

УДК 631.459.01

ПРОТИВОЭРОЗИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДЬЯХ В РОССИИ (ОБЗОР)

© 2024 г. А. П. Жидкин^а, А. В. Хирк^{а, *}, В. Н. Щепотьев^а, Д. В. Фомичева^а, Д. В. Жуйков^б

^аПочвенный институт им. В.В. Докучаева, Пыжевский пер., 7, стр. 2, Москва, 119017 Россия

^бЦентр агрохимической службы “Белгородский”, ул. Щорса, 8, Белгород, 308027 Россия

*e-mail: khirkav@my.msu.ru

Поступила в редакцию 05.02.2024 г.

После доработки 21.03.2024 г.

Принята к публикации 15.04.2024 г.

Одним из важных направлений эрозиоведения является разработка противоэрозионных мероприятий. Проведенный анализ специальной литературы показал, что в России большая часть приемов и способов по борьбе с эрозией почв была разработана в 1960–1980-х гг., а в последние десятилетия отмечается значительный спад интереса к научно-практическим разработкам по борьбе с эрозией почв. Имеющаяся в литературе информация по данному вопросу слабо систематизирована и не имеет общепринятой классификации. Предложенная авторская типизация позволила систематизировать все найденные в литературе противоэрозионные мероприятия и создать их реестр. Информация об эффективности применения противоэрозионных мероприятий малочисленна и в значительной степени противоречива. Лучше всего изучена эффективность агротехнических мероприятий. Наиболее эффективным среди агротехнических мероприятий следует признать безотвальную вспашку, которая, согласно литературным данным, способствует снижению эрозии почв на 70–90%, в то время как остальные агротехнические мероприятия в среднем снижают темпы эрозии почв вдвое или меньше. В последние десятилетия в России происходят значительные изменения темпов и характера протекания эрозии почв под влиянием климатических изменений и социально-экономических преобразований в аграрно-промышленном комплексе. Однако анализ выявил дефицит работ, описывающих адаптацию имеющихся противоэрозионных мероприятий и разработку новых мероприятий, учитывающих современные изменения эрозионно-аккумулятивных процессов.

Ключевые слова: эрозия почв, вспашка, обработка почв, севооборот, лесополоса, залужение, снегозадержание

DOI: 10.31857/S0032180X24090063, EDN: WLYMTJ

ВВЕДЕНИЕ

Эрозия почв занимает доминирующую позицию среди различных процессов деградации почвенного покрова в глобальном масштабе. Эрозионные потери в РФ составляют более 500 млн т плодородного почвенного вещества [21]. Преобладающим является водный тип эрозии почв. В течение последних 20 лет темпы прироста эродированных земель каждые пять лет составляют 6–7%, т.е. около 1.5 млн га в год [13].

На территории России более полувека проводят исследования по борьбе с эрозией почв, разрабатывают различные мероприятия, направленные на снижение деградации почвенного покрова от

эрозии, кратко называемые противоэрозионными мероприятиями, представляющими “совокупность научно обоснованных приемов защиты почв от водной, ветровой и механической эрозии” [85].

На сегодняшний день разработано значительное количество агротехнических, лесомелиоративных, гидротехнических и иных мероприятий, способствующих снижению эрозии почв. Степень их внедрения в практику различная: одни мероприятия (например, противоэрозионные обработки почв) широко внедрены в работу; другие (например, гидротехнические конструкции) используются только в определенных специфических условиях; иные мероприятия (например, валы-террасы с широким основанием; плетеные

фашины для укрепления откосов оврагов и крутых склонов и др.) не нашли широкого применения и практически забыты [61].

Вопросы применения и выбора противоэрозионных мероприятий, как правило, решаются без достаточного научного обоснования. В СССР существовал план по организации подразделений на предприятиях для комплексной защиты почв от эрозии в центральной черноземной зоне, а также разрабатывались планы по противоэрозионной организации территорий колхозов и совхозов с учетом экономической эффективности (урожайности и затрат на топливо) [30]. В 1983 г. была скорректирована генеральная схема противоэрозионных мероприятий до 2000 г., по которой улучшению должно было подвергнуться 1146 тыс. га [48]. В настоящее время землепользователи зачастую пренебрегают проведением специальных мероприятий или используют наименее затратные. Традиционный уклад применения земледельческих приемов не всегда эффективен в связи с изменениями эрозионно-аккумулятивных процессов под воздействием климатических изменений. В частности, на территории Европейской России в последние десятилетия отмечается сильное сокращение талого смыва почв [3], которое должно учитываться в корректировке приемов снежной мелиорации. Копирование новомодных технологий без их должной адаптации к российским условиям методом проб и ошибок (например, технологии “no-till”) приводит к излишним затратам, а иногда и к экологическим проблемам.

Во многом текущее хаотичное использование противоэрозионных мероприятий связано с большим их многообразием и при этом очень слабым обобщением научных разработок в отечественной литературе, особенно в публикациях последних лет.

Цель работы – обзор, обобщение и критический анализ описанных в литературе противоэрозионных мероприятий в России.

МЕТОДЫ

Сбор информации о противоэрозионных мероприятиях, направленных на снижение поверхностного ливневого и талого смыва почвы на полях, проводили по публикациям научных статей в журналах, сборниках и монографиях. Использовали Интернет-ресурсы, методические рекомендации по теме изучения и специализированные периодические издания – патенты, отчеты, проспекты.

На этапе сбора данных основное внимание уделяли следующим вопросам: наличию описания мероприятия, сведений о его противоэрозионной эффективности и влиянии на урожайность, региону его применения.

Так как в разных источниках смыв указывается либо в т/га, либо в м³/га, то для сравнения эффективности противоэрозионных мероприятий, вычисляли коэффициент эффективности (КЭ) по формуле:

$$КЭ = \frac{Ам}{Аб},$$

где Ам – темпы эрозии почвы на участке с применением противоэрозионного мероприятия (т/га в год); Аб – темпы эрозии почвы на участке без применения противоэрозионных мероприятий (т/га в год). Таким образом, чем ниже значение КЭ, тем более эффективно мероприятие снижает эрозию почв.

Реестр противоэрозионных мероприятий обобщен в виде таблицы в программе Microsoft Excel (табл. 1S).

Представленный реестр демонстрирует те публикации, которые в настоящее время наиболее доступны.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исторический обзор исследований противоэрозионных мероприятий. Большая часть мероприятий в СССР была разработана в 1960–1980-е гг. Основным видом публикации почвозащитных мероприятий в эти годы являются методические рекомендации, монографии, сборники статей разных авторов (рис. 1а).

В 1990-е гг. произошел резкий переход от методических рекомендаций и монографий к разработкам патентов и статей об отдельных мероприятиях. В научной библиотеке Elibrary [98] с 2000 по 2021 гг. зарегистрировано более 50 статей, в которых упоминаются почвозащитные мероприятия и почвозащитные обработки. Однако только порядка двух десятков статей непосредственно касаются эффективности обработок почвы, лишь небольшая часть из этих статей посвящена многолетним опытам, например, в Ростовской области [12, 55] и на Алтае [39, 94]. Многолетние исследования влияния способов вспашки на свойства почвы, урожайность, а также анализ и разработку способов противоэрозионной организации территории пашни проводились в НИИ сельского хозяйства Центрально-Черноземной полосы им. В.В. Докучаева [35]. Долговременное изучение эффективности обработки почвы проводилось на опытном стационаре в Ростовской области на черноземе обыкновенном за период с 1976 по 2017 гг. [62]. Гидротехническим и лесотехническим мероприятиям с 2000 по 2021 гг. посвящено лишь около десятка статей [11, 40].

