противоэрозионной 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	
					балок		оврагов					
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	м	п
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Главные породы												
Дуб черешчатый (т, л)	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-
Береза повислая (л)	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+-
Робиния лжеакация (м)	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-

Продолжение табл. 9

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)	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+
Сопутствующие породы												
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	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+
Кустарники												
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		-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+
Айва японская (п-я)	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Калина обыкновенная		-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+

Окончание табл. 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
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-кустарни-ковым 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 порядное 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 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 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 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 сне-

гораспределительное 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

Рис. 11. Лесополоса комбинированной конструкции с низкорослым кустарником (фото В. И. Панова)

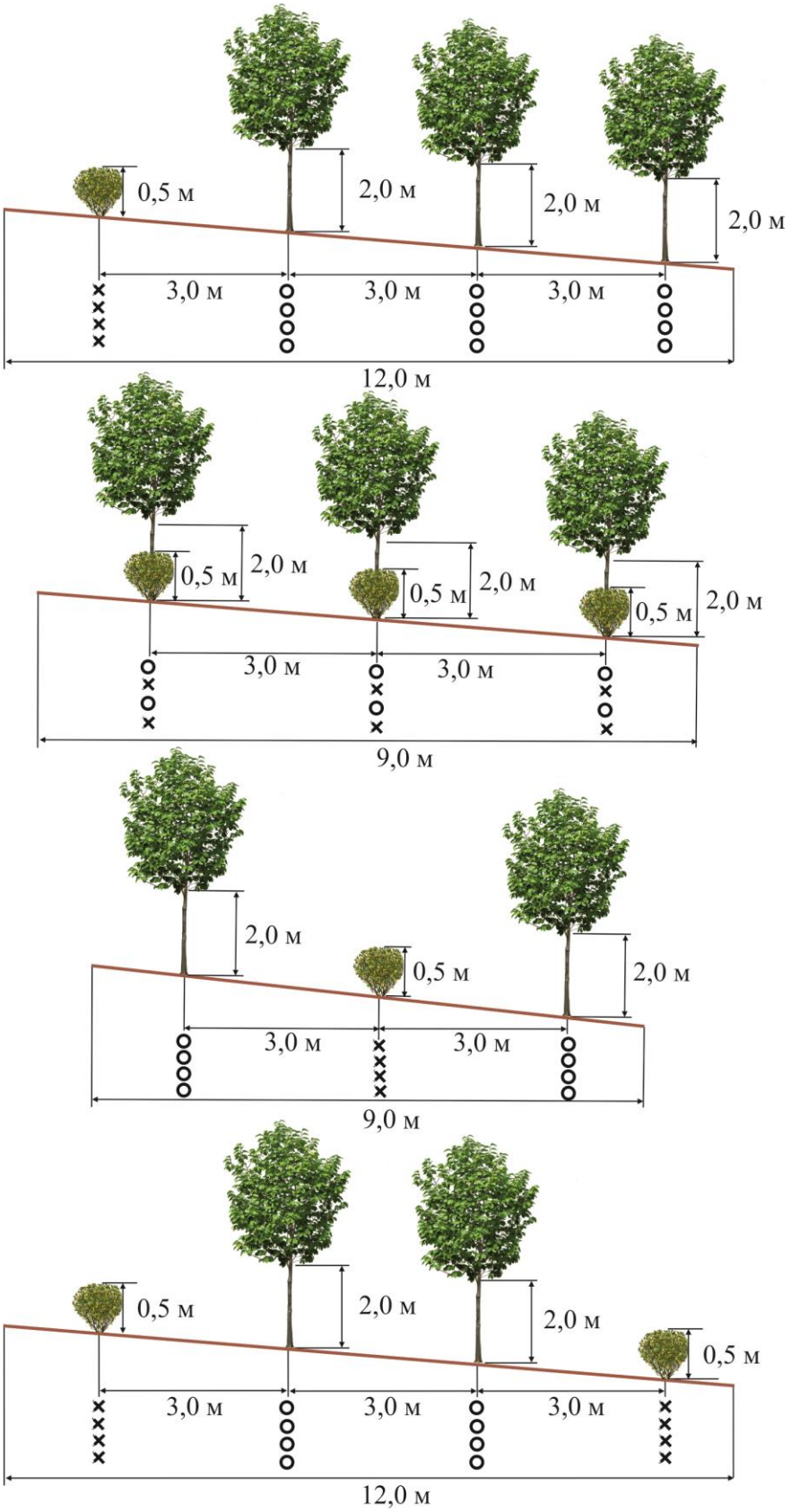


Рис. 12. Схема вариантов создания лесополос комбинированной конструкции

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 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 сне-

гом 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 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 водонаправляю-

щими 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]:

$$i_{тр.ЛП} = \frac{V^2}{0{,}5C^2h_р}, \qquad (18)$$

где V – неразмывающая скорость течения воды, м/с (табл. 10); C – коэффициент Шези; $h_р$ – рабочая высота водонаправляющего вала, размещенного по нижней опушке лесной полосы, м.

