

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПОВЫШЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ



Москва
ФГБНУ «Росинформагротех»
2023

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПОВЫШЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

Научно-практическое издание

Москва
2023

УДК 631.587; 631.452

ББК 40.62

П 42

Авторы:

А.Н. Бабичев, вед. науч. сотр., д-р с.-х. наук, **Р.С. Масный**, вед. науч. сотр., канд. воен. наук, **Г.Т. Балакай**, гл. науч. сотр., д-р с.-х. наук, проф., **Л.М. Докучаева**, вед. науч. сотр., канд. с.-х. наук, **И.В. Гурина**, вед. науч. сотр., д-р с.-х. наук, доц., **Р.Е. Юркова**, вед. науч. сотр., канд. с.-х. наук, **В.А. Монастырский**, ст. науч. сотр., канд. с.-х. наук, **В.И. Ольгаренко**, ст. науч. сотр., канд. техн. наук, **С.А. Селицкий**, ст. науч. сотр., канд. с.-х. наук, **А.А. Бабенко**, мл. науч. сотр. (ФГБНУ «РосНИИПМ»)

Рецензенты:

О.С. Безуглова, проф. кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов, д-р биол. наук, проф. (ФГАОУ ВО ЮФУ); **Е.В. Полужков**, д-р с.-х. наук, проф., зав. кафедрой «Почвоведение, орошаемое земледелие и геодезия» Новочеркасского инженерно-мелиоративного института им. А.К. Кортунова, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, (ФГБОУ ВО Донской ГАУ (НИМИ ДонГАУ))

П 42 **Повышение плодородия орошаемых земель:** науч.-практ. изд. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. – 304 с.

ISBN 978-5-7367-1740-8

Рассмотрены причины изменения свойств почв зонального ряда при длительном орошении, предложена система оценки почвенного плодородия и необходимости реконструкции оросительных систем, включающая в себя методику проведения оценки изменений состояния орошаемых земель при многолетнем сельскохозяйственном использовании, дана оценка агропроизводительной способности почв и эколого-мелиоративного состояния длительно орошаемых почв на основе бонитировки. Предложены способы восстановления плодородия почв, комплекс мероприятий по их сохранению и восстановлению. Приведена экономическая и экологическая эффективность мероприятий по сохранению и воспроизводству почвенного плодородия.

Предназначено для специалистов агропромышленного комплекса, научных работников, может использоваться для подготовки аспирантов по специальности 35.06.01 Сельское хозяйство и студентов вузов.

Рекомендовано к изданию секцией мелиорации Научно-технического совета Минсельхоза России (протокол НТС № 6 от 29 марта 2023 г.).

A.N. Babichev, R.S. Masny, G.T. Balakai, L.M. Dokuchaeva, I.V.Gurina, R.E. Yurkova, V.A. Monastyrsky, V.I. Olgarenko, S.A. Selitsky, A.A. Babenko. Enhancing the fertility of irrigable soils: scientific and practical publication. (Moscow: Rosinformagrotech) 304 p. (2023).

The causes of changing of the area-based type soil's parameters during continuous irrigation have been analyzed; assessment system including the methods of evaluation of changes in irrigated soils' status after long time use to evaluate soil fertility has been proposed to make decision if the reconstruction of the irrigation systems is necessary. Soil yield ability and environmental-ameliorative status of the soils being irrigated for a long time have been appraised by bonitation method. The ways to restore the fertility of soils and the actions intended for preservation and remediation of soils have been proposed. Economic and environmental efficiency of the actions to preserve and remediate the fertility of soils have been described.

This material is intended for the specialists of agro-industrial complex, researchers, postgraduates being trained for speciality 35.06.01 and students.

It has been recommended for publication by the amelioration section of Scientific and technical Board of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation (Minutes of STB № 61 dated March 29, 2023)

УДК 631.587;631.452

ББК 40.62

ISBN 978-5-7367-1740-8

© Минсельхоз России, 2023

ВВЕДЕНИЕ

Многолетняя водохозяйственная деятельность существенно изменила естественный гидрогеохимический режим обширных территорий. Орошение как сочетание нескольких антропогенных факторов вызвало наиболее значительные преобразования природных почвенных режимов и процессов, а также связанных с ними основных свойств почв. Эти изменения редко проявляются по отдельности, значительно чаще несколько признаков меняются одновременно.

При этом орошение является важнейшим компонентом рационального ведения сельскохозяйственного производства в аридной зоне. В сухостепной зоне производство продукции земледелия без дополнительного увлажнения невозможно, в степных зонах ирригация является важнейшим условием получения гарантированных урожаев. Но затраты на ведение орошаемого земледелия в 3-5 раз выше, чем на богарных землях, но и отдача поливного гектара выше, чем неорошаемого.

В сельском хозяйстве страны за последние десятилетия отмечены устойчивые тенденции снижения эффективности использования мелиорированных земель, ухудшения во многих регионах почвенного плодородия, вызванные комплексом объективных и субъективных причин. Происходило непрерывное сокращение площадей орошаемых сельскохозяйственных угодий. Так, по состоянию на 1 января 2021 г. орошаемые земли составляли 4,69 млн га, из них в сельскохозяйственном производстве фактически используется 3,96 млн га (84%). Из общего количества орошаемых земель по России 23% находятся в неудовлетворительном состоянии, включая почвы средней и сильной степени солонцеватости. В Северо-Кавказском федеральном округе они составляют 36%, в Южном – 28% площади орошаемых земель этих регионов.

Отмечаются также снижение показателей урожайности сельскохозяйственных культур, их несоответствие проектным данным.

Основные площади орошаемых земель сосредоточены в Северо-Кавказском, Южном и Поволжском федеральных округах. Анализ состояния сельскохозяйственных угодий, особенно мелиорированных земель, диктует необходимость принятия кардинальных действий по их улучшению. При этом проведение и объемы оросительных, культуртехнических, химических и других видов мелиораций должны определяться технико-экономическим и экологическим обоснованием с учетом особенностей каждой почвенно-климатической зоны.

Развитие АПК России сдерживается отсутствием устойчивого производства гарантированных объемов сельскохозяйственной продукции. Таким гарантом, учитывая природно-климатические условия, может быть только орошение. Но опыт его многолетнего использования на почвах различных типов показал, что они претерпевают значительные изменения с преобладанием негативных процессов, приводящих к снижению урожайности возделываемых культур. Учитывая это, актуальность исследований состоит в выявлении причин их проявления, оценке уровня агропроизводительной способности длительно орошаемых почв и разработке на их основе ресурсосберегающих технологий орошения и мероприятий по повышению почвенного плодородия.

1 АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ ДЛИТЕЛЬНО ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

1.1. Влияние длительного регулярного орошения на свойства почв

Мировой опыт и практика показывают, что орошение почти всегда сопровождается изменением агроэкологического состояния территорий. В большинстве случаев основной причиной этих изменений являются неправильное и ненормированное водопользование, низкие коэффициенты полезного действия и использования воды, отсутствие или неудовлетворительная работа коллекторно-дренажной сети. Степень агроэкологической устойчивости орошаемых земель зависит от хозяйственной деятельности человека. Орошение прежде всего изменяет факторы почвообразования, что приводит к снижению плодородия почв и их агропроизводительной способности.

В результате орошения изменяются гидротермические показатели. Оросительные нормы увеличивают общее количество влаги, получаемой почвами, на 50-100%. В результате возрастает влажность воздуха, снижается температура воздуха и почвы. В процессе строительства оросительных систем (планировка территории, буртование, нарезка каналов, создание водохранилищ) и при их эксплуатации (иригационная эрозия, наносы, оползни, суффозия, уплотнение) происходит изменение рельефа поверхности.

С развитием широкомасштабной мелиорации применялись необоснованно большие оросительные нормы для получения высокой урожайности без учета экологических ограничений на нормы поливные, которые приводили, помимо перерасхода водных ресурсов, к переувлажнению почвы и негативным процессам. В то же

время, по данным многих авторов, соблюдение рекомендованных научно обоснованных технологий орошения, внесение органических и расчетных доз минеральных удобрений способствовали повышению урожайности и увеличению доли пожнивных остатков, что обеспечивало положительный баланс органического вещества в почве.

При несоблюдении рекомендованных норм и сроков полива изменяются процессы в почве, склоняясь от автоморфных к гидроморфным, которым свойственны менее благоприятные условия роста и развития растений. При этом снижаются урожайность, плодородие почвы, агропроизводительная способность, так как изменяются условия произрастания растений. В первую очередь наблюдается подъем уровня грунтовых вод, что влияет на водно-физические и химические свойства почвы: ухудшается ее водно-воздушный режим, в поверхностных слоях появляются соли. Повышение уровня грунтовых вод приводит к переходу к гидроморфному режиму и свойственным этому режиму вторичному засолению, осолонцеванию, слитизации, обеднению элементами питания, снижению плодородия почвы, биопродуктивности и агропроизводительной способности орошаемых земель. На таких землях теряется не только часть урожая, но и возникает необходимость вложений дополнительных средств на их мелиорацию, увеличиваются затраты и снижается рентабельность производства продукции. Примеры неблагоприятной эколого-мелиоративной обстановки можно наблюдать в Южном, Северо-Кавказском, Приволжском федеральных округах, где проводили исследования ученые многих НИИ и вузов.

Такие же наблюдения проводились и в других регионах. Например, в Алтайском крае при изучении изменения водно-физических свойств почвы было отмечено, что при длительном применении больших оросительных норм наблюдалось поднятие УГВ и проявлялись процессы олуговения, т.е. происходила трансформация автоморфных в гидроморфные почвы, соответственно, изменялись и водные свойства исследуемых почв.

Увеличение поливных и оросительных норм в вегетационный период создает промывной режим орошения для верхнего слоя почвы – 0,6-0,8 м и не оказывает отрицательного влияния на продуктив-

ность сельскохозяйственных культур, но провоцирует подъем уровня грунтовых вод и влечет за собой вторичное засоление и часто осолонцевание. Это подтверждают данные многолетних (более 30 лет) научных исследований в Ростовской области на стационарных участках Азовской оросительной системы (ОС). В геоморфологическом отношении отличительной чертой участка является то, что территория бессточная (блюдцеобразная) и естественный сток оросительной и дренажно-сбросной воды невозможен. Почвы, представленные террасовыми глубокозасоленными черноземами, перешли из разряда глубокозасоленных (200-250 см) в разряд солончаковых и солончаковых. Этому способствовало поднятие грунтовых вод с глубины 4,5-5,0 до 1,3-1,5 м. Подобные результаты получены и в других регионах, например в Алтайском и Ставропольском краях.