Обзоры по данному вопросу в последние десятилетия крайне малочисленны. В частности, в Республике Беларусь был составлен обзор

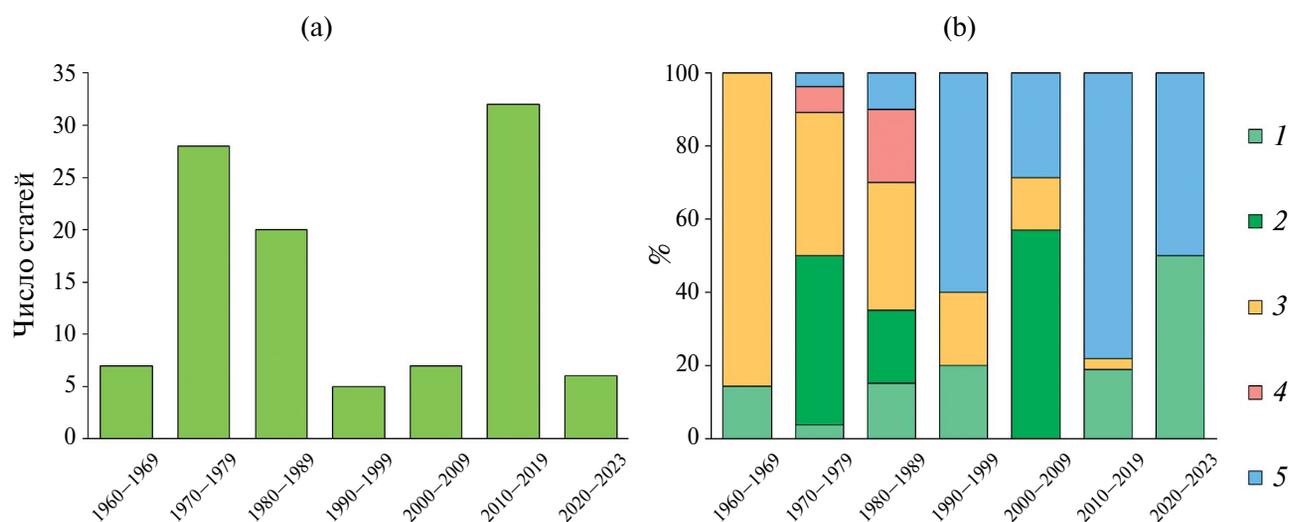


Рис. 1. Количество публикаций с 1960 по 2023 гг. (а). Структура публикаций о противоэрозионных мероприятиях с 1960 по 2023 гг.: 1 – монографии, 2 – рекомендации, 3 – статьи в журналах, 4 – статьи в сборниках, 5 – патенты (б).

противоэрозионной эффективности мероприятий на дерново-подзолистых почвах, проведенный на основе опытов и анализа литературных данных [88].

Патентование отдельных разработок началось еще в 1970-х гг., но наиболее активная публикация патентов (по их количеству в год) началась в 2000-е гг. (рис. 1б). Некоторая часть патентов является доработкой опубликованных ранее патентов, такие патенты не были внесены в реестр (табл. S1), анализ проводился по первоисточникам. Небольшое число патентов, процитированных в статьях, где описывается их применение и эффективность.

Типизация противоэрозионных мероприятий. На сегодняшний день в России нет единой типизации противоэрозионных мероприятий. В обзоре отечественной и зарубежной практики предотвращения смыва почв с сельскохозяйственных полей [48] выделены различные группы методов, например, консервация почв, планировка территории, почвосберегающие методы обработки (почвозащитные технологии) и т.д. Однако в настоящей статье не рассматривается деление групп и иерархия противоэрозионных мероприятий.

В работе Каштанова [24] рассмотрены только агротехнические противоэрозионные мероприятия, которые разделены на две группы: общие (вспашка, рыхление, культивация, боронование и др.) и специальные (обвалование зяби, бороздование, лункование, шелвание, кротование и др.).

В работе Кирюшина [29] представлена классификация обработок почвы, включающая системы, подсистемы и приемы обработки почвы в севообороте. Выделяются следующие системы: отвальная, мульчирующая, комбинированная, нулевая,

гребне-грядовая. В системах используется специальный набор противоэрозионных мероприятий. Но, как и в классификации [25], В.И. Кирюшин рассматривает применение агротехнических мероприятий. Подходы этих авторов к классификации обработок почвы были учтены в данной работе при рассмотрении агротехнических мероприятий.

В классификации Швевса [93] основное внимание уделено оценке эффективности мероприятий. Приемы объединяются в группы (виды), однотипные по воздействию на смыв. Для оценки эффективности приема среди группы выбирается условный эталон, а все остальные приемы рассматриваются как его модификации и сравниваются с ним по эффективности. Иерархия противоэрозионных мероприятий построена на усложнении воздействия противоэрозионного приема на агроценозы. От предпосевного рыхления почвы до противоэрозионной структуризации мезорельефа (террасирование). Однако такая схема для всех противоэрозионных приемов и систем не очень удобна для обзора. С одной стороны, все противоэрозионные приемы иерархически связаны, с другой стороны все модификации приема оказываются равноценными.

В учебнике [37] описываются мероприятия, направленные на предупреждение водной эрозии, и они разделяются на агротехнические, агролесомелиоративные, гидротехнические и организационно-хозяйственные, однако химические мелиорации не были рассмотрены. Этот перечень был взят за основу в типизации противоэрозионных мероприятий в данной работе.

Авторами была доработана типизация противоэрозионных мероприятий с учетом существующих указанных выше типизаций (табл. 2S). Выделены



Рис. 2. Схема таксономических уровней авторской классификации противоэрозионных мероприятий.

пять иерархических уровней. Концептуальная схема типизации показана на рис. 2.

Согласно проведенному обзору, агротехнические мероприятия были разделены на 18 приемов, которые в свою очередь включают 41 способ. Гидротехнические мероприятия были разделены на 19 приемов; способы были выделены только для отдельных приемов. Лесомелиоративные и химические мелиорации включали по 6 приемов.

Агротехнические противоэрозионные мероприятия направлены на обеспечение эффективности производства и защиты почв от эрозии путем задержания или регулирования поверхностного водного стока, улучшения сложения и повышение плодородия смытых почв. Они требуют относительно небольших затрат труда и средств, оказывают быстрое действие. Все агротехнические мероприятия можно дифференцировать на следующие типы: обработка почвы – водозадерживающая и противоэрозионная, фитомелиорация – использование растительного покрова для защиты почвы от эрозии [16, 86] и снежная мелиорация – снегозадержание с регулированием снеготаяния [54, 66]. Комплексное применение этих мероприятий обеспечивает эффективную защиту сельскохозяйственных угодий от действия эрозии, но имеет короткое действие, что приводит к необходимости ежегодного повторения. Основное требование при выполнении противоэрозионных мероприятий – проведение полевых работ поперек склона.

Литературный анализ выявил большое количество способов, т.е. отдельных видов мероприятий внутри приемов. Отметим, что многие из способов на сегодняшний день не используются. Например, в настоящее время сложно встретить ступенчатую, комбинированную, ярусную и кулисную вспашки, перекрестную и прерывистую бороздование, валкование, лункование, микролиманы, полосное рыхление, кулисы из мульчи и пожнивных остатков. Тем не менее некоторые приемы активно

используются в современной земледелии, например, обычная отвальная вспашка, боронование, дискование, различные способы безотвальной вспашки; промежуточный, совместный и поперечный посевы культур; внедрение различного рода почвозащитных севооборотов и другие.

Лесомелиоративные противоэрозионные мероприятия. Система защитных лесных полос и сеть полезащитных насаждений в колхозах и совхозах была развернута в 1950-е гг. XX в. в степных и лесостепных районах европейской части страны по плану преобразования природы 1948 г. Проект подкреплялся ссылками на работы по полезащитному лесоразведению В.В. Докучаева, П.А. Костычева, М.К. Турского, Г.Ф. Морозова [29]. Однако к настоящему моменту площадь защитных лесных насаждений в России сократилась почти вдвое: из 5,2 млн га в настоящее время сохранилось 2,74 млн, около 60% всех защитных насаждений превысили допустимый критический возраст [40]. На региональном уровне в некоторых областях: Белгородской, Волгоградской – ведутся работы по ремонту и посадке деревьев. В Волгоградской области проводят исследования по обоснованию выбора критериев и параметров для проектирования и оценки эффективности мероприятий и приемов лесомелиораций [4, 77].