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
Песок				
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
Глина и суглинок				
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
Лессовидные грунты	-	0,6	0,7	0,8

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.

Для повышения водопоглощения в лесных полосах водонаправляющие сооружения дополняют перемычками-водообходами, которые с целью снятия отрицательного действия напаши, 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 агротехническим мероприятиям. 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 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

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 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 стоко-

регулирующую, 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 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 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-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. 12 приводится группировка оврагов по способам их закрепления с применением гидротехнических сооружений.

Таблица 12

Критерии группировки оврагов по способам закрепления 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 закрепления
1	2	3	4	5
Донные				
Независимо	1-2	1-2	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 закрепляется путем выполаживания до угла 4-5° с последующим залужением многолетними травами

Продолжение табл. 12

1	2	3	4	5
100-150	> 4	Независимо	Происходит углубление и рост вершины	Бетонные лотки быстротоки, трубчатые водосливы, ступенчатые перепады в вершине, со временные (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
До 10	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			Бетонные лотки-быстротоки, трубчатые водосливы с серией донных запруд
Береговые				
1-2	Независимо	> 3-4	Берега хорошо задерневшие, без сети свежих промоин, их крутизна преимущественно > 10º	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 позволяет осуществлять сброс стока	Водоотводящие валы со сбросом воды на хорошо задерневшие участки берегов
			Состояние берегов не позволяет осуществлять сброс стока	Водозадерживающие валы
			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
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. Водо
				задерживающие валы в сочетании с выполаживанием и залужением вершины
		До 10	Крутизна берегов больше 10°	Водоотводящие валы в сочетании с выполаживанием и залужением вершин
Склоновые				
До 10	2-4	До 6	-	Выполаживание откосов с частичной засып-

Окончание табл. 12

1	2	3	4	5
До 10	2-4	До 6	-	кой 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
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

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.).

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 пол ной заменой естественного травостоя сеяным, внесением удобрений (табл. 13-15), 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.), лесомелиорация [1, 18, 38].

На сильноэродированных склонах с деградированным

Таблица 13

Лугомелиоративные мероприятия [1]

Вид улучшения	Условия применения	Состав мероприятий
Поверхностное	На слабопораженных 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		
	азотные	фосфорные	калийные	азотные	фосфорные	калийные
Природный злаково-разно-травный	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

Экспо-зиция склона	КЛ	ЛС или ЛСГ	Э	КБ	ОЛ	РВ	МЛ	ЖГ	ПБ	ПС	ВС	П
Северные части Центрального и Заволжского												
Ю	-	5-6	25-30	10-12	10-12	-	-	-	-	-	-	-
С	5-6	5-6	-	10-12	10-12	-	-	-	-	-	-	-
Южные части Центрального и Заволжского												
Ю	-	5-6	25-30	10-12	-	12-14	3-4	-	-	-	-	-
С	-	10-12	-	10-12	-	12-14	-	-	-	-	-	-
Западный и Северо-Кавказский												
Ю	-	5-6	25-30	10-12	-	-	-	12-14	-	-	-	-
С	-	10-12	-	10-12	-	-	-	-	12-14	-	-	-
Степная зона												
Ю	-	5-6	25-30	10-12	-	-	-	12-14	-	-	-	-
С	-	10-12	-	10-12	-	-	-	-	12-14	-	-	-
Приволжский и Предуральский (сухостепная зона)												
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 – кострец безостный, ОЛ – овсяница луговая, РВ – райграс высокий, МЛ – мятлик луговой, ЖГ – житняк гребневидный, ПБ – пырей безкорневищный, ПС – пырей сизый, ВС – волоснец ситниковый, П – прутняк.

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. Гаршинёвым [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 структуру программного обеспечения; раздельного 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

Таблица 16

Технологическая схема обработки топокарт, расчета смыва и размещения лесных полос

<table>
<tr><th>Технологическая операция</th><th>Пакет прикладных программ</th><th>Тип файла</th><th>Примечание</th></tr>
<tr><td>Сканирование топокарты</td><td>DeskScan II</td><td rowspan="2">BMP</td><td>Можно использовать любой графический формат</td></tr>
<tr><td>Векторизация по координатам X и Y</td><td>R2V for Windows</td><td rowspan="3">Предварительная фильтрация изображения в графическом редакторе</td></tr>
<tr><td>Привязка к Z-координате</td><td>R2V for Windows, Surfer</td><td rowspan="9">XYZ, GRD</td></tr>
<tr><td>Восстановление карты по координатам X, Y, Z</td><td>Surfer</td></tr>
<tr><td>Получение расчетной матрицы</td><td>Отлаживаемая программа</td><td>Формат файла GS ASCII</td></tr>
<tr><td>Построений линий тока</td><td rowspan="4">Karta</td><td rowspan="6">Используется полученная матрица</td></tr>
<tr><td>Построение продольных профилей склона</td></tr>
<tr><td>Регрессионный анализ профилей склонов</td></tr>
<tr><td>Расчет текущих значений величин уклонов и смыва</td></tr>
<tr><td>Построение карт текущих величин уклонов и смыва</td><td>Surfer</td></tr>
<tr><td>Расчет противоэрозионных рубежей-лесополос</td><td>Karta</td></tr>
</table>

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

противоэрозионных 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.