На орошаемых землях, как и на богарных, наблюдаются нежелательные процессы – подщелачивание и осолонцевание. Но на орошаемых землях эти процессы имеют большее распространение в силу изменения технологических процессов орошения. Они ускоряют не только процессы растворения и передвижения органических и минеральных элементов в почве, но и отрицательные процессы дегумификации, осолонцевания, подщелачивания и др. Эти явления усиливаются при использовании слабоминерализованных и слабощелочных бикарбонатных оросительных вод. В то же время использование для орошения воды хорошего качества в незначительной степени изменило состав поглощенных оснований чернозема обыкновенного карбонатного при длительном орошении в Ставропольском крае.

Установлено, что при орошении чаще всего наблюдается комплексное влияние на почвенные процессы. Например, подщелачивание и осолонцевание часто сопровождаются дегумификацией, образованием токсичных веществ, нарушением баланса элементов питания, дальнейшим уплотнением и слитизацией.

Уплотнение почв, разрушение водопрочных агрегатов, снижение водопроницаемости характерны для всех типов почв. Так, в результате исследований на орошаемых темно-каштановых почвах было установлено, что процессы снижения водопроницаемости каштано-

вых почв происходят чаще всего с увеличением плотности сложения почвы и ухудшением показателей ее структуры, сами агрегаты имеют большую плотность и приобретают более высокую механическую прочность. Такое ухудшение физических свойств происходит из-за соударения капель дождя с почвой и капельной ирригационной эрозии при больших, превышающих экологические пороги, поливных нормах и интенсивности искусственного дождя. Ирригационная эрозия приводит к разрушению и смыву почвы.

Многочисленные исследования влияния орошения на водно-физические и химические свойства различных типов почв показывают, что в наибольшей степени подвержены отрицательному влиянию более плодородные черноземные почвы, которые в силу естественных почвенных процессов приобрели наиболее благоприятные свойства для роста и развития растений. Черноземы по сравнению, например, с каштановыми или серыми лесными почвами обладают более сильной амплитудой усадки и набухаемости, имеют склонность к уплотнению при проходе используемых тяжелых машин для обработки почвы, внесения удобрений и уборки, а в условиях постоянного увлажнения почвы при орошении подвержены еще более сильному воздействию и изменению.

Несоблюдение экологически безопасных поливных норм и технологий орошения, несоответствие орудий для обработки почвы, нарушение основных элементов технологии возделывания сельскохозяйственных культур, применение тяжелых тракторов, комбайнов и поливных машин с высокой интенсивностью дождя усугубляют эти процессы и приводят к образованию большого процента крупных глыб при обработке, которые в дальнейшем необходимо увлажнять и после высыхания разрушать. Эти процессы усиливаются при применении некачественной воды для орошения, например на стационарных участках наблюдений на Азовской ОС. Плотность сложения почвы на орошаемом участке составила в среднем $1,3 \text{ т/м}^3$, в то же время на соседнем богарном поле с однотипными почвами – $1,1 \text{ т/м}^3$, то же самое происходило на черноземах обыкновенных на Багаево-Садковской ОС Ростовской области – соответственно $1,35$ и $1,20 \text{ т/м}^3$.

Ученые Кабардино-Балкарской опытной станции и опытно-мелиоративного пункта НПО «Ставмелиорация» также наблюдали

увеличение плотности исследуемых черноземов обыкновенных при орошении. Подобные данные получены и на типичных черноземах Липецкой и Воронежской областей, которые подтверждают влияние длительного орошения на ухудшение структурного состава этой почвы.

Приведенные выше данные показывают, что орошаемые почвы достигают такой высокой плотности, при которой затруднено нормальное развитие сельскохозяйственных культур. При этом ученые отмечали, что черноземы Северного Кавказа предрасположены к слитизации из-за их тяжелого гранулометрического состава и подвержены большим изменениям в худшую сторону при усилении увлажнения почвы (от переувлажнения при поливе высокими нормами до иссушения между периодами необходимости проведения обработки почвы или внесения пестицидов), а также несоблюдении технологий орошения.

При орошении некачественной водой обыкновенных черноземов в Ростовской области (в условиях щелочной среды, обусловленной первичной или вторичной солончатостью и оцелачиванием почв) происходят процессы ухудшения плодородия почвы за счет оглинивания почвогрунтов и снижения агропроизводительной способности почвы.

Известно, что наличие в черноземах кальция в почвенном поглощаемом комплексе (ППК) в количестве не менее 80% от состава ППК способствует накоплению и удержанию в почве большего количества гумуса, что делает их более привлекательными. Однако многолетнее использование черноземов в режиме орошения часто приводит к осолонцеванию и обесструктуриванию. Ученые считают, что именно снижение в ППК содержания кальция при орошении является одной из главных причин негативных изменений черноземов. Чаще всего уменьшение его содержания сопровождается заменой на натрий и магний, в результате чего происходит сдвиг ионного равновесия в сторону внедрения их в ППК, которые нарушают структуру и состав органических коллоидов и минеральной части почв.

Опыт орошения темно-каштановых почв указывает на то, что гораздо чаще приходится сталкиваться с его отрицательными послед-

ствиями на свойства почв. Так, в условиях регулярного орошения на Каховской ОС изменился тип водного режима темно-каштановых почв – с автоморфного непромывного до гидроморфного промывного. В профиле этих почв наблюдались также уменьшение поглощенного Ca^{2+} и увеличение Na^+ и Mg^{2+} . Кроме этого, анализ валового содержания оксидов показывает, что для темно-каштановой почвы в условиях регулярного орошения характерны процессы физико-химического выщелачивания соединений (CaO , MgO , Na_2O , K_2O , Fe_2O_3) и аккумуляции других (SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2).

Наряду с изменением физико-химического и минерального составов почвы и снижением содержания кальция в ППК происходит ее обеднение органическим веществом – гумусом, являющимся одним из основных показателей плодородия.

Многолетние исследования на стационарных орошаемых участках позволили установить определенные закономерности изменения запасов гумуса по массе его в метровом слое почвы на 1 га и закономерности его распределения по горизонтам. Установлено, что имеется тенденция снижения запасов гумуса в первые годы орошения (до 10 лет) от абсолютной первоначальной величины, а затем постепенное их восстановление за счет увеличения оставляемых на поле органической массы пожнивных остатков и сидератов.

Следует отметить, что высокая культура земледелия с освоением научно обоснованных севооборотов, применением посевов промежуточных культур на сидераты способствует менее интенсивному распаду гумуса по всему почвенному профилю (0-150 см) по сравнению с севооборотом без промежуточных культур.

Исследования других ученых на темно-каштановых почвах показали, что длительное орошение способствует ухудшению качества гумуса и его общего содержания в почве. В этом случае улучшить гумусное состояние почв можно только при внесении органических и минеральных удобрений.

При орошении темно-каштановых почв Западного Казахстана дождеванием в течение длительного периода (45 лет) происходило снижение содержания гумуса до 1,81-2,02% в верхнем горизонте A_{II} по сравнению с неорошаемыми условиями, где содержание гумуса колебалось от 3,54 до 4,9%.

В условиях Молдавии орошение способствовало уменьшению запасов гумуса в черноземах типичных, обыкновенных и карбонатных с 1,0 до 0,6 т/га.

На основании изложенного можно сделать выводы о том, что при орошении наблюдаются закономерные изменения показателей состава и валового содержания гумуса в различных типах почв, на которые влияет множество биотических и абиотических факторов.

Негативный процесс снижения содержания гумуса (дегумификация) в почве наблюдается на мелиорированных землях при нарушении технологии орошения (некачественная вода, переполив, высокая интенсивность дождя и др.) и возделывания культур вне севооборота или отсутствии промежуточных культур на сидераты, несоблюдении баланса внесения органических и минеральных удобрений (расчетными нормами), ухудшении мелиоративного состояния земель (поднятие уровня грунтовых вод, вторичное засоление, осолонцевание, ощелачивание и др.), применении тяжелой техники, организационных нарушениях технологий возделывания и уборки сельскохозяйственных культур.

Многолетние исследования показывают, что при орошении изменится не только органическая составляющая плодородия почвы, но и агрохимические свойства на уровне содержания минеральных веществ.

Отмечено, что при орошении обыкновенных черноземов Северного Кавказа уменьшилось общее количество азота, в том числе на неудобренном фоне, с 296 до 260 мг на 100 г почвы. Подобная закономерность наблюдалась и по содержанию валового азота при орошении в черноземах Северного Кавказа, причем ни одна из применявшихся систем удобрений не позволила сохранить запасы азота на уровне исходного.

Орошение повышает растворимость и подвижность минеральных питательных веществ в почве, что упрощает поглощение растениями этих веществ и положительно влияет на процессы их роста и развития, однако поливной водой может вымываться часть удобрений в нижележащие слои почвы или совсем вымываться в дренажные воды. На эти процессы влияют гранулометрический состав почвы, размеры поливных норм, режим орошения и др.

Установлено, что и возделываемые культуры оказывают влияние на содержание нитратов в почве. Так, за вегетационный период по показателю темпов снижения содержания нитратов при орошении выделяются злаковые культуры: яровая и озимая пшеница, овес – составил в метровом слое от 60 до 80%.

Фосфор в почве менее подвижен, поэтому учеными даже при орошении не установлена четкая зависимость изменения его содержания, так как поливная вода и орошение в течение вегетационного периода в целом не повлияли на перемещение водорастворимых соединений фосфора P_2O_5 по профилю почвы. Другие наблюдали снижение содержания фосфора, третьи – увеличение его подвижности при совместном применении орошения и фосфорных удобрений. Возможно, что такие противоречивые данные вызваны различиями в поведении органического вещества, которые способствуют подвижности фосфатов.

При выявлении влияния орошения на изменение содержания валовых фосфорных соединений в черноземах установлено четкое проявление тенденции снижения запасов валового фосфора только на тех полях, которые не получали удобрения более 30 лет и при этом систематически орошались. Орошение способствует растворению и переводу фосфора из труднорастворимых соединений в доступные формы P_2O_5 , поэтому количество его уменьшается и в случае соблюдения научно обоснованных севооборотов, и в монокультуре. Например, количество фосфора уменьшается как под кукурузой, выращенной в севообороте, так и при возделывании ее в монокультуре.