На сегодняшний день основным документом по созданию лесозащитных насаждений является Федеральный закон от 10 января 1996 года № 4МФЗ “О мелиорации земель”, согласно которому создание систем защитных лесных насаждений является одним из мелиоративных мероприятий, а земли, на которых они осуществлены, относятся к мелиорированным. Однако более 70% защитных лесных полос страны располагаются на земельных участках, государственная собственность на которые не разграничена, и их состояние определено как неудовлетворительное [69].

Лесные насаждения нуждаются в постоянном уходе, особенно на ранних этапах развития, когда деревья еще не окрепли. Например, в патенте [76] предлагается высевать семена на склонах в слой соломы, покрытой клеящим веществом органического состава для их закрепления.

Гидромелиоративные противоэрозионные мероприятия устраивают для регуляции потоков талых и ливневых вод в оврагах и балках. Комплексы сооружений начинаются с головных установок и заканчиваются запрудами. Гидротехнические сооружения требуют тщательных расчетов, больших затрат на построение и могут требовать особых материалов для постройки. Ошибки при строительстве даже простых конструкций могут вызвать катастрофический смыв. Например, для водозадержания на склонах могут строить валы, однако при разрушении одного из них, расположенные

ниже будут разрушены концентрированным потоком. Гидротехнические сооружения часто применяются как дополнение к лесомелиоративным мероприятиям: валы и каналы, для отвода концентрированного ливневого стока и накопленной талой воды от лесополосы.

Химические мелиорации в целом имеют комплексное назначение и направлены на повышение качества и урожайности сельскохозяйственных культур и/или почв. Важно отметить, что некоторые химические мелиорации способствуют повышению урожайности культур, но не способствуют улучшению свойств почв, а в некоторых случаях могут даже приводить к ухудшению свойств почв и снижению их противоэрозионной устойчивости.

Иные химические мелиорации, напротив, направлены на улучшение свойств почв. Такие мелиорации применяются направленно на эродированных почвах для их частичного восстановления. Тем не менее они лишь косвенно способствуют защите почв от эрозии.

В данном обзоре рассматриваются химические мелиорации, направленные непосредственно на

снижение эрозии почв. В первую очередь они направлены на поддержание почвенной структуры: способствуют агрегации распыленной почвы или повышению прочности и водостойчивости существующих почвенных агрегатов [17, 51]. Используются композиции из сорбентов влаги, таких как гидрогели [81] или полиэлектролиты и минеральных наполнителей [96] из терриконовой породы, бентонитовой глины, керамзитового отсева, известняка-ракушечника. Чаще такие композиции разрабатывают для закрепления песков, склонов отработанных карьеров. Но также применяют для распаиваемых земель на склонах, почв легкого гранулометрического состава [97]. В этом случае структурообразователь не только защищает почву от поверхностного смыва, но и препятствует дефляции [52]. Для улучшения структуры применяют также биологические добавки – торфогели [10].

Региональные особенности применения противоэрозионных мероприятий. В каждом регионе России защита почв от эрозии имеет свои особенности (рис. 3). Противоэрозионные мероприятия должны быть научно-обоснованно адаптированы к местным условиям. К сожалению, в литературе

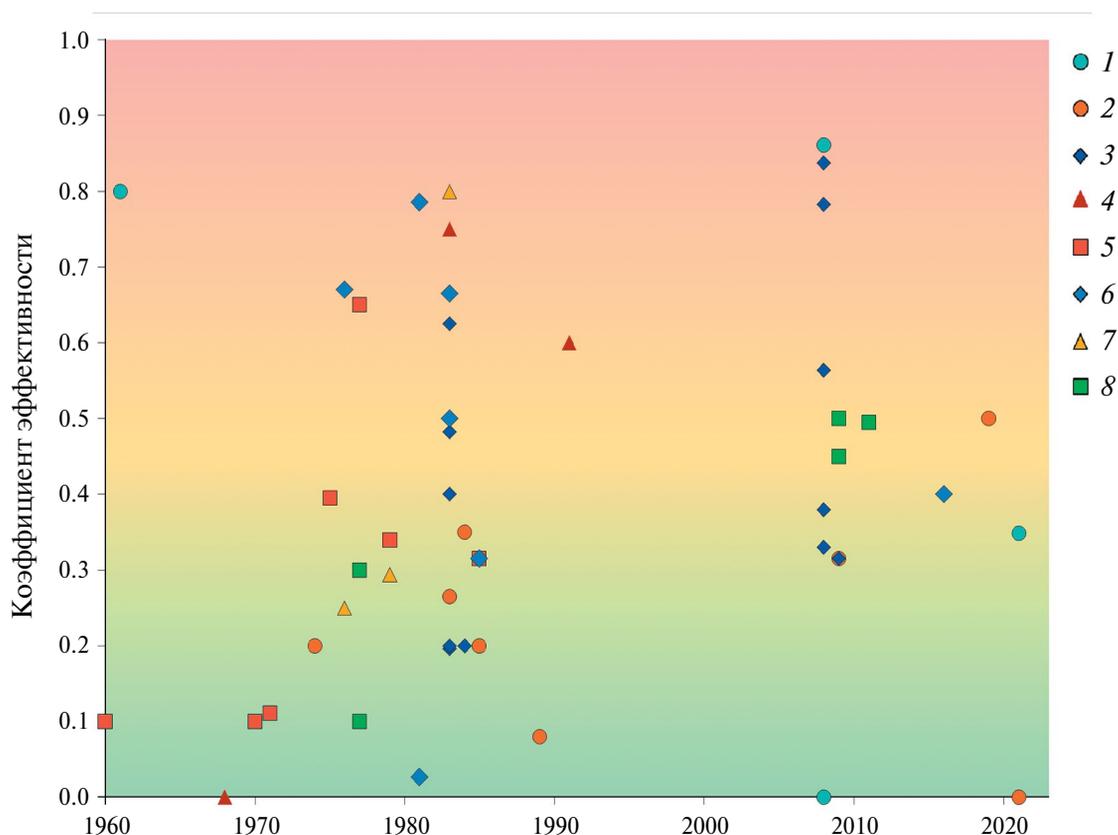


Рис. 3. Коэффициент эффективности агротехнических приемов в литературных источниках разных лет: 1 – отвальная вспашка поперечная/контурная, 2 – безотвальная вспашка, 3 – вспашка с почвоуглублением, 4 – ступенчатая вспашка, 5 – противоэрозионный нанорельеф, 6 – поделка водоотводных борозд, 7 – щелевание, 8 – способы посева культур.

относительно мало информации об ограничениях различных мероприятий.

В *Нечерноземной зоне* проведение противоэрозионных мероприятий главным образом направлено на борьбу с избытком талых и ливневых вод. Целью мероприятий является отвод лишней влаги в гидрографическую сеть за пределы полей, а также перевод поверхностного стока во внутрпочвенный. Для этого в Нечерноземье при проведении зяблевой обработки почвы применяется преимущественно отвальная вспашка. О необходимости проведения вспашки поперек склона в конце XIX в. писали Зеленский [20], Измаильский [23], Костычев [34], Масальский [49] и др. Как показали многочисленные исследования, проведенные в разных регионах страны [6, 38, 44, 46, 64, 65, 70, 73, 79, 83, 91, 97], вспашка почвы и посев сельскохозяйственных культур поперек склона обеспечивает задержание значительной части талых вод. Отвальная вспашка поперек склона является основным противоэрозионным мероприятием, вместе с которым могут быть применены специальные почвозащитные или водозадерживающие приемы обработки или дополнительные гидро- и лесомелиоративные мероприятия.