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 эффек-

тивности 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 полезащитных 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 агролесомелиоративных 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., Гаршинёв 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 зави-

симости 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.: Гидрометеоиздат, 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. Гаршинёв Е. А. Выбор способа размещения лесополос на водосборах с учетом направлений вредоносных ветров // Лесомелиорация при контурном земледелии: сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1988. – Вып. 1(93). – С. 30-42.

13. Гаршинёв Е. А. Применение логистической функции как универсальной зависимости для описания продольного профиля склонов разной формы // Противоэрозионный комплекс Нечерноземья: бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1987. – Вып. 3(52). – С. 51-54.

14. Гаршинёв Е. А. Противоэрозионная лесомелиорация и эволюция эрозионно-гидрологического процесса: автореф. дис…. д. с.-х. н. – Волгоград, 1995. – 48 с.

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

16. Гаршинёв 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. Противоэрозионные 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. Гаршинёв [и др.]. – М.: ВАСХНИЛ, 1991. – 42 с.

26. Методические рекомендации по проектированию комплекса противоэрозионных мероприятий для проектов внутрихозяйственного землеустройства 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 А3 Российская Федерация A01B79/02, A01G23/00, A01B13/16. Способ защиты почв от эрозии на склонах / Барабанов А. Т. (РФ), Гаршинёв 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 A01G23/00,

A01B79/02. Способ регулирования снегоотложения для защиты почв от эрозии на склонах / Барабанов А. Т. (РФ), Гаршинёв 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 гидролесомелиоратора / Под ред. Е. Д. Сабо. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 200 с.

33. Салугин А. Н., Гаршинёв 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

Введение……... 3
1. Краткое обоснование системы мероприятий по управлению эрозионно-гидрологическим процессом…… 6
2. Критерии оценки влияния характера использования пашни на формирование стока талых вод…….. 18
3. Критерии формирования противоэрозионной организации территории……..……... 20
4. Модели и критерии для расчета эрозионно-гидрологических характеристик стокорегулирующих лесополос..……..… 28
4.1. Критерии для расчета поверхностного стока талых вод…… 28
4.2. Критерии для расчета смыва почвы …… 33
4.3. Критерии для расчета расстояний между стокорегулирующими лесными полосами……... 37
4.4. Критерии оценки инфильтрации влаги в почву и стокорегулирующей роли лесополос…… 50
4.5. Критерии оценки ветроломной роли лесополос……. 53
5. Критерии оптимизации формирования системы стокорегулирующих лесных полос…….. 56
5.1. Выбор параметров размещения стокорегулирующих лесных полос на водосборе…… 57
5.2. Критерии формирования лесополос по породному и видовому составу…….….. 60
5.3. Критерии оптимизации лесополос по аэродинамической конструкции……. 62
5.4. Критерии размещения сельскохозяйственных культур в системе стокорегулирующих лесополос……. 68
5.5. Критерии сочетания стокорегулирующих лесополос с простейшими гидротехническими сооружениями…….. 70
6. Критерии оценки эффективности агротехнических противоэрозионных мероприятий……..... 74

7. Критерии размещения и оценки эффективности гидротехнических противоэрозионных мероприятий…… 77
7.1. Гидротехнические противоэрозионные мероприятия на пашне…….. 77
7.2. Гидротехнические противоэрозионные мероприятия на оврагах……. 78
8. Критерии применения лугомелиоративных мероприятий…….. 83
9. Система автоматизированного проектирования (САПР) стокорегулирующих лесополос……. 86
9.1. Цели, задачи и структура САПР……... 86
9.2. Процедуры и технология САПР…… 89
Заключение……. 92
Литература…… 94

Барабанов Анатолий Тимофеевич,
Кулик Анастасия Владимировна,
Гордиенко Олег Андреевич

МОНОГРАФИЯ

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КРИТЕРИЕВ И ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ МЕРОПРИЯТИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ЭРОЗИОННО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

Текст представлен в авторской редакции
Компьютерная верстка **В. Г. Гирявенко**
Ответственный за выпуск **В. П. Скачков**

Подписано в печать 21.09.20
Объем 4,45 уч.-изд. л. Заказ 9.
Тираж 300 (Первый завод 100).

400062, Волгоград, Университетский проспект, 97.

Копировально-множительное бюро ФНЦ агроэкологии РАН