Исследования содержания калия в различных почвах при орошении и без орошения показали, что на черноземах обыкновенных млицеллярно-карбонатных не установлено существенное изменение его валовых и подвижных форм. Ученые, проводившие исследования на черноземах Северного Кавказа, определили увеличение подвижного калия в почве.

Вместе с тем имеются данные, свидетельствующие о том, что при увеличении влажности почвы наблюдается снижение количества доступных для растений питательных веществ, видимо, это связано с высокими темпами роста растений при орошении и бóльшим поглощением их.

Часто при неравномерном орошении поля из-за особенностей микрорельефа происходит и неравномерное изменение почвенных процессов, различных свойств, содержание веществ в почве, что может привести к значительной комплексности почвенного покрова, и почвы могут классифицироваться уже как лугово-черноземные разной степени засоленности и солонцеватости.

В результате длительных периодических переполивов пресными водами возникают отчетливые кислые белесые (оподзоленные) горизонты. Это опасное явление впервые наиболее четко проявилось на орошаемых темно-каштановых почвах Поволжья и подтверждено исследованиями при установлении влияния различных условий орошения на свойства зонального ряда почв.

1.2. Изменение свойств почв зонального ряда при длительном орошении

Анализ многочисленных научных исследований показал, что проблемы, возникающие при орошении, имеют комплексный характер. При их рассмотрении следует учитывать региональные почвенно-климатические условия, преобладающие севообороты, качество поливной воды, техническое состояние оросительных систем, длительность и нормы орошения.

В связи с этим целью исследований являлось установление направленности почвенных процессов различных типов почв при длительном орошении с учетом условий их освоения и использование единого методического подхода.

Для решения этих задач необходимо проведение анализа почв по следующим показателям: гранулометрическому, микроагрегатному и агрегатному составу, содержанию карбонатов, рН и составу водной вытяжки, обменным формам кальция, магния и натрия, содержанию обменного калия, подвижного фосфора, нитратного и легкогидролизуемого азота, гумуса, групповому составу гумуса ускоренным методом М.М. Кононовой и Н.П. Бельчиковой, гидrolитической кислотности, насыщенности почв основаниями.

Проведен анализ оросительной воды. Определены физические показатели почв: плотность сложения почвы методом кольца

по Н.А. Качинскому, порозность, величина наименьшей влагоемкости.

Анализ проведенных исследований позволил оценить направленность почвенных процессов, изменение плодородия и экологического состояния на землях в условиях орошения при различной увлажненности на разных типах почв.

В основу выбора стационарных участков была положена идентичность условий сельскохозяйственного использования: исследования проводились в зерно-кормовых севооборотах с многолетними травами – люцерной и способами полива дождеванием.

■ 1.2.1. Серые лесные почвы

Объектом исследований являлись серые лесные почвы, образцы которых отобраны с орошаемого участка в Рязанской области, находящегося в эксплуатации с 1968 г. Оросительная сеть – закрытая и представлена железобетонными и стальными трубами, поэтому грунтовые воды находятся глубже 3 м. Минерализация оросительной воды – 0,63 г/дм³, ее состав – гидрокарбонатно-кальциевый. При ее использовании опасность возникновения негативных процессов отсутствует. К тому же серые лесные почвы располагаются в лесостепной зоне, где требуется шадящее орошение, так как осадки намного превышают испарение. В силу этого оросительные нормы, применяемые в зерно-кормовых севооборотах, не превышают 1500 м³/га.

Обследуемые почвы по гранулометрическому составу – тяжело-суглинистые. Основные показатели по их водно-физическим свойствам представлены в табл. 1.

Таблица 1

Водно-физические свойства серых лесных почв после многолетнего орошения (n = 5)

Слой, см	Плотность сложения почвы, т/м ³	Структурное состояние (сухое просеивание), %	Водопрочность, %	Водопроницаемость, мм/мин
0-40	1,39	59	31	1,23
ОП	1,10-1,30	70-85	40-50	1,5-2,0
ПДП	1,30-1,40	50-70	30-40	1,0-1,5

Воздействие длительного орошения на свойства серых лесных почв изучалось в 0-40-сантиметровом слое в сравнении с оптимальными параметрами (ОП) и предельно допустимыми параметрами (ПДП). Как видно из табл. 1, почва по плотности сложения находится уже в пределах ПДП, так как этот показатель составляет $1,39 \text{ т/м}^3$.

Показатели структурного состояния и водопрочности также находятся в этих же пределах, что позволяет отнести данные почвы по этим показателям к категории земель с удовлетворительным состоянием.

О потере структуры и наличии уплотнения при орошении этих земель свидетельствуют и показания водопроницаемости: в первый час впитывания она составляет $1,23 \text{ мм/мин}$. По этому показателю почвы имеют удовлетворительное состояние.

Серые лесные почвы обладают природной кислотностью, поэтому в показатели физико-химических свойств введены гидролитическая кислотность и насыщенность основаниями. Данные по гидролитической кислотности представлены на рис. 1.

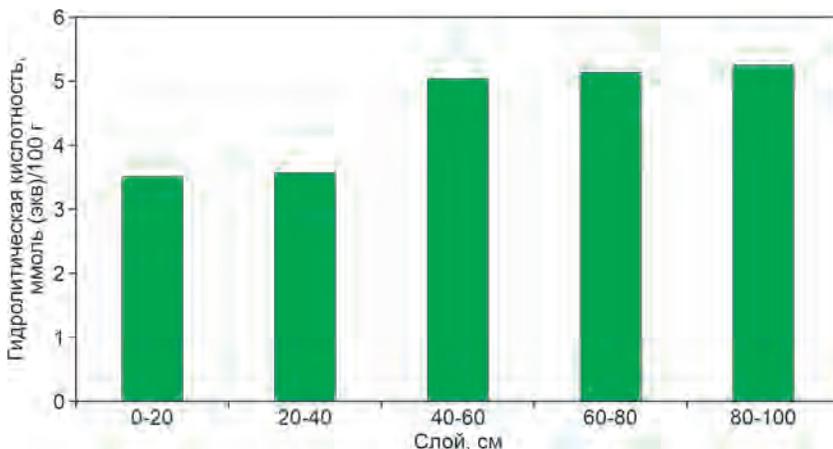


Рис. 1. Содержание гидролитической кислотности в серых лесных почвах

Определение pH солевой вытяжки показало увеличение при орошении кислотности, что подтверждено данными гидролитической кислотности и насыщенности основаниями. Неорошаемые

серые лесные почвы обычно имеют pH_{KCl} более 6,0, а в 0-40-сантиметровом слое орошаемых почв этот показатель равнялся 5,11. Гидролитическая кислотность составила 3,54 ммоль(экв)/100 г при ОП менее 3 ммоль(экв)/100 г.

В нижних слоях, как видно из рис. 1, кислотность еще более выраженная. В целом по этим показателям почва относится к слабокислым.

Степень насыщенности основаниями в слое 0-40 см составляет 53%, что характеризует длительно орошаемую серую лесную почву как средненасыщенную основаниями.

Насыщенность основаниями присуща всему метровому слою, в то время как для неорошаемых аналогов присуща недонасыщенность основаниями (рис. 2).

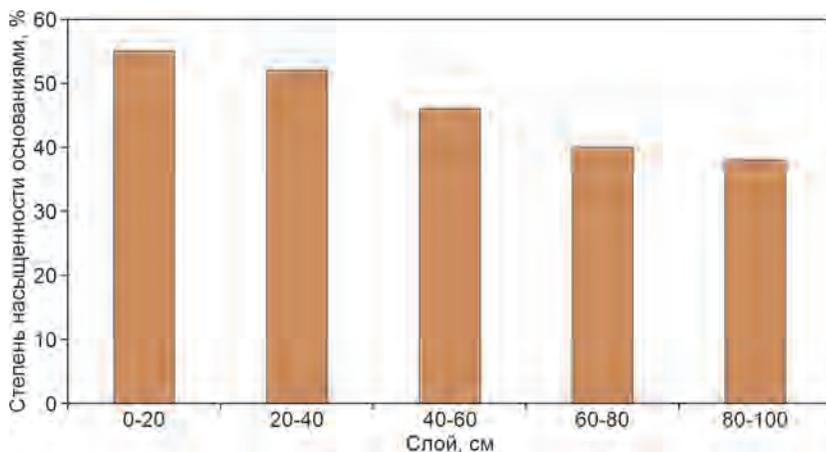


Рис. 2. Степень насыщенности основаниями длительно орошаемых серых лесных почв

По степени насыщенности основаниями орошаемые почвы также относятся к слабокислым и требуют известкования. По другим физико-химическим свойствам они вполне благополучны: засоление и щелочность отсутствуют. В составе почвенного поглощающего комплекса кальций составляет 80%, магний – 18, натрий – около 2%.

Рассматривая общее содержание гумуса и его состав, можно отметить некоторое его уменьшение при орошении в сравнении с ОП (табл. 2). Они имеют среднее содержание гумуса, но по степени гумусированности являются сильногумусированными. К тому же в этих почвах, как и в неорошаемых, преобладают гуминовые кислоты. Тип гумуса – фульватно-гуматный.

Таблица 2

**Гумусное состояние серых лесных почв
после длительного орошения (n = 5)**

Слой, см	Гумус, %	$C_{\text{общ.}}$, %	ГК, % % от $C_{\text{общ.}}$	ФК, % от $C_{\text{общ.}}$	$C_{\text{остатка}}$, % от $C_{\text{общ.}}$	$\frac{C_{\text{г.к.}}}{C_{\text{ф.к.}}}$	Тип гумуса
0-40	5,03	2,93	27	21	52	1,27	Ф-Г
ОП	Более 6	Н. д.				Более 2	Г
ПДП	4-6	Н. д.				2-1	Ф-Г

Примечание. Ф-Г – фульватно-гуматный; Г – гуматный тип гумуса.

Рассматривая данные по обеспеченности почв питательными элементами, можно отметить высокую обеспеченность их фосфором и калием.

Таким образом, длительное орошение серых лесных почв не вызвало существенных изменений в их свойствах, отмечены незначительное уплотнение почв и повышение кислотности.