В 1940-80-е гг. в Нечерноземье наблюдались морозные зимы с мощным снежным покровом и интенсивным снеготаянием весной. Это приводило к повсеместному распространению талой эрозии. Поэтому основное внимание уделялось разработке методов борьбы с талым смывом. Так, в 60-х гг. прошлого века, для задержания или перераспределения поверхностного стока воды и сокращения смыва почвы при озимой обработке широко применялись дополнительные специальные достаточно сложные и трудоемкие приемы: лункование, валкование, обвалование зяби, прерывистого и наклонного бороздования и др. [8, 45, 71]. В СССР выпускались машины и оборудование для выполнения таких полевых работ. В настоящее время, в связи с потеплением климата и наступлением мягких зимних периодов, сопровождающихся частыми оттепелями с впитыванием влаги зимних осадков, действие талой эрозии значительно уменьшается и не наносит заметного ущерба поверхности пашни [3]. Поэтому сейчас для увеличения задержания и поглощения влаги большинство авторов рекомендует использование приемов глубокой обработки для увеличения мощности, окультуривания и улучшения агрофизических показателей корнеобитаемого слоя эродированных почв. Для этих целей используют вспашку с почвоуглублением [24], ступенчатую [73], ярусную [22] или с глубоким рыхлением подпахотных слоев. На почвах с малой мощностью гумусового горизонта или на смьтых вариантах используют безотвальную обработку — вспашку, чизелевание или культивацию, чтобы не выворачивать на поверхность малопродуктивные

горизонты [69, 77]. Глубокая вспашка на >25 см считается энергоемким мероприятием, поэтому ее рекомендуется проводить 1–2 раза за ротацию севооборота и чередовать с обычной вспашкой или безотвальными приемами обработки почвы — пахотой, дискованием, лущением и т.п. [24, 68].

Сильно изрезанные промоинами, оврагами склоны и сильноосмытые непригодные для сельскохозяйственного использования участки рекомендуется отводить под облесение [67, 85]. Лесные насаждения позволяют укрепить откосы и остановить рост оврагов. При наличии активных вершинных оврагов лесомелиорацию сочетают с гидротехническими мероприятиями: водозадерживающими валами и водоотводными канавами [8, 66, 78].

Также используются безотвальная обработка с мульчированием или укрытием поверхности почвы соломой, стерней, пленками и другими материалами [19, 67]. В областях с большим весенним стоком почвозащитные мероприятия дополняют созданием на полях буферных полос из многолетних трав и залужением водоотводящих ложбин и сильноэродированных балок [5, 9]. На тяжелых почвах, в посевах озимых и трав, систему зяблевой обработки рекомендовано дополнять проведением щелевания замерзшей поверхности, позволяющим увеличить поглощение талой влаги и уменьшить сток [5].

В *Черноземной зоне европейской территории России*, особенно в засушливых южных лесостепных и степных районах, главной особенностью земледелия и защиты почв от эрозии является, с одной стороны, дефицит влаги в вегетационный период, с другой стороны, неустойчивое распределение осадков и выпадение эрозионно-опасных ливней. В связи с этим система обработки почвы на склонах направлена на максимальное впитывание выпадающих осадков и предупреждение потерь влаги на сток и непродуктивное испарение. В Черноземной зоне используется наибольшее количество разнообразных противоэрозионных мероприятий. Основное внимание уделяется агротехническим приемам, направленным на задержание и поглощение влаги с использованием, как отвальной, так и безотвальной зяблевой вспашки.

В СССР большая часть почвозащитных технологий возделывания сельскохозяйственных культур основывалась на проведении отвальной вспашки с одновременным формированием на полях лунок [5, 45], гребней [74], борозд [9], валков [30, 65], микролиманов [47] или проведения почвоуглубления [77], полосного глубокого рыхления [33], щелевания [82, 87], кротования [5] и других приемов. Эти мероприятия значительно уменьшали или устраняли поверхностный сток талых и ливневых вод, увеличивали водопроницаемость и ускоряли поглощение воды почвой.

В настоящее время отмечается переход на внедрение более эффективных и менее энергозатратных приемов возделывания почвы с использованием орудий, обеспечивающих безотвальную обработку с сохранением стерни и созданием мульчирующего слоя из растительных остатков на поверхности [25, 68]. В зависимости от свойств почв такая обработка проводится разными орудиями: культиваторами, плоскорезами, чизелями, дисковыми боронами и т.д. Но по мнению некоторых исследователей [32] приемы минимизации с заменой основной осенней обработки на склонах на поверхностную обработку зяби плоскорезами и боронами не позволяют достичь высокого противоэрозионного эффекта. Уменьшение глубины обработки почвы сопровождается уменьшением водопроницаемости подпахотных слоев и увеличением объема стока талых вод. С этими негативными явлениями может справиться ступенчатая вспашка, при которой плуги расположены на разном уровне, глубокие плуги нарушают целостность подпахотного слоя и дно борозды приобретает ступенчатый профиль [35].

Хорошие результаты в Черноземье показывают простые и давно применяемые приемы изменения микрорельефа поверхности пашни: комбинированная и гребнистая вспашки [1]. На полях озимых с выровненной поверхностью или в междурядьях пропашных культур для увеличения запасов влаги и уменьшения стока применяют щелевание почвы [44]. Для склонов, осложненных ложбинами основную обработку, дополняют глубоким полосным рыхлением, уменьшающим сток и увеличивающим поглощение выпадающих осадков в 2–3 раза [16], или проводят гребнекульную вспашку [92].

К важным агротехническим мероприятиям в Черноземной зоне в прошлом веке относили снежные мелиорации: валкование, полосное уплотнение и чернение снега, позволяющие регулировать снеготаяние и увеличить запасы влаги на полях [54, 67]. Однако в настоящее время в связи с изменением климата снежные мелиорации в Черноземной зоне европейской территории России применяются редко.

Противоэрозионные мероприятия обязательно включают облесение оврагов и залужение крупных ложбин и балок. В дополнение к овражно-балочным насаждениям рекомендуется создание сети водорегулирующих и полезащитных лесных полос, которые рассеивают и снижают скорость потоков воды на склонах. Совмещение лесополос с водозадерживающими и водорегулирующими валами и канавами полностью задерживает сток и останавливает эрозию почв на прилегающих полях [55, 60, 80].

Для закрепления оврагов используют постоянные водозадерживающие земляные валы или бетонные сооружения в сочетании с созданием прудов и водоемов [14, 68].

Черноземная зона Сибири характеризуется резко континентальным климатом с часто повторяющимися засухами. При этом механизм эрозии почв существенно меняется в разных районах, что требует использования разных систем почвозащитных мероприятий. На юге Западной Сибири необходима защита почв от талого смыва, в Хакасии существенную опасность представляет ветровая эрозия, в Прибайкалье и Забайкалье деградация почв происходит под совместным воздействием ливневого смыва и дефляции [2]. Также особенностью систем земледелия является почти полное отсутствие посевов озимых, которые вымерзают в суровые зимы. Отсутствие растительного покрова на поверхности пашни в осенне-зимний период и ранней весной приводит к развитию эрозионных процессов.

На юге Сибири меньше используют отвальную обработку, чем в Черноземной зоне европейской территории России, в основном применяют безотвальную обработку почвы с сохранением стерни и растительных остатков на поверхности пашни [24, 25]. В рекомендациях [68] указывается, что плоскорезная обработка должна быть главным приемом основной обработки почв на склоновых землях. Также для сокращения числа рыхлений еще в 1970-е годы было предложено применять гербициды при уходе за чистым паром [53], в настоящее время этот способ также применяется [90]. Главными достоинствами предложенных способов являются минимизация воздействия и создание мульчирующего слоя из растительных остатков [26]. Все основные приемы обработки почвы выполняются без оборота пласта пахотного горизонта, а только рыхлением и частичным перемешиванием в сочетании со щелеванием [57] или послыйной обработкой в два срока [32]. Они характеризуются относительно высокой почвозащитной эффективностью. Также рекомендуется применение лункования [57, 58]. Обработки могут проводить в зависимости от свойств почвы самыми разными орудиями: плоскорезами, чизелями, дисковыми боронами, культиваторами и т.д. [24]. В засушливых условиях считается полезной и глубокая зяблевая вспашка, которую проводят раз в 3–5 лет. Она увеличивает запасы влаги в почве и уменьшает смыв [52].

Используются также следующие приемы: мульчирование соломой и другими материалами, сохранение пожнивных остатков и обработка поверхности пашни полимерами, повышающими устойчивость поверхности пашни к размывающему действию водных потоков [17, 52]. В настоящее время продолжают исследования и запатентованы новые методы защиты поверхности пашни с

применением мульчирующего посева и создания кулис из мульчи и растительных остатков [70, 74]. Для задержания снега на полях используют посе- вы кулис из высокостебельных культур и буферные полосы из многолетних трав.

Для борьбы с водной эрозией на территории Сибири также применяют гидротехнические со- оружения типа валов совместно с лесополоса- ми [56]. Однорядные лесные полосы в комплексе с валами, накапливают снег на полях, улучшают вод- ный режим почвы и повышают продуктивность облесенных агроландшафтов до 20%. Многолетние исследования показывают существенное снижение смыва при использовании валов в контурно-по- лосном размещении их на склонах пашни, обраба- тываемой под зябь [11].

Горные территории. В связи с сильной расчле- ненностью рельефа противоэрозионные меро- приятия здесь преимущественно представлены гидро- и лесомелиоративными разделами. Наи- более эффективным способом снижения эрозии и регулирования поверхностного стока на пахот- ных угодьях считается проведение нарезного или насыпного террасирования склонов. Ступенча- тые террасы с обратным уклоном резко снижают, смыв почвы на межтеррасных участках склонов и обеспечивают полное задержание стока и смываемой почвы с поверхности террас. В настоящее время предложены новые методы защиты крутых склонов с помощью водозадерживающих валов и дренажных траншей с полимерными наполнителя- ми [7, 95]. Система защитных лесных насаждений состоит из сплошного облесения сильно эродиро- ванных и селеопасных склонов, сохранения и улучшения естественной лесолуговой растительности.

Агротехнические мероприятия на горных скло- нах направлены на предупреждение поверхност- ного стока. Рекомендуется использовать глубокие плоскорезные обработки [26], прерывистое бороз- дование и щелевание междурядий садовых и про- пашных культур [45]. На длинных склонах земле- делие осуществляется полосами с чередованием посевов зерновых, кормовых культур и трав для снижения расходов воды и, как следствие, эроди- рующей способности потоков.

Анализ данных об эффективности применения противоэрозионных мероприятий. Существующие оценки эффективности противоэрозионных ме- роприятий имеют широкий разброс (табл. 3S). В настоящее время кажется очевидным, что опре- деление данного показателя должно проводиться в относительно близких геоморфологических условиях при продолжительном (многолетнем) опыте. Однако теоретические разработки плани- рования опытов начались лишь в 1980-е гг., и еди- ной схемы разработано не было. Противоэрози- онная эффективность оценивалась по величине

стока, мутности, запасам влаги, выносу питатель- ных веществ и урожайности [41]. Например, ав- торы в 1960-е гг., работавшие в разных областях: Воронежской, Ростовской, Полтавской и Москов- ской [9, 33, 54, 72], указывали, что при обвалова- нии зяби происходит полное прекращение смыва. Позднее в литературе встречали данные о сниже- нии смыва, а не полного его прекращения, напри- мер, в 2–3.5 раза в Воронежской области [31], а в Башкирии (Зауралье) КЭ составил 0.33–0.30 [45]. Такой разброс объясняют различными условиями опытов: разным положением в рельефе, площадью полей и, как следствие, протяженности линий то- ков воды [62]. Также на оценки смыва почв влия- ет продолжительность опытов, так как за время их проведения может не наблюдаться значительного смыва на контроле [41].

Отмечается большой разброс в эффективности различных видов вспашки – КЭ отвальной вспаш- ки на глубину 20 см с почвоуглублением до 35 см поперек склона (3–5°) составляет по сведениям разных авторов от 0.2 до 0.8, в среднем 0.4 и при- бавку урожая зерновых около 2 ц/га [25, 63, 77]. Высокие показатели КЭ приводят для ступенчатой вспашки – 0.7–0.8 [22, 64, 78] и кулисной вспаш- ки – 0.7 [16, 92]. Для безотвальной вспашки пло- скорезом КЭ очень высокий и находится в диапа- зоне 0.2–0.3 [24, 31].

При описании водозадерживающих обработок объем дополнительного запаса влаги в почве ча- сто выходит на первое место, и данных об умень- шении смыва при использовании водозадержи- вающих обработок значительно меньше, чем у противоэрозионных обработок. Для лункования описана разная эффективность, так в Кировской и Горьковской областях КЭ этих мероприятий со- ставил 0.8–0.7 [5, 67], а в Башкирии 0.3–0.33 [45], прибавка урожая ячменя примерно 2 ц/га, яровых зерновых 0.8–1.1 ц/га, запасы влаги увеличивались на 330 м³/га.

Различные виды посевов, сравнивая с рядо- вым, также имеют очень высокие показатели эф- фективности. Для Ростовской области бороздко- вый посев имеет КЭ 0.7–0.8, а узкорядный посев – КЭ 0.9 [16]. Во Владикавказе КЭ кулисного посева составил 0.42–0.57 [86]. КЭ мульчирования почвы составляет 0.33 для Нечерноземной области [65].

Среди агротехнических мероприятий больше всего разрабатывали противоэрозионные приемы обработки почв (вспашки на разную глубину, без- отвальные вспашки) (рис. 3). Основная масса раз- работок приходится на 1960–1985 гг. Далее оценки эффективности мероприятий малоисчисленны. В по- следнее время запатентовано несколько разрабо- ток поверхностных обработок и способов посева культур. Средний КЭ агротехнических приемов составил для различных видов вспашки 0.5, для

поверхностных обработок — также 0.5, для безотвальной вспашки — 0.2, для различных посевов культур — 0.28, поделки водоотводных борозд — 0.63, противоэрозионного нанорельефа — 0.55. Среди проанализированных агротехнических мероприятий наиболее эффективным следует признать безотвальную вспашку с КЭ от 0.1 до 0.3, что соответствует снижению темпов эрозии почв на 70–90%.

Данные об эффективности гидромелиоративных сооружений для перехвата и отвода стока практически отсутствуют в литературе. Указана эффективность водоотводных борозд [9], и она имеет большой разброс КЭ от 0.19 до 0.83 на несмытых и 0.09–0.05 на средне- и сильносмытых почвах в Тульской и Московской областях, а прибавка урожайности зерновых составляла 8 ц/га.

Химические мелиорации с применением структурообразователей в условиях Узбекистана характеризуются КЭ 0.5–0.4 [17], в поливных бороздах КЭ составил 0.1 [51], а прибавка урожая хлопка оказалась более 5 т/га. В настоящее время существует множество патентов различных структурирующих составов, например, [96] для Ростовской области, приводящий к снижению стока в зависимости от уклона орошаемого массива — на 15% и интенсивности — на 20%. Использование биогеля на основе торфа имеет КЭ, равный 0.14 [10], а КЭ геля на основе экзотического гуара составил 0.4 [87].

Особенности современного применения противоэрозионных мероприятий. Разработка и освоение почвозащитного земледелия является значимым направлением для дальнейшего устойчивого развития России и мира.

Значительным шагом в развитии почвозащитного земледелия стала разработка адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Данные системы земледелия разрабатывают применительно к определенным агроэкологическим группам земель, исходя из их природного состояния и биологических, агротехнологических нужд растений [28]. Для эрозионных земель такими операциями являются преимущественно противоэрозионные мероприятия и почвозащитные севообороты [29].

Таким образом, в настоящее время противоэрозионные мероприятия применяют, как правило, не по отдельности, а в комплексе с другими технологическими операциями.

Различающиеся почвенно-климатическими условиями зоны России обуславливают применение различных систем земледелия. Часто научно обоснованные противоэрозионные мероприятия описывают по отдельности, однако в практике они зачастую применяются комплексно. С целью обеспечения эффективного ведения земледелия разрабатывают зональные организационно-технические

системы возделывания культур, включающие комплекс противоэрозионных мероприятий, адаптированных к местным условиям. В основе таких систем земледелия заложен принцип почвозащитной целесообразности и экологической адаптивности приемов и технологий обработки.

В современных системах земледелия важно учитывать тренды пространственно-временных изменений протекания эрозионно-аккумулятивных процессов. В последние несколько десятилетий отмечают существенные изменения механизмов и темпов эрозии почв. В частности, в последние десятилетия сильно сократились темпы прироста оврагов в лесных и лесостепных ландшафтах Восточно-Европейской равнины [18]. В связи с этим внедрение лесополос и иных мероприятий, направленных на борьбу с овражной эрозией, приобретает все более локальный характер.