**■ 1.2.2. Черноземы типичные и обыкновенные
Центрально-Черноземных областей**

Центрально-Черноземная область (ЦЧО) располагается в пределах двух природных зон – лесостепной и степной, причем более 80% территории относится к лесостепной зоне, где расположены оподзоленные, выщелоченные и типичные черноземы. В степной зоне преобладают черноземы обыкновенные, часто солонцеватые. Климат ЦЧО – умеренно-континентальный. За год в лесостепной зоне выпадает 550-600 мм атмосферных осадков, в степной – 400-450, на юго-востоке ЦЧО снижается до 250-300 мм. Годовой коэффициент увлажнения по Высоцкому – Иванову ниже единицы,

поэтому одним из основных мероприятий по повышению производства сельскохозяйственной продукции является орошение. На орошаемых землях преобладают типичные и обыкновенные черноземы.

Для установления изменения свойств черноземов в условиях длительного орошения были проанализированы результаты полевых исследований, проведенных на стационарных участках орошения черноземов типичных и обыкновенных ЦЧО.

Участок по влиянию длительного орошения на почвенные процессы черноземов типичных расположен в юго-восточной части Среднерусской возвышенности в Хохольском районе Воронежской области. Грунтовые воды залегают глубже 15 м. Источник орошения – пруд. Минерализация поливной воды – 0,54 г/дм³ гидрокарбонатно-кальциевого состава. Содержание натрия в ней не превышает 12%.

Для обыкновенных черноземов выбран участок в Богучарском районе Воронежской области, где грунтовые воды находятся глубже 15 м. Поливная вода, используемая из пруда, имеет минерализацию 0,82 г/дм³ гидрокарбонатно-кальциевого состава, но следует отметить, что в вегетационный период содержание натрия в ней достигает 22%. Поливные нормы не превышали 250-300 м³/га, а оросительные – не более 2000 м³/га.

Результаты полевых исследований показали, что орошение в первую очередь влияет на распределение по профилю илистой фракции. Так, в 0-10-сантиметровом слое типичных черноземов содержание илистой фракции увеличилось при длительном орошении на 6%, а в нижних слоях – в меньшей степени. Видимо, это связано с разрушением частиц в поверхностном слое и вымыванием илистой фракции вглубь. В типичных черноземах этот процесс несколько замедлен из-за генетических особенностей этого подтипа, который отличается большей гумусированностью и накоплением кальция. Орошение черноземов привело к заметным изменениям структурного состояния почв. Структура пахотного и подпахотного слоев приобрела отчетливо выраженные черты глыбистости как в типичном, так и обыкновенном черноземах (табл. 3).

Таблица 3

Водно-физические свойства черноземов ЦЧО при длительном орошении

Слой, см	Типичный чернозем		Обыкновенный чернозем	
	структурное состояние при сухом просеивании, %			
	более 10 мм	10-0,25 мм	более 10 мм	10-0,25 мм
0-20	49,9	46,6	50,9	47,4
20-40	34,7	61,8	41,9	46,3
0-40	42,3	54,2	46,4	46,8
ОП	20-25	70-85	20-30	80
<i>Водопрочность</i>				
Слой, см	Агрегатов более 0,25 мм, %	Критерий водопрочности, %	Агрегатов более 0,25 мм, %	Критерий водопрочности, %
0-20	30,1	50	29,7	49
20-40	45,7	76	39,7	66
0-40	37,9	63	34,7	58
ОП	60	100	60	100
Слой, см	Плотность сложения почвы, т/м ³	Пористость, %	Плотность сложения почвы, т/м ³	Пористость, %
0-20	1,32	47	1,35	48
20-40	1,27	51	1,29	51
0-40	1,29	49	1,32	50
ОП	1,10-1,25		1,10-1,25	–
<i>Водопроницаемость с поверхности, мм/мин</i>				
Время, ч	1 ч	6 ч	1 ч	6 ч
	0,083	0,032	0,080	0,030
ОП	2,0-2,5	–	1,5-2,0	–

Частицы более 10 мм в 0-20-сантиметровом слое типичных черноземов составляют почти 50%, а агрономически ценные частицы (10-0,25 мм) – 46,6%, что характеризует эту почву по структурному состоянию как удовлетворительную, в слое 20-40 – как хорошую, а в целом в слое 0-40 см она удовлетворительная.

В 0-20-сантиметровом слое черноземов обыкновенных структурное состояние по этим показателям оказалось идентичным чернознам типичным, однако в слое 20-40 см черноземов типичных агрономически ценные агрегаты сохранились лучше, чем в чернознах обыкновенных. Видимо, это связано с различными физико-химическими свойствами этих почв, проявляющимися при орошении.

В соответствии с изменением структурного состояния в условиях орошения меняются водопрочность и коэффициент водопрочности исследуемых почв. Для исследуемых почв наиболее подвержен изменению по этим показателям 0-20-сантиметровый слой, слой 20-40 см менее затронут орошением. Водопрочность агрегатов в слое 0-20 см типичных черноземов удовлетворительная, а обыкновенных – недостаточно удовлетворительная, а в слое 20-40 см соответственно хорошая и удовлетворительная. Коэффициент водопрочности агрегатов, нераспавшихся за 10 мин, равен 100%. В проведенных исследованиях в чернознах типичных в слое 0-20 см он равен 50%, в обыкновенных – 49, а в 0-40-сантиметровом слое – соответственно 63 и 58%, т.е. в чернознах типичных агрегаты обладают большей водопрочностью, чем в обыкновенных. Связано это с разным составом поливной воды. В большей степени разрушается структура и диспергируется почвенная масса при поливе черноземов обыкновенных щелочной водой.

В чернознае типичном, орошаемом пресной водой нейтральной реакции, разрушение структуры проявляется в меньшей степени. К тому же в типичных чернознах содержится больше гумуса, они имеют более кислую реакцию, что также положительно сказывается на изменении водно-физических свойств черноземов. Это подтверждают данные плотности сложения почв и водопроницаемости (см. табл. 3). Под влиянием орошения происходят некоторые изменения физико-химических свойств черноземов ЦЧО (табл. 4). Почвы неорошаемых участков отличаются высокой насыщенностью поглощающего комплекса основаниями.

Таблица 4

Физико-химические свойства черноземов длительно орошаемых ЦЧО (n = 5)

Слой, см	∑ ППК, ммоль (экв)/100 г	Ca	Mg	Na	CO ₂ карбоната, %	Нг, ммоль (экв)/100 г	рН водной вытяжки
		ммоль (экв)/100 г % от ∑ ППК					
<i>Черноземы типичные</i>							
0-20	39,27	$\frac{32,3}{82}$	$\frac{6,2}{16}$	$\frac{0,77}{2}$	0,08	3,3	6,6
20-40	37,87	$\frac{30,5}{81}$	$\frac{6,7}{18}$	$\frac{0,67}{1}$	0,20	3,1	6,9
40-60	35,51	$\frac{28,5}{80}$	$\frac{6,4}{18}$	$\frac{0,01}{2}$	0,59	1,1	7,0
0-40	38,57	$\frac{31,4}{81}$	$\frac{6,45}{18}$	$\frac{0,64}{1}$	0,15	3,2	6,75
<i>Черноземы обыкновенные</i>							
0-20	34,95	$\frac{28,1}{80}$	$\frac{5,93}{18}$	$\frac{0,92}{2}$	0,23	2,1	7,8
20-40	31,72	$\frac{25,7}{81}$	$\frac{5,40}{17}$	$\frac{0,62}{2}$	0,62	1,9	7,9
40-60	34,04	$\frac{27,9}{82}$	$\frac{5,22}{16}$	$\frac{0,92}{2}$	1,95	1,5	8,2
0-40	33,36	$\frac{26,9}{80}$	$\frac{5,67}{18}$	$\frac{0,77}{2}$	0,43	2,0	7,85
Без орошения 0-40	42	90	9,9	0,1	0,47 – типичные; 0,86 – обыкновенные	≤ 2	7,2 – типичные; 7,5 – обыкновенные

Сумма почвенного поглощающего комплекса (ППК) в пахотном слое неорошаемых черноземов составляет в среднем 42 ммоль (экв)/100 г почвы. Ниже по профилю происходило снижение этой величины. Среди обменных катионов преобладал кальций – до 90% суммы ППК. Доля обменного магния в почвах составляет 9,9% суммы оснований, количество обменного натрия в ППК неорошаемых участков невелико – 0,1%.

В условиях длительного орошения сумма ППК изменилась на 8-11% в сторону уменьшения. Снижение суммы ППК отмечено только на тех участках, где содержание гумуса снижается.

Наблюдается изменение в количественном соотношении катионов ППК. Так, в слое 0-40 см типичных черноземов содержание обменного кальция уменьшилось на 10%, а в обыкновенных черноземах – на 12%. Неоднозначность полученных данных в орошаемых почвах обусловлена, с одной стороны, различием в катионном составе оросительных вод, с другой – изменением содержания гумуса в этих почвах. Аналогичным образом изменяется и содержание обменного магния в ППК.

Наиболее четко среди обменных катионов проявляются изменения в условиях орошения для обменного натрия. В типичных черноземах его содержание в слое 0-40 см составило 1% суммы ППК, в обыкновенных возросло до 2%, что для них очень опасно. Большее внедрение в ППК чернозема обыкновенного натрия, по сравнению с типичным, можно объяснить более плохим качеством вод, используемых для полива. Установлено, что содержание Ca^{2+} в обыкновенных черноземах уменьшается при орошении водой, в которой преобладают бикарбонаты натрия.

В черноземах обыкновенных многолетнего орошения отмечается подщелачивание верхних слоев почвы, что не обнаружено в типичных черноземах (см. табл. 4).

Черноземы типичные по содержанию гидролитической кислотности (Нг) относятся к слабокислым, так же, как и по рН водной вытяжки. Обыкновенные черноземы по гидролитической кислотности и по рН водной вытяжки относятся к нейтральным.

Орошение черноземов не вызывало существенных изменений солевого состава почв, сумма солей в обоих подтипах орошаемых

черноземов находилась в пределах 0,05-0,09%, т.е. почвы классифицировались как незасоленные. Необходимо отметить, что в ЦЧО практически отсутствуют проблемы вторичного засоления почв, но орошение влияет на карбонатный режим. Карбонаты изменяются примерно одинаково как в типичных, так и обыкновенных черноземах. Понижение границы расположения карбонатов относительно богары составляет 10-15 см. Так, после 13 лет орошения количество карбонатов в типичном черноземе составило в верхнем 0-40-сантиметровом слое 0,15%, в обыкновенном – 0,43%. По сравнению с участками без орошения их содержание в верхнем 40-сантиметровом слое уменьшается в типичных черноземах на 78%, а в обыкновенных – на 50%, т.е. и в тех и в других наблюдается процесс выщелачивания.

В агроценозах наиболее заметной трансформации подвергается верхняя полуметровая толща, поэтому гумусное состояние изучалось в слое 0-40 см. Результаты определения содержания гумуса представлены в табл. 5.

Таблица 5

Гумусное состояние длительно орошаемых типичных и обыкновенных черноземов

Слой, см	Общий гумус, %	$C_{\text{общ.}}, \%$	ГК, % от $C_{\text{общ.}}$	ФК, % от $C_{\text{общ.}}$	$C_{\text{остатка почвы}}, \%$ % от $C_{\text{общ.}}$	$\frac{C_{\text{г.к.}}}{C_{\text{ф.к.}}}$	Тип гумуса
<i>Черноземы типичные</i>							
0-20	7,83	4,54	43	19	38	2,3	Г
20-40	6,71	3,89	39	20	41	2,0	Г
0-40	7,27	4,22	41	20	39	2,1	Г
0-40 (без орошения)	7,19	4,17	45	18	37	2,5	Г
<i>Черноземы обыкновенные</i>							
0-20	6,59	3,82	43	15	42	2,9	Г
20-40	5,87	3,40	41	15	44	2,7	Г
0-40	6,23	3,61	42	15	43	2,8	Г
0-40 (без орошения)	6,10	3,54	47	15	38	3,1	Г

На неорошаемых участках общее содержание гумуса в слое 0-40 см типичных черноземов составляет 7,19%, в обыкновенных – 6,10%, т.е. они соответствуют разной степени гумусированности: типичные – средне-, а обыкновенные – слабогумусированные. Орошение этих черноземов в течение длительного периода способствовало накоплению гумуса, но выявлено, что изменение его состава было разным. В типичных черноземах по сравнению с участком без орошения отмечается увеличение гумуса на 0,08%, уменьшение отношения гуминовых кислот к фульвокислотам, возрастание углерода остатка в почве, но гумус при этом остается гуматным.

В черноземах обыкновенных общее содержание гумуса ниже почти на 1%, что связано с генетическими особенностями. По сравнению с черноземом типичным он содержит на 1% больше гуминовых кислот и на 5% – меньше фульвокислот. При длительном орошении отмечается увеличение общего содержания гумуса на 0,13% в абсолютных величинах по сравнению с участками без орошения. В целом групповой состав при орошении изменяется в сторону уменьшения гуминовых кислот при увеличении содержания углерода остатка почв, а отношение гуминовых кислот к фульвокислотам составило 2,8, но тип гумуса сохранился гуматным.

Таким образом, на участках, поливаемых более 13 лет, содержание гумуса на 0,8-0,13% выше, чем на участках без орошения. Это значит, что гумусное состояние орошаемых черноземов можно стабилизировать и даже повысить, несмотря на усиление минерализации органического вещества и трансформации его состояния в сторону фульватизации.

Питательный режим во многом определяется культурой земледелия и, в частности, вносимыми дозами удобрений (табл. 6).

Обеспеченность элементами питания черноземов без орошения в 0-40-сантиметровом слое разная: на типичных черноземах для зерно-кормовых севооборотов по легкогидролизуемому азоту соответствует средней, по подвижному фосфору – низкой, по обменному калию – повышенной; в обыкновенных черноземах соответственно низкой, низкой и повышенной.

Таблица 6

**Обеспеченность элементами питания черноземов
типичных и обыкновенных длительно орошаемых (n = 5)**

Слой, см	Чернозем типичный			Чернозем обыкновенный		
	легкогидролизуемый азот	подвижный фосфор	обменный калий	легкогидролизуемый азот	подвижный фосфор	обменный калий
	МГ/КГ					
0-20	64	59	135	54	45	122
20-40	52	53	129	39	39	116
0-40	58	56	132	47	42	119
0-40 (без орошения)	52	46	120	45	38	115

Орошение, где не проявляются негативные почвенные процессы, способствует лучшему развитию растений, в том числе накоплению пожнивных остатков и питательных элементов. Это наблюдается и в изучаемых черноземах.

Типичные черноземы, орошаемые пресной водой благоприятного состава, имеют среднюю обеспеченность легкогидролизуемым азотом, подвижным фосфором и высокую – по обмену калию. Черноземы обыкновенные, поливаемые пресной водой, но с наличием щелочности и более 20% натрия имеют низкую обеспеченность легкогидролизуемым азотом, подвижным фосфором и повышенную – обменным калием.

Таким образом, проанализировав состояние черноземов типичных и обыкновенных ЦЧО длительно орошаемых, следует отметить наличие общих почвенных процессов, характерных для орошаемых почв:

- переуплотнение, которое подтверждается структурным состоянием почв, водопрочностью агрегатов и водопроницаемостью. Этот процесс на данных почвах проявляется в разной степени, что связано с физико-химическими свойствами и качеством поливной воды. В типичных черноземах он выражен слабее, чем в обыкновенных, так как типичные черноземы более насыщены кальцием, более гумусированы и поливаются водой, содержащей не более 20% натрия;

- выщелачивание характеризуется уменьшением карбонатов в слое 0-40 см. После 13 лет орошения, по сравнению с участками без орошения, CO_2 карбонатов в типичном черноземе сократилось на 78%, а в обыкновенном – на 50%. Снижение степени насыщенности основаниями (на 8-11%), уменьшение обменного кальция (на 10%) в типичных и обыкновенных черноземах (на 12%) также указывают на наличие процесса выщелачивания в этих почвах при длительном орошении.

Длительно орошаемые типичные и обыкновенные черноземы характеризуются развитием следующих процессов:

- в типичных черноземах наблюдаются процессы подкисления, а в обыкновенных (поскольку орошаются щелочной водой) – подщелачивания;

- в тех и других почвах по общему содержанию гумуса происходит процесс гумификации, но в типичных черноземах сохраняется гуматный состав гумуса, а в обыкновенных он перестраивается в сторону фульватизации;

- процесс агроистощения отсутствует в черноземах типичных, длительно орошаемых, но присутствует в черноземах обыкновенных, поскольку они имеют низкую обеспеченность азотом и фосфором по сравнению с участками без орошения.

■ 1.2.3. Черноземы обыкновенные и южные в комплексе с солонцами Ростовской области

Ростовская область входит в степную природную зону с количеством выпадающих осадков в год от 400 до 600 мм, в среднем – 500 мм. Испаряемость превышает количество осадков приблизительно на 20-30%. Но учитывая, что основные осадки выпадают в осенне-зимний период, требуется орошение. Под орошение в этой зоне освоены черноземы обыкновенные и южные в комплексе с солонцами.

Более 50% орошаемых черноземов представлено олуговыми разновидностями с близким залеганием грунтовых вод. Располагаются они в основном в долинах р. Дон. Лёссовидные суглинки различного происхождения с засоленностью с глубины 2-4 м являются почвообразующими породами черноземов.

Черноземы изучались по представительным участкам. В Багаевском районе изучалось влияние длительного орошения пресной водой на черноземы обыкновенные. За вегетационный период выпадает всего 230-260 мм осадков. Для выращивания большого набора сельскохозяйственных культур требуется орошение. Грунтовые воды на данном участке характеризуются изменчивостью, что свойственно и другим долинным массивам на орошении. В осенний период они находятся глубже 3 м, в весенне-летний – менее 2 м с различной минерализацией – от 1,5 до 4,5 г/дм³. Оросительные воды, забираемые из Цимлянского водохранилища, не имеют отрицательных характеристик (0,5-0,7 г/дм³ гидрокарбонатно-кальциевого состава), но в теплый период преобладает натрий – до 20%, что может сказаться на развитии растений. Осваиваются в основном зернокармливые севообороты. Под обычные культуры оросительная норма составляла 1500-2000 м³/га, под многолетние травы – до 5000 м³/га. Поливы проводились по требованию культуры, требования почв не учитывались.

Результаты исследований по этим участкам сведены в табл. 7-11.

Таблица 7

Водно-физические свойства чернозема обыкновенного при регулярном длительном орошении пресной водой (n = 5)

Слой, см	Плотность сложения почвы		Агрегаты 0,25-10 мм при сухом просеивании		Водопрочные агрегаты более 0,25 мм	
	т/м ³	оценка	%	оценка	%	оценка
0-40	1,23	Сильно уплотнена	38	Неудовлетворительная	29	Недостаточно удовлетворительная
ОП	Менее 1,1	Типичные значения	80-60	Хорошая	более 40	Хорошая
ПДП	1,15-1,25	Уплотнена	60-40	Удовлетворительная	30-40	Удовлетворительная

Как видно из табл. 7, в 0-40-сантиметровом слое черноземов обыкновенных плотность сложения увеличилась на 7% по сравнению с ОП и пашня стала сильно уплотненной. Структурное состояние – неудовлетворительное, так как содержание агрономически

ценных агрегатов при сухом просеивании составило всего 38%. Водопрочность также неудовлетворительная.

В целом, анализируя водно-физические показатели черноземов обыкновенных, поливаемых пресной водой, необходимо отметить ухудшение структуры этих почв и их переуплотнение.

Данные по содержанию легкорастворимых солей в зависимости от залегания УГВ и их минерализации представлены в табл. 8. Они показывают, что в процессе орошения пресной водой 0-40-сантиметровый слой черноземов остается незасоленным. При сульфатно-хлоридном и хлоридно-сульфатном засолении общее содержание солей в слое 0-40 см не превышает 0,115% (скважина 13).

Однако в некоторых скважинах при близком залегании минерализованных грунтовых вод обнаруживается засоление на глубине 80 см и более при общем содержании солей более 0,3%. Это свидетельствует о развитии на этих глубинах солончакового процесса почвообразования. Анализ почв по показателю щелочности, рассчитанной по Б.А. Зимовцу, показал ее отсутствие во всех исследуемых почвенных пробах. О наличии в длительно орошаемых черноземах обыкновенных пресной водой процесса выщелачивания свидетельствует вскипание от 10% НСІ в этих почвах только с 55-60 см.

Содержание карбонатов в слое 0-60 см не превышает 0,3%, поэтому почвы не вскипают (табл. 9). С глубины количество карбонатов составляет уже около 3% и отмечается сильное вскипание.

По низкому содержанию NPK и гумуса можно судить о происходящих процессах выщелачивания и агроистощения.