В связи с изменением климата отмечается очень сильное сокращение талого стока, особенно на территории Европейской России, [3] и, как следствие, сокращение талого смыва. В результате в лесостепной и степной зонах европейской территории России в настоящее время практически не требуется применение противоэрозионных мероприятий, направленных на борьбу с весенним смывом почв.

Сокращение талого смыва, вероятно, является одной из причин изменения пространственной структуры транспорта и накопления наносов. В некоторых исследованиях малых водосборов [15, 36] отмечают аккумуляцию наносов в распахиваемых ложбинах в последние десятилетия. К сожалению, остается широко распространенным мнение о необходимости залужения ложбин, что далеко не всегда оказывается нужным в современных условиях.

В предгорных степных равнинах Сибири отмечается существенные колебания температуры, скорости ветра и увлажнения, что приводит к чередованию сухих (с преобладанием ветровой эрозии) и влажных периодов (с преобладанием ливневой эрозии). При этом в разных районах Сибири в настоящее время наблюдаются различные, а места даже противоположные тренды [2]. Безусловно требуется адаптация почвозащитных мероприятий под такие климатические флуктуации.

Кроме того, важно отметить очень сильные изменения в площади распахиваемых земель, которые произошли в последние три десятилетия [42, 43]. В частности, во многих областях Нечерноземья площадь распахиваемых земель в 1990-е гг. XX в. сократилась вдвое и более, что сильно снизило объемы эрозионных потерь почв, так как выведенные из оборота земли быстро зарастают естественной растительностью, которая защищает почву от смыва. В настоящее время залежные земли вновь

вовлекают в оборот, что стимулирует развитие новой волны усиления эрозии почв. Кроме того, наиболее плодородные земли практически не забрасывали, что в отсутствие применения почвозащитных мероприятий способствовало их деградации. Более того в лесостепной и степной зонах европейской территории значительно снизилась почвозащитная способность агроценозов на фоне роста эрозионного потенциала ливневых осадков [42].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный литературный анализ показал наличие описаний большого количества технологических приемов и устройств, направленных на сокращение эрозии почв. Имеющаяся информация о противоэрозионных мероприятиях слабо систематизирована и не имеет общепринятой типизации. Предложенная авторская типизация позволила систематизировать все найденные в литературе противоэрозионные мероприятия.

Информация об эффективности применения противоэрозионных мероприятий в различных агроэкологических условиях в значительной степени противоречива. Во многом противоречия обусловлены тем, что теоретические разработки планирования опытов начались лишь в 1980-е годы, но единой схемы учета эффективности противоэрозионных мероприятий разработано не было. Среди проанализированных агротехнических мероприятий наиболее эффективным следует признать безотвальную вспашку, которая, согласно литературным данным, способствует снижению эрозии почв на 70–90%. Несмотря на существенное варьирование оценок, в среднем агротехнические мероприятия способствуют снижению темпов эрозии почв вдвое.

Проведенный анализ показал значительный спад научного интереса к научно-практическим разработкам по борьбе с эрозией почв в последнее десятилетие. Большая часть приемов и способов по борьбе с эрозией почв была разработана в 1960–1980-х гг. В настоящее время такие разработки относительно малочисленны, представлены в основном патентами и слабо используются в практике. Представляется крайне важным возрождение данного направления эрозиоведения.

В последние десятилетия в России происходят значительные изменения в интенсивности и характере протекания эрозии почв под влиянием климатических изменений и социально-экономических преобразований в аграрно-промышленном комплексе. Значительно колеблется площадь распаханых и залежных земель, отмечается сокращение талого смыва и темпов прироста оврагов, в ряде регионов увеличивается эрозионный потенциал ливневых осадков на фоне снижения почвозащитной способности сельскохозяйственных культур,

наблюдаются сильные флуктуации в интенсивности ветровой эрозии почв и т.д. На фоне имеющейся в литературе информации о трендах варьирования факторов и процессов эрозии почв отмечается практически полное отсутствие каких-либо рекомендаций, направленных на адаптацию существующих противоэрозионных мероприятий к глобальным и региональным изменениям.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена лабораторией эрозии почв Почвенного института им. В.В. Докучаева в рамках государственного задания Министерства науки и образования РФ № FGUR-2022-0015

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Онлайн-версия содержит дополнительные материалы, доступные по адресу <https://doi.org/10.31857/S0032180X24090063>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов П.И. Выбор противоэрозионных приемов по задержанию стока на полях // Проектирование противоэрозионных мероприятий. Сб. науч. тр. М.: ГИЗР, 1973. С. 108–116.
2. Баженова О.И. Современная денудация предгорных степных равнин Сибири. Новосибирск: Гео, 2018. 259 с.
3. Барабанов А.Т., Долгов С.В., Коронкевич Н.И., Панов В.И., Петелько А.И. Поверхностный сток и инфильтрация в почву талых вод на пашне в лесостепной и степной зонах Восточно-Европейской равнины // Почвоведение. 2018. № 1. С. 74–81 <https://doi.org/10.7868/S0032180X18010069>
4. 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. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН6 2020. 100 с.
5. Беляев В.А. Борьба с водной эрозией почв в Нечерноземной зоне. М: Россельхозиздат, 1976. 160 с.
6. Богомолов Д.В. Влияние продольной и поперечной вспашки на склонах на развитие поверхностного