Состав ППК в черноземе обыкновенном, орошаемом более 50 лет пресной водой, представлен в табл. 10. Верхние слои подверглись выщелачиванию кальция, содержание которого в составе ППК после длительного орошения составляет около 80% и менее, т.е. достигло ПДП. Его место заняли магний и натрий, несмотря на то, что состав поливной воды гидрокарбонатно-кальциевый, но в теплый период содержание водорастворимого натрия в такой воде достигает 20%, что сказывается на физико-химических свойствах, способствующих развитию процесса осолонцевания почв.

Таблица 8

**Содержание и состав водорастворимых солей в черноземе обыкновенном,
длительно орошаемом пресной водой**

Слой и глубина, см	Сумма ионов, %	Токсичные соли, %	Водорастворимые соли, ммоль (экв)/100 г почвы							pH	Щелочность по Зимовцу: HCO ₃ ²⁻ - Ca ²⁺ + + Na ⁺ + Mg ²⁺ , ммоль (экв)/100 г
			Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺		
<i>Скважина 13</i>											
0-20	0,080	0,047	0,51	0,17	0,50	0,44	0,23	0,48	0,03	7,9	0,12
20-40	0,150	0,055	0,41	0,22	0,53	0,51	0,33	0,29	0,03	7,3	0,02
40-60	0,105	0,065	0,51	0,58	0,61	0,49	0,63	0,58	0,03	8,2	0,24
60-80	0,122	0,088	0,51	0,80	0,65	0,41	0,84	0,71	0,03	8,5	0,48
80-100	0,102	0,053	0,51	0,44	0,65	0,47	0,32	0,88	0,03	8,2	0,36
100-130	0,156	0,100	0,61	1,45	0,42	0,95	0,35	1,15	0,03	7,7	HCO ₃ ⁻ < Ca
130-160	0,111	0,079	0,51	0,61	0,57	0,48	0,33	0,85	0,03	8,1	0,18
160-200	0,135	0,089	0,61	0,97	0,50	0,71	0,60	0,95	0,03	7,5	HCO ₃ ⁻ < Ca
0-40	0,115	0,051	0,46	0,20	0,51	0,48	0,28	0,39	0,03	7,6	0,08
Грунтовая вода: глубина 230	5,03 г/дм ³	-	12,81	60,56	5,37	21,78	18,02	38,91	0,03	7,4	-
<i>Скважина 15</i>											
0-20	0,105	0,074	0,61	0,62	0,42	0,31	0,76	0,55	0,03	8,3	0,22
20-40	0,115	0,074	0,61	0,43	0,50	0,40	0,63	0,48	0,03	8,2	0,20
40-60	0,172	0,130	0,61	1,20	0,57	0,47	0,75	1,13	0,03	8,5	0,20
60-80	0,268	0,209	0,61	2,51	0,51	0,46	0,75	2,39	0,03	8,7	0,10

Слой и глубина, см	Сумма ионов, %	Токсичные соли, %	Водорастворимые соли, ммоль (экв)/100 г почвы							pH	Щелочность по Зимовцу: HCO ₃ ²⁻ - Ca ²⁺ + + Na ⁺ + Mg ²⁺ , ммоль (экв)/100 г
			Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺		
80-100	0,360	0,287	0,71	3,84	0,46	0,41	1,47	2,83	0,03	8,8	0,10
0-40	0,110	0,074	0,61	0,52	0,46	0,36	0,70	0,52	0,03	8,2	0,21
Грунтовая вода: глубина 125	6,08 г/дм ³	-	15,74	52,93	26,49	20,39	26,73	48,04	-	8,5	-
<i>Скважина 16</i>											
0-20	0,107	0,068	0,51	0,59	0,50	0,48	0,67	0,35	0,10	8,1	0,04
20-40	0,088	0,115	0,61	0,46	0,24	0,22	0,71	0,30	0,08	8,2	0,04
40-60	0,107	0,066	0,51	0,46	0,61	0,59	0,64	0,35	0,08	8,0	0,04
60-80	0,100	0,088	0,81	0,49	0,44	0,32	0,75	0,57	0,10	8,4	0,24
80-100	0,091	0,051	0,51	0,60	0,22	0,48	0,03	0,74	0,08	7,4	-
100-130	0,097	0,055	0,61	0,68	0,22	0,63	0,44	0,39	0,05	7,2	-
0-40	0,098	0,092	0,56	0,46	0,37	0,35	0,69	0,38	0,09	8,1	0,04
Грунтовая вода: глубина 130	1,897 г/дм ³	-	7,20	19,41	2,87	19,01	2,12	8,30	0,05	7,4	-
<i>Скважина 23</i>											
0-20	0,084	0,041	0,71	0,17	0,44	0,38	0,44	0,47	0,03	7,5	0,12
20-40	0,090	0,046	0,71	0,14	0,55	0,38	0,52	0,47	0,03	8,0	0,34
40-60	0,090	0,046	0,71	0,14	0,55	0,38	0,52	0,47	0,03	8,0	0,34

60-80	0,092	0,028	0,91	0,03	0,51	0,50	0,20	0,72	0,03	7,6	0,02
80-100	0,139	0,066	0,91	0,71	0,48	0,48	0,64	0,95	0,03	7,5	-
100-130	0,318	0,150	0,71	3,75	0,42	1,60	1,60	1,65	0,03	7,4	-
130-160	0,342	0,191	1,11	3,81	0,42	1,44	2,00	1,87	0,03	7,4	-
0-40	0,087	0,044	0,71	0,15	0,50	0,38	0,48	0,47	0,03	7,8	0,23
Грунтовая вода: глубина 140	4,727 г/дм ³	-	18,41	51,91	4,99	27,13	14,45	33,70	0,03	7,2	-
<i>Скважина 25</i>											
0-20	0,088	0,033	0,71	0,08	0,55	0,50	0,36	0,43	0,05	7,5	0,10
20-40	0,085	0,043	0,61	0,12	0,57	0,40	0,52	0,33	0,05	7,6	0,34
40-60	0,100	0,067	0,75	0,32	0,53	0,43	0,42	0,70	0,05	7,9	0,20
60-80	0,123	0,059	0,91	0,42	0,55	0,46	0,32	1,07	0,03	8,2	0,18
80-100	0,294	0,041	1,01	2,98	0,44	2,40	0,68	1,30	0,05	7,4	-
100-130	0,339	0,107	1,00	3,69	0,43	3,04	0,73	1,30	0,05	7,4	-
130-160	0,385	0,129	0,91	4,38	0,46	3,76	0,64	1,30	0,05	7,4	-
0-40	0,087	0,038	0,66	0,10	0,56	0,45	0,44	0,38	0,05	7,5	0,22
Грунтовая вода: глубина 140	4,232 г/дм ³	-	8,27	51,22	5,49	21,78	16,33	26,87	-	7,3	-

Таблица 9

**Содержание карбонатов и питательных элементов
в длительно орошаемых черноземах обыкновенных (n = 5)**

Слой, см	CaCO ₃ , %	Азот нитратный	Подвижный фосфор	Обменный калий
0-20	0,239	38	15	219
20-40	0,245	35	12	214
40-60	0,322	27	10	210
60-80	3,320	14	8	205
80-100	5,870	10	5	190
0-40	0,242	37	13	216

Таблица 10

**Влияние глубины залегания и минерализации грунтовых вод
на солонцеватость почв**

Слой, см	Σ ППК, ммоль (экв)/100 г	От Σ ППК, %		
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
<i>Скважина 13</i>				
0-20	25,59	79	19	2
20-40	24,84	80	18	2
40-60	24,92	79	19	2
60-80	21,12	84	13	3
80-100	20,55	78	19	3
Грунтовая вода: h = 230 см, минерализация – 5,0 г/дм ³ , SO ₄ -Na-состава				
<i>Скважина 15</i>				
0-20	26,95	76	22	2
20-40	24,70	72	26	2
40-60	23,02	73	25	2
60-80	22,52	76	21	3
80-100	-	72	23	5
Грунтовая вода: h = 125 см, минерализация – 6,1 г/дм ³ , SO ₄ -Na-состава				
<i>Скважина 16</i>				
0-20	25,37	80	19	1
20-40	24,61	77	22	1
40-60	24,01	79	20	1
60-80	24,20	80	19	1
80-100	23,65	81	17	2

Слой, см	∑ ППК, ммоль (экв)/100 г	От ∑ ППК, %		
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
Грунтовая вода: h = 130 см, минерализация – 1,9 г/дм ³ , SO ₄ -Na-состава				
<i>Скважина 23</i>				
0-20	30,21	78	20	2
20-40	29,96	76	21	3
40-60	26,2	80	17	3
60-80	25,64	77	17	4
80-100	25,94	77	16	7
Грунтовая вода: h = 140 см, минерализация – 4,7 г/дм ³ , SO ₄ -Na-состава				
<i>Скважина 25</i>				
0-20	28,77	81	18	1
20-40	27,63	79	19	2
40-60	23,77	77	20	3
60-80	23,07	73	22	5
80-100	24,94	70	22	8
Грунтовая вода: h = 140 см, минерализация – 4,2 г/дм ³ , SO ₄ -Na-состава				

Наличие в составе ППК черноземов натрия более 1% приводит к его деградации, особенно водно-физических свойств. В результате поднятия УГВ отмечена глубинная солонцеватость. Обменный натрий обнаруживается на разных глубинах. При залегании грунтовых вод на уровне 125-140 см с минерализацией 4-6 г/дм³ он проявляется уже на глубине 60-80 см в количестве 3-8%.

Гумусное состояние черноземов представлено в табл. 11. До орошения содержание гумуса превышало 4%, тип гумуса – гуматный. После длительного орошения общее содержание гумуса сократилось на 22%, а гумус стал фульватно-гуматным.

Анализ и выявленные особенности гумусного состояния этих черноземов показали, что в данных почвах происходит негативный почвенный процесс – дегумификация.

Дегумификация – основной признак развития процесса агроистощения почв. Подтверждением этого процесса является также не только низкое содержание гумуса, но и питательных элементов, а по нормативным параметрам изучаемый чернозем относится к средне-дегумифицированным.