- стока и эрозионных явлений // Почвоведение. 1943. № 6. С. 14–19.
7. *Борисенко И.Б., Овчинников А.С., Плескачев Ю.Н., Чамурлиев О.Г.* Патент № 2644569 С1 // Бюл. изобр. 2018 № 5. С. 1–4.
 8. *Брауде И.Д.* Система агротехнических противоэрозионных мероприятий в Нечерноземной зоне Европейской части СССР // Агротехнические методы борьбы с водной эрозией почв. Курск, 1972. 72 с.
 9. *Брауде И.Д.* Эрозия почв, засуха и борьба с ними в ЦЧО. М.: Наука, 1965, 140 с.
 10. *Володина О.В., Смородько А.В., Проценко Е.П. и др.* Пат. РФ № 2562382 С1 // Бюл. изобр. 2015 № 25. С. 1–6.
 11. *Вольнов В.В., Бойко А.В., Чичкарев А.С.* Опыт использования противоэрозионных гидротехнических сооружений в борьбе со стоком талых вод и смывом пахотных почв на склоновых землях Алтайского края // Вестник Алтайского гос. аграрного ун-та. 2017. № 6. С. 42–48.
 12. *Гаевая, Э.А., Тарадин С.А., Нежинская Е.Н.* Приемы возделывания ярового ячменя, увеличивающие его урожайность на эрозионно-опасных склонах // Аграрные конференции. 2018. № 3. С. 1–10.
 13. *Глушко А.Я.* Влияние водной и ветровой эрозии на земельный фонд юга европейской части России // Известия Дагестанского гос. пед. Ун-та. Естественные и точные науки. 2010. № 1. С. 75–85.
 14. *Голосов В.Н., Литвин Л.Ф.* Результаты обследования водозадерживающих валов // Земледелие. 1989. № 3. С. 29–30
 15. *Голосов В.Н., Жидкин А.П., Петелько А.И., Осипова М.С., Иванова Н.Н., Иванов М.М.* Полевая верификация эрозионных моделей на основе исследований малого водосбора в бассейне р. Воробжи (Курская область) // Почвоведение. 2022. № 10. С. 1321–1338. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22100045>
 16. *Грызлов Е.В., Зайцев В.Н., Демченко И. П., Слесарев Н.И., Полуэктов Е.В., Кострова С.С., Рожков Н.М., Бурдин А.С.* Результаты исследований по защите почв от водной эрозии в Ростовской области // Водная эрозия почв и борьба с ней. М.: Колос, 1977. 124 с.
 17. *Гусак В.Б.* Опыт применения гуминовых и полимерных препаратов на сероземах в целях улучшения их структуры и борьбы с эрозией // Почвоведение. 1961. № 8. С. 42–53.
 18. *Ермолаев О.П., Медведева Р.А., Иванов М.А.* Современная овражная эрозия в лесных и лесостепных ландшафтах востока Русской равнины // Геоморфология. 2021. Т. 52. № 4. С. 28. <https://doi.org/10.31857/S0435428121040064>
 19. *Жук А.Ф.* Способ противоэрозионной обработки почвы // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. № 6. С. 10–15.
 20. *Зеленский И.К.* Вернейшие средства получать огромный доход с населенных имений, равно удобные и при больших и маленьких имениях. М., 1853.
 21. *Иванов А.Л., Савин И.Ю., Столбовой В.С., Аветян С.А., Шишконокова Е.А., Каштанов А.Н.* Карта агрогенной эродированности почв России // Доклады РАН. Науки о Земле. 2020. Т. 493. № 2. С. 99–102. <https://doi.org/10.31857/S2686739720080095>
 22. *Ильина Л.В., Е.И. Иваницкая* Какой должна быть обработка почвы в Рязанской области // Земледелие. 1991. № 4. С. 52–55.
 23. *Измаильский А.А.* Как высохла наша степь // Полтава. Л.: Сельхозгиз. 1893. 76 с.
 24. *Каштанов А.Н.* Земледелие. Избр. тр. М.: Россельхозакадемия, 2008. 685 с.
 25. *Каштанов А.Н.* Эрозия почв и меры борьбы с ней на Алтае // Водная и ветровая эрозия почв и меры борьбы с нею в Сибири. Новосибирск: Наука, 1974. 164 с.
 26. *Кененбаев С.Б., Иорганский А.И., Барангазиев Б.К.* Повышение эффективности растениеводства в эрозионных агроландшафтах юга-востока Казахстана // Эрозия почв: проблемы и пути повышения эффективности растениеводства. Ульяновск, 2009. 182 с.
 27. *Кирюшин В.И.* Экологизация земледелия и технологическая политика / М.: Изд-во МСХА, 2000. 413 с.
 28. *Кирюшин В.И.* Проблема экологизации земледелия в России (белгородская модель) // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 12 С. 3–9.
 29. *Кирюшин В.И.* Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов. М.: Колосб 2013. 739 с.
 30. *Кирюшин В.Д.* Противоэрозионная организация территории. М.: Колос. 1973. 160 с.
 31. *Комаров М.И.* Агрономическая оценка приемов комбинированной обработки почвы на склонах в целях защиты их от водной эрозии в Центрально-Черноземной зоне // Эрозия почв и почвозащитное земледелие, 1975. С. 175–177.
 32. *Комаров М.И., Рогов А.Н.* Послойная плоскорезная обработка склонов // Земледелие. 1989. № 3. С. 56–57.
 33. *Комлев А.А.* Экономика противоэрозионной мелиорации. М.: Колос, 1970. 152 с.
 34. *Костычев П.А.* К вопросу об обработке черноземных почв // Сельское хозяйство и лесоводство. 1886. № 3. С. 216–231.
 35. *Котлярова О.Г.* Почвозащитная система в интенсивном земледелии Центрально-Черноземной

- зоны. // Всеросс. Отд.-ние ВАСХНИЛ НИИ с/х Центр.-Чернозем. Полосы им. В.В. Докучаева. Воронеж: Центр.-Чернозем. кн. изд-во, 1990. 226 с.
36. Кошовский Т.С., Жидкин А.П., Геннадиев А.Н., Иванова Н.Н. Диагностика, генезис и локализация педоседиментов в пределах малого водосбора (Среднерусская возвышенность) // Почвоведение. 2019. № 5. С. 529–543.
 37. Кузнецов М.С., Глазунов Г.П. Эрозия и охрана почв. М.: Юрайт, 2019. 380 с.
 38. Кузник И.А. Влияние зяблевой вспашки на сток // Соц. зернов. хоз-во 1938. № 6. С. 79–95.
 39. Кулагин А.М., Шуравилин А.В. Почвозащитные способы основной обработки почв на склонах среднегорья Алтая // Мелиорация и водное хозяйство. 2009. № 2. С. 39–41
 40. Кулик К.Н., Барабанов А.Т., Манаенков А.С. Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации на период до 2020 года. Волгоград, 2008. 34 с.
 41. Лисецкий Ф.Н., Светличный А.А., Черный С.Г. Современные проблемы эрозиоведения / Под ред. Светличного А.А. Белгород: Константа, 2012. 456 с.
 42. Литвин Л.Ф., Кирюхина З.П., Краснов С.Ф., Добровольская Н.Г. География динамики земельной эрозии почв на Европейской территории России // Почвоведение. 2017. № 11. С. 1390–1400. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17110089>
 43. Литвин Л.Ф., Кирюхина З.П., Краснов С.Ф., Добровольская Н.Г., Горобец А.В. География динамики земельной эрозии почв Сибири и Дальнего Востока // Почвоведение. 2021. № 1. С. 136–148
 44. Лысак Г.И. Противоэрозионная агротехника в Чермасано-Демской степи Башкирии // Эрозия почв и борьба с нею М.: Сельхозгиз, 1957. С. 17–21.
 45. Лысак Г.И. Почвозащитные системы земледелия в Башкирии // Земледелие. 1985. № 2. С. 37–38 <https://doi.org/10.31857/S0032180X2101007X>
 46. Львович М.И. Влияние обработки почвы на сток // Изв. АН СССР. Сер. географическая 1954. № 5. С. 40–48.
 47. Мажаров П.П. Микролиманы // Эрозия почв, засуха и борьба с ними в ЦЧО. М.: Наука. 1965. 140 с.
 48. Манжина С.А., Сурувикина А.П. Российская и зарубежная практика предотвращения диффузионного смыва почв с сельскохозяйственных полей // Экология и водное хозяйство. 2020. № 1. С. 27–42.
 49. Масальский В.И. Овраги черноземной полосы России, их распространение, развитие и деятельность. СПб.: Тип. В. Киршбаума, 1897. С. 45–56.
 50. Методические рекомендации по организации подразделений и предприятий для комплексной защиты почв от эрозии в ЦЧЗ. Курск, 1986. 36 с.
 51. Методические указания по оценке противоэрозионной и противодефляционной эффективности почвоулучшителей. ВАСХНИЛ, 1986. 48 с.
 52. Мирзаянов К.М., Погосян К.П., Беседина С.Г. Система противоэрозионных мероприятий на расчлененном рельефе Средней Азии // Почвозащитное земледелие на склонах. 1983. С. 223–232.
 53. Милащенко Н.З. Сокращение числа рыхлений почвы с применением гербицидов // Водная и ветровая эрозия почв и меры борьбы с ней в Сибири. Новосибирск: Наука, 1974. С. 120–126.
 54. Миронченко Ф.А., Грызлов Е.В. Водная эрозия и агротехнические приемы борьбы с ней // Препградим путь эрозии. Ростов-на-Дону: Ростовское книжное изд-во, 1970. 248 с.
 55. Мищенко А.Е., Кисс Н.Н., Гаевая Э.А. Почвозащитные мероприятия при возделывании полевых культур в системе контурно-полосной организации эрозионно-опасного склона // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 2. С. 49–53.
 56. Мишенев В.Д. Полезащитные лесные полосы в комплексе противоэрозионных мероприятий // Водная и ветровая эрозия почв и меры борьбы с ней в Сибири, Новосибирск: Наука, 1974. С. 155–159.
 57. Мусохранов В.Е. Повышение продуктивности склоновых земель/ Барнаул: Алт. кн. изд-во. 1979. 92 с.
 58. Орлов А.Д., Танасиенко А.А. Эродированные черноземы Кузнецкой котловины и пути их рационального использования // Водная эрозия почв в Сибири. Новосибирск: Наука, 1975. С. 4–15.
 59. Павловский Е.С. О кустарниках водорегулирующих лесных полос // Проектирование противоэрозионных мероприятий. Сб. науч. трудов. М.: ГИЗР, 1973. С. 91–94.
 60. Павловский Е.С., Зыков И.Г. Особенности защитного лесоразведения на склоновых землях // Почвозащитное земледелие на склонах. М.: Колос, 1983. 528 с.
 61. Петелько А.И., Новиков Н.Е. Противоэрозионные гидротехнические сооружения и устройства // Вестник АПК Ставрополя. № 2. 2016. С. 242–245.
 62. Полуэктов Е.В., Рощина Ж.В. Мониторинг биоинженерного сооружения по регулированию стока талых вод // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 2. С. 56–70.
 63. Почвозащитное земледелие на склоновых землях Нечерноземной зоны РСФСР (рекомендации). М.: Россельхозиздат, 1984. 40 с.
 64. Преснякова Г.А. Влияние “сезонной” эрозии на урожай сельскохозяйственных культур // Почвоведение. 1946. № 7. С. 26–31.

65. *Преснякова Г.А.* Обвалование и бороздование зяби как мера борьбы с эрозией почв и засухой // Почвоведение. 1955. № 2. С. 48–60.
66. Рекомендации по защите почв от эрозии в Курской области. Курск, 1971. 56 с.
67. Рекомендации по агротехническим приемам защиты почв от водной эрозии в Нечерноземной зоне. М.: Колос, 1977. 32 с.
68. Рекомендации по склоновому земледелию в Сибири. Новосибирск, 1982. 88 с.
69. *Сергеева М.* Лесные полосы: современное состояние и правовые основы функционирования и управления на примере Республики Адыгея // Устойчивое лесопользование. 2018. № 4. С. 21–27.
70. *Сильвестров С.И.* Борьба с эрозией в системе правильной организации территории и хозяйства колхозов // Борьба с эрозией почв в СССР. М.–Л., 1938. С. 80–82.
71. *Слесарев В.Н., Синещиков В.Е., Власенко А.Н. и др.* Пат. РФ № 2566637 С1 // Бюл. изобр. 2015. № 30. С. 1–6.
72. *Соболев С.С.* Развитие эрозионных процессов на территории Европейской части СССР и борьба с ними. М., 1960. Т. 2. 248 с.
73. *Соболев С.С.* Защита почв от эрозии. М.: Сельхозиздат, 1961. 232 с.
74. *Соколов Н.М., Стрельцов С.Б., Худяков В.В. и др.* Пат. РФ № 2719720 С1 // Бюл. изобр. 2020. № 21. С. 1–12.
75. *Сурмач Г.П.* Борьба с эрозией почвы на основе учета поверхностного стока // Вестн. с.-х. науки. 1964. № 8. С. 81–90.
76. *Сучков Д. К.* Противоэрозионные насаждения и мероприятия на смытых и размытых почвах // Научно-агрономический журнал. 2020. № 2(109). С. 56–61.
<https://doi.org/10.34736/FNC.2020.109.2.009.56-61>.
77. *Трегубов П.С., Зверхановский Н.В.* Борьба с эрозией почв в Нечерноземье. Л.: Колос. Ленингр. отделение, 1981. 160 с.
78. *Трегубов П.С.* Почвозащитные мероприятия на склоновых землях Нечерноземной зоны РСФСР // Почвозащитное земледелие на склонах. М.: Колос, 1983. 528 с.
79. *Трушин В.Ф.* Агротехнические приемы борьбы с эрозией почв в южной части Тульской области на примере совхоза Плавский. Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук, М., 1954. 14 с.
80. *Турусов В.И., Дейнекин С.А., Годунов С.И.* Пат. РФ № 2657742 С1 // Бюл. изобр. 2018. № 17. С. 1–5.
81. *Уитуэлл П., Гриффин У., Николс П.* Пат. РФ № 2698179 С2 // Бюл. изобр. 2019. № 24 С. 1–10.
82. *Урсу А.Ф., Синкевич З.А.* Охрана почв в условиях интенсификации сельскохозяйственного производства. Кишинев: Картя Молдовеняска, 1988. 166 с.
83. *Фалесов В.М.* Определение коэффициента стока путем искусственного дождевания // Метеорология и гидрология. 1939. № 3. С. 98–100.
84. Федеральный закон от 16.07.1998 № 101-ФЗ (ред. от 19.07.2011) “О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения”.
85. *Харитонов Г.А.* Водорегулирующая и противоэрозионная роль леса в условиях лесостепи. М.: Гослесбумиздат, 1963. 256 с.
86. *Хацаева Ф.М., Бекузарова С.А., Макоев Х.Х. и др.* Пат. РФ № 2424645 С2 // Бюл. изобр. 2011. № 21. С. 1–5.
87. *Цзи П., Кристобаль Г.* Пат. РФ № 2626928 // Бюл. изобр. 2017. № 22. С. 1–9.
88. *Цыбулько Н.Н.* Агроэкологическая эффективность технологий обработки эродированных почв // Экологический вестник. 2007. № 3. С. 111–122.
89. *Цыганов М.С.* Пути повышения плодородия почвы // Эрозия почв, засуха и борьба с ними в ЦЧО. М.: Наука, 1965. 140 с.
90. *Чебоचाков Е.Я., Едимеичев Ю.Ф., Шапошников Г.М., Муртаев В.Н.* Противоэрозионная эффективность приемов биологизации земледелия в степном и лесостепном агроландшафтных районах Средней Сибири // Кормопроизводство. 2019. № 1. С. 27–30.
91. *Черемесинов Г.А.* Водный режим почв в связи с рельефом и протекающими эрозионными процессами. Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 1949. 8 с.
92. *Шаббаев А.И.* Почвозащитные мероприятия на склоновых землях Поволжья // Почвозащитное земледелие на склонах. М.: Колос, 1983. 528 с.
93. *Швебс Г.И.* Теоретические основы эрозиоведения. Киев–Одесса:Вища школа. Головное изд-во, 1981. 224 с.
94. *Шуравилин А.В., Кулагин М.А.* Ресурсосберегающая технология защиты почв от эрозии на склонах среднегорья Алтая // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер. Агрономия и животноводство. 2009. № 4. С. 39–42.
95. *Щедрин В.Н., Васильев С.М., Козликина А.С.* Пат. РФ № 2467543 С1 // Бюл. изобр. 2012. № 33. С. 1–6.
96. *Щедрин В.Н., Васильев С.М., Нозадзе Л.Р.* Пат. РФ № 2537178 С2 // Бюл. изобр. 2014. № 36. С. 1–7.
97. *Щеклеин С.Л.* Стационарные наблюдения над стоком поверхностных талых и дождевых вод под г. Кировом // Борьба с эрозией почв в СССР. М.–Л.: АН СССР. 1938. С. 251–283.
98. <https://www.elibrary.ru/>

Erosion Control Measures on Agricultural Land in Russia (Review)

A. P. Zhidkin¹, A. V. Khirk^{1,*}, V. N. Shepotiev¹, D. V. Fomicheva¹, and D. V. Zhuikov²

¹*Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, 119017 Russia*

²*Center of agrochemical service "Belgorod", Belgorod, 308027 Russia*

**e-mail: khirkav@my.msu.ru*

One of the important areas of erosion science is the development of anti-erosion measures. The literature analysis showed that most of the techniques and methods for combating soil erosion were developed in the 1960–1980s of the 20th century, and in recent decades there has been a significant decline in interest in scientific and practical developments to combat soil erosion. The information available in the literature on anti-erosion measures is poorly systematized and does not have a generally accepted classification. The proposed author's typification made it possible to systematize all anti-erosion measures found in the literature and create a register presented in the work in the form of a table of measures. Information on the effectiveness of anti-erosion measures is scarce and largely contradictory. The effectiveness of agrotechnical measures has been best studied. The most effective among agrotechnical measures should be recognized as non-moldboard plowing, which, according to literature data, helps reduce soil erosion by 70–90%, while other agrotechnical measures, on average, reduce the rate of soil erosion by half. In recent decades, Russia has seen significant changes in the rate and nature of soil erosion under the influence of climate change and socio-economic transformations in the agricultural and industrial complex. However, literature analysis has revealed a shortage of works aimed at adapting existing anti-erosion measures, or developing new measures aimed at global and regional changes in soil erosion.

Keywords: register, plowing, cultivation, crop rotation, forest belt, planting herbs, snow retention