Таблица 11

**Общее содержание и групповой состав гумуса чернозема
обыкновенного, длительно орошаемого пресной водой (n = 5)**

Слой, см	Гумус, %	C _{общ.} , %	ГК	ФК	C _{остатка почвы} , % от C _{общ.}	$\frac{C_{г.к.}}{C_{ф.к.}}$	Тип гумуса
0-20	3,55	2,06	31,1	16,6	52,3	1,87	Ф-Г
20-40	3,27	1,90	30,4	17,4	52,3	1,75	Ф-Г
40-60	2,46	1,43	28,7	19,8	51,5	1,45	Ф-Г
0-40	3,41	1,98	30,8	17,0	–	1,81	Ф-Г
ОП	> 4,4	–	–	–	–	> 2,0	Г
ПДП	3,8-4,5	–	–	–	–	2,0-1,7	Ф-Г

Таким образом, длительное орошение пресной водой черноземов обыкновенных способствовало развитию таких негативных процессов, как солонцеватость и вторичное засоление на глубине 60-80 см, переуплотнение пахотных слоев, выщелачивание карбонатов и питательных элементов, а также трансформация гумусного состояния почв в сторону дегумификации.

Наличие на участке в предпосевной период избыточного увлажнения в виде луж в течение двух-трех недель свидетельствует о процессе переувлажнения.

Влияние длительного орошения на свойства черноземов обыкновенных, орошаемых слабоминерализованной водой, изучалось на участке в Неклиновском районе Ростовской области, где за год выпадает от 450 до 500 мм осадков, за вегетационный период – 250-280 мм. Источником орошения является Миусский лиман. Оросительные нормы при регулярном орошении были такими же, как и в черноземах, поливаемых пресной водой, – от 2500 до 5000 м³/га, поливные нормы составляли 400-600 м³/га.

Оросительная вода, имеющая минерализацию 1,2-1,7 г/дм³ сульфатно-натриевого состава, по оценкам С.Я. Бездницей, может способствовать проявлению натриевой и магниевой солонцеватости. Поскольку оросительная сеть на обследуемом участке закрытая, то грунтовые воды располагаются глубже 3 м и не оказывают отрицательного влияния на плодородие почв. В то же время

после многолетнего орошения (более 40 лет) в обследуемой почве в 0-40-сантиметровом слое появились щелочность в количестве 1,29 ммоль (экв)/100 г и солонцеватость в количестве 7 % обменного натрия от суммы ППК (табл. 12).

Таблица 12

**Изменение свойств черноземов обыкновенных,
длительно орошаемых (n = 5)**

Слой, см	Щелочность		Σ ППК ммоль (экв)/100 г	Солонце- ватость	Токсичные соли, %	Плотность сложения почвы, т/м ³	Водопрочность агрегатов, %
	pH	(HCO ₃ ⁻ – Ca ²⁺) + Na ⁺ + Mg ²⁺ , ммоль (экв)/100 г		Na от Σ ППК, %			
0-40	8,3	1,29	31,0	7	0,086	1,34	9
40-100	7,9	0,95	28,2	5	0,075	1,31	10
0-100	8,0	1,09	29,3	6	0,083	1,32	10

Эти показатели выше предельно допустимых параметров, однако водорастворимые соли в данных почвах не накапливаются даже при поливах водой удовлетворительного качества. Связано это с выщелачиванием солей за осенне-зимний период.

Процессы подщелачивания и осолонцевания почв провоцируют разрушение структуры. Результаты определения водопрочных агрегатов в исследуемых черноземах свидетельствуют об их отсутствии (меньше 10%). При плотности сложения почвы в верхнем слое 1,34 т/м³ пашня характеризуется как сильно уплотненная (см. табл. 12).

Гумус составил 3,22%, что ниже оптимальной величины на 0,98%, или 24% в относительных единицах (табл. 13).

Отношение $C_{Г.К.}$ и $C_{Ф.К.}$ и указывает на гуматно-фульватный состав гумуса и наличие процесса дегумификации.

В табл. 14 представлено содержание карбонатов по слоям. Обыкновенные черноземы до орошения характеризовались слабым вскипанием с поверхности и сильным с глубины 40 см. После длительного орошения карбонаты в количестве 3,6% находятся значительно глубже (60 см). Этому способствует процесс выщелачивания, характерный для орошаемых почв.

Таблица 13

**Гумусное состояние чернозема
обыкновенного после длительного регулярного орошения
слабоминерализованной водой**

Слой, см	Гумус, %	$C_{\text{общ.}}$, %	ГК, % и $C_{\text{общ.}}$	ФК, % и $C_{\text{общ.}}$	$C_{\text{остатка почвы}}$, % от $C_{\text{общ.}}$	$\frac{C_{\text{г.к.}}}{C_{\text{ф.к.}}}$	Тип гумуса
0-20	3,29	1,96	18,3	23,2	58,5	0,78	Г-Ф
20-40	3,12	1,81	19,9	22,6	57,5	0,88	Г-Ф
40-60	2,84	1,65	17,9	24,5	55,6	0,73	Г-Ф
0-40	3,22	1,86	19,1	22,9	-	0,84	Г-Ф
ОП	Более 4,2			Н. д.		2,0-1,0	Ф-Г
ПДП	3,6-3,8			Н. д.		1,0-0,5	Г-Ф

Таблица 14

**Содержание в черноземе обыкновенном после длительного
регулярного орошения слабоминерализованной водой
питательных элементов и карбонатов (n = 5)**

Слой, см	Азот нитратный	Подвижный фосфор	Обменный калий	CaCO_3 , %
	мг/кг			
0-20	47	17	223	0,2
20-40	36	15	209	0,2
40-60	15	12	198	0,3
60-80	12	10	176	3,6
80-100	9	8	160	4,9
0-40	42	16	216	0,2

Как видно из табл. 14, обеспеченность элементами питания в слое 0-40 см низкая и очень низкая, что свидетельствует о невысокой культуре земледелия, в том числе применении неправильной технологии орошения, приводящей к агроистощению этих почв.

Таким образом, длительное регулярное орошение слабоминерализованной водой сульфатно-натриевого состава оросительными нормами от 2500 до 5000 м³/га способствует проявлению в черноземах почвенных процессов, приводящих к утрате почвенного плодородия и снижению урожайности возделываемых культур, а именно:

- в основном корнеобитаемом слое развиваются процессы подщелачивания и осолонцевания, в результате чего черноземы обыкновенные после длительного регулярного орошения слабоминерализованной водой сульфатно-натриевого состава приобрели свойства среднешелочных и среднесолонцеватых почв;

- в результате осолонцевания и подщелачивания при поливах некачественной водой усиливается процесс переуплотнения почв. Плотность сложения почвы в верхнем 0-40-сантиметровом слое составила $1,34 \text{ т/м}^3$ (сильно уплотненная пашня), а водопрочность – 9%, что свидетельствует об отсутствии в почвах водопрочных агрегатов;

- процесс дегумификации подтверждается не только уменьшением общего содержания гумуса (3,22 %), но и перестройкой его качественного состава из гуматного и фульватно-гуматного в гуматно-фульватный;

- наличие в этих черноземах карбонатов на глубине 60 см и отсутствие в поверхностном слое легкорастворимых солей (хотя для орошения используется некачественная вода) свидетельствуют о процессах выщелачивания;

- агроистощение почв подтверждается низким содержанием гумуса и питательных элементов.

Черноземы южные обычно располагаются в комплексе с солонцами, поэтому стационарный участок для изучения влияния длительного орошения на почвенные процессы выбран в Сальском районе Ростовской области, так как земли здесь орошаются более 30 лет. По географическому положению и почвенно-климатическим условиям данное хозяйство входит в пятую сельскохозяйственную зону. Сальский район имеет засушливый климат с ГТК – 0,44-0,55. За год выпадает 370-400 мм осадков, за вегетационный период – от 190 до 240.

Источником орошения служит Веселовское водохранилище. Минерализация воды в нем – $1,8-2,0 \text{ г/дм}^3$ сульфатно-натриевого состава. Грунтовые воды находятся глубже 3 м, поэтому не влияют на почвенные процессы. Оросительные нормы при регулярном орошении составляли 2800-5000 $\text{м}^3/\text{га}$, поливные – 400-600.

Характеристика водно-физических свойств длительно орошаемых почв комплексного покрова представлена в табл. 15.

Таблица 15

**Водно-физические свойства длительно орошаемых почв
комплексного покрова (n = 5)**

Слой, см	Плотность сложения, т/м ³	Структурное состояние (сухое просеивание), %	Водо- прочность, %	Водопроницаемость, мм/мин
<i>Чернозем южный</i>				
0-20	1,25	57	39	0,65
20-40	1,35	51	37	–
40-60	1,45	Не определялось		
0-40	1,30	54	38	–
ОП	< 1,20	> 60	> 40	> 0,8
ПДП	1,20-1,25	60-40	30-40	0,8-0,6
<i>Солонец</i>				
0-20	1,45	35	28	0,48
20-40	1,50	31	20	–
40-60	1,55	Не определялось		
0-40	1,48	33	24	–
ОП	< 1,25	> 40	> 30	> 0,6
ПДП	1,25-1,30	40-20	Н20-30	0,6-0,4

Анализ данных показал, что все показатели находятся практически на уровне предельно допустимых параметров. Данные по плотности сложения почв показали, что в слое 0-40 см чернозема южного она составила 1,30 т/м³ – что соответствует категории сильно уплотненной пашни.

Из табл. 15 видно, что структурное состояние, которое оценивается содержанием агрегатов 0,25-10 мм при сухом просеивании, удовлетворительное (54%). Водопрочность по показателю 38% также удовлетворительная, но находится на грани ПДП. Водопроницаемость, составляющая 0,65 мм/мин с поверхности, также удовлетворительная.

Анализ водно-физических свойств чернозема южного позволяет утверждать, что в результате длительного орошения слабоминерализованной водой сульфатно-натриевого состава идет процесс переуплотнения почв, который еще в большей степени проявляется

в солонцах, где плотность сложения почвы составляет 1,48 т/м³. Это уже типичные значения для подпахотных горизонтов. Соответственно, структурное состояние неудовлетворительное, а водопрочность и водопроницаемость – удовлетворительные. Поскольку все показатели водно-физических свойств солонца находятся на уровне ПДП для этих почв, а плотность сложения даже выше, можно считать, что процессом переуплотнения при длительном орошении охвачен весь массив почв с комплексным покровом. Анализ водной вытяжки образцов почвы показал, что сумма солей на зональных почвах составляет в среднем 0,096 и 0,079% на пятнах солонцов. Такие значения характерны для верхнего 0-20-сантиметрового слоя. С глубиной величина засоления немного увеличивается и достигает максимума – 0,154% на зональных и 0,142% на пятнах в слое 60-80 см, ниже до метровой глубины величина засоления снова снижается.

Согласно классификации, при хлоридно-сульфатном (Cl:SO₄) типе засоления весь метровый слой чернозема и солонца можно считать незасоленным (табл. 1б). Однако детальный анализ водной вытяжки показывает, что преобладающий в них гидрокарбонат-ион HCO₃⁻ создает в почве щелочную реакцию, что является крайне отрицательным свойством для почвы. Такое превышение содержания иона HCO₃⁻ над другими анионами наблюдается в слое 0-60 см, т.е. в основной корнеобитаемой зоне.

О щелочной реакции свидетельствуют и значения рН водной суспензии выше границы 7,8 ед., начиная с которой почвы считаются щелочными. Содержание сульфатов SO₄²⁻ превышает содержание ионов Cl⁻ по всему профилю, в большей степени в верхних горизонтах (в 3-5 раз), в меньшей – в нижних (в 1,5-3 раза).

Анализируя катионный состав водной вытяжки, нужно отметить преимущество катиона Na⁺, особенно оно выражено в верхних слоях до глубины 60 см. По содержанию и составу водорастворимых солей чернозем и солонец довольно близки, т.е. длительное орошение почв комплексного покрова способствует выравниванию их свойств. На наличие щелочности в почвах комплексного покрова может влиять и состав почвенного поглощающего комплекса (рис. 3).

**Содержание и состав водорастворимых солей
в длительно орошаемых почвах комплексного покрова (n = 5)**

Слой, см	Сумма ионов, %	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	pH водной суспензии	Cl:SO ₄	Химизм засоления
		ммоль (экв)/100 г										
<i>Чернозем южный</i>												
0-20	0,096	0,10	0,40	0,78	-	0,23	0,17	0,67	0,01	8,58	0,25	Cl-SO ₄
20-40	0,105	0,11	0,52	0,79	-	0,22	0,25	0,92	0,02	8,57	0,21	Cl-SO ₄
40-60	0,123	0,17	0,66	0,80	-	0,53	0,37	0,70	0,02	8,39	0,26	Cl-SO ₄
60-80	0,154	0,37	1,25	0,63	-	0,82	0,57	0,89	0,02	8,22	0,30	Cl-SO ₄
80-100	0,130	0,57	0,57	0,74	-	0,57	0,35	0,96	0,01	8,45	1,00	Cl-SO ₄
<i>Солонец</i>												
0-20	0,079	0,10	0,28	0,66	-	0,23	0,17	0,63	0,02	7,96	0,36	Cl-SO ₄
20-40	0,076	0,10	0,16	0,74	-	0,23	0,22	0,51	0,04	7,96	0,63	Cl-SO ₄
40-60	0,122	0,19	0,77	0,75	-	0,50	0,42	0,76	0,03	8,16	0,25	Cl-SO ₄
60-80	0,142	0,44	1,04	0,63	-	0,68	0,52	0,94	0,01	8,24	0,42	Cl-SO ₄
80-100	0,127	0,47	0,66	0,70	-	0,53	0,37	0,88	0,04	8,33	0,71	Cl-SO ₄

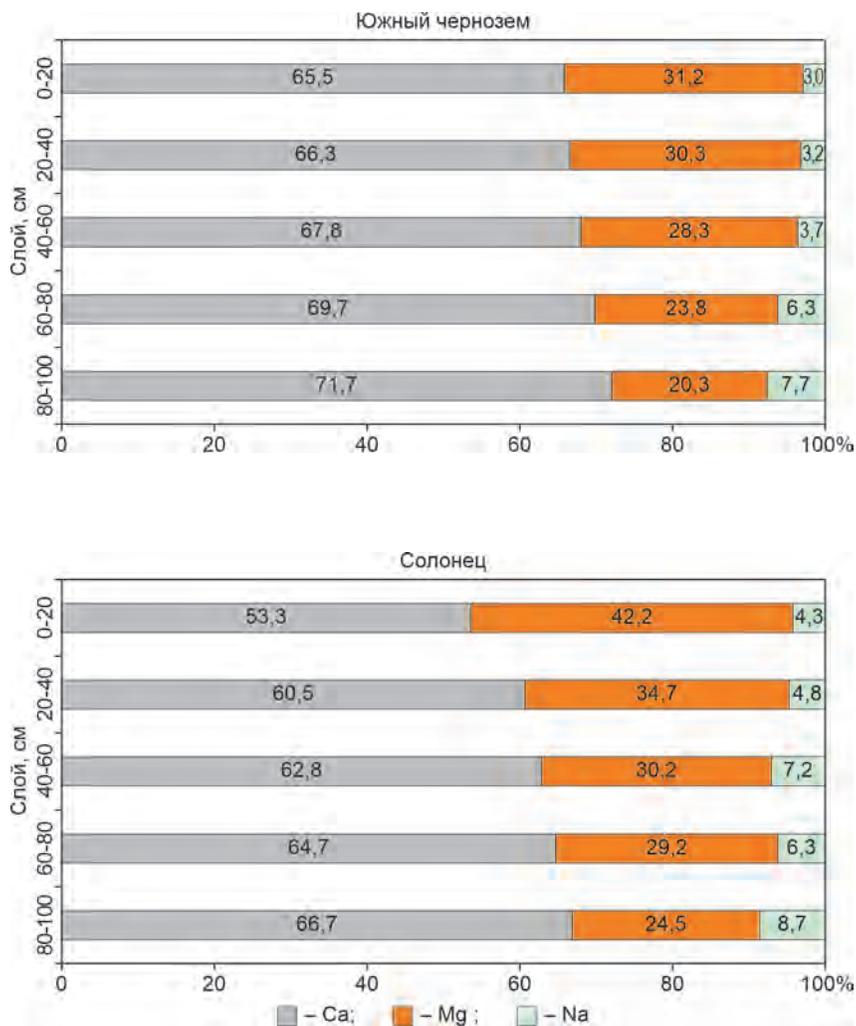


Рис. 3. Состав почвенного поглощающего комплекса почв комплексного покрова

Анализ состава почвенно-поглощающего комплекса показал, что во всех взятых образцах наблюдается пониженное содержание обменного кальция, на зональной почве (черноземе) – не более 65-70%, причем наибольшее содержание 71,7% от ППК отмечено в самом глубоком слое – 80-100 см, а в верхних наиболее значимых слоях – 0-20, 20-40 см – в среднем 65-66%. На пятнах солонцов этот показатель еще ниже: в слоях 0-20, 20-40 см составляет в среднем 53-60%, глубже – до 66%.

При этом на фоне повсеместного недостатка кальция как на зональных почвах, так и солонцах, усилена роль магния в почвенном поглощающем комплексе и в большей степени на пятнах солонцов (34-42% в верхних слоях – до 40 см), в меньшей – на зональных почвах (30-31%).

Содержание поглощенного натрия в ППК находится на границе опасных для данных почв пределов – более 3% (для южных черноземов). На пятнах содержание поглощенного натрия достигает 4-5% в слоях выше 40 см, ниже этого уровня – 7-8%. На зональных почвах опасность натриевого осолонцевания несколько меньше, но имеет место: до 60 см – 3-4%, ниже – 6-8% от Σ ППК.

Показатели почв комплексного покрова, рассчитанные по слоям 0-40, 40-100 и 0-100 см, указывают на то, что и чернозем, и солонец содержат щелочность, чернозем даже в большей степени, чем солонец (табл. 17).

Результаты расчета токсичной щелочности по Б.А. Зимовцу показывают, что слой 0-40 см черноземов обладает средней щелочностью, а солонца – слабой. Глубже этого слоя щелочность не повышается.

Аналогичную ситуацию выявляет и показатель рН водной суспензии, о котором уже упоминалось, величина его в среднем не опускается ниже 8 ед. и достигает максимального значения 8,57 в верхнем 0-40-сантиметровом слое зональной почвы. Весь слой 0-40 см как чернозема южного, так и пятен солонцов имеет неблагоприятную щелочную реакцию. Это может быть связано с повышенным содержанием и двойственной ролью катиона магния в водной вытяжке.

Таблица 17

Физико-химические свойства почв комплексного покрова (n = 5)

Слой, см	Сумма солей, %	Токсичные соли, %	рН водной суспензии	Щелочность по Б.А. Зимовцу ($\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$) + $\text{Na}^+ + \text{Mg}^{2+}$, ммоль (экв)/100 г	Почвенный поглощающий комплекс, ммоль (экв)/100 г	Состав ППК, %			Гумус, %	Карбонаты CaCO_3 , %
						Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+		
<i>Чернозем южный</i>										
0-40	0,100	0,067	8,6	1,12	26,2	66	31	3	3,62	0,24
40-100	0,134	0,084	8,4	Отсутствует	24,2	70	24	6	2,26	0,79
0-100	0,121	0,077	8,4	Отсутствует	25,0	68	27	5	2,80	0,52
ПДП	–	0,05-0,12	–	0,7–1,0	–	80-75	20-15	3-5	3,4-3,0	–
ОП	–	< 0,05	–	< 1,0	–	> 80	< 20	< 3	> 3,4	–
<i>Солонец</i>										
0-40	0,077	0,051	8,0	0,94	24,9	57	38	5	2,96	0,55
40-100	0,130	0,086	8,2	Отсутствует	20,8	65	28	7	1,19	1,1
0-100	0,109	0,072	8,1	Отсутствует	22,5	62	32	6	1,90	0,8
ПДП	–	0,10-0,25	–	1,0-1,2	–	70-75	20-25	5-7	2,5-2,0	–
ОП	–	< 0,10	–	< 1,0	–	> 75	< 25	< 5	> 2,5	–

Почвенный поглощающий комплекс не насыщен кальцием. Этот показатель не достигает ПДП. Содержание обменного натрия в слое 0-40 см чернозема южного составляет 3%, а солонца – 5%, что соответствует уровню предельно допустимых параметров для этих почв. Однако содержание обменного магния находится ниже предела ПДП. В этих почвах он играет отрицательную роль, так как его в составе ППК более 25%. Сравнивая состав ППК в 0-40-сантиметровом слое с ОП и ПДП, можно отметить усиление процессов декальцирования, натриевой и магниевой солонцеватости как в черноземах, так и солонцах. Кроме этого, наблюдается и процесс выщелачивания, что подтверждает отсутствие по всему метровому слою карбонатов (CaCO_3) и легкорастворимых солей.

Гумус, изучаемый в почвах данного комплексного покрова, указывает на разницу между зональной почвой (южный чернозем) и солонцом (рис. 4, табл. 18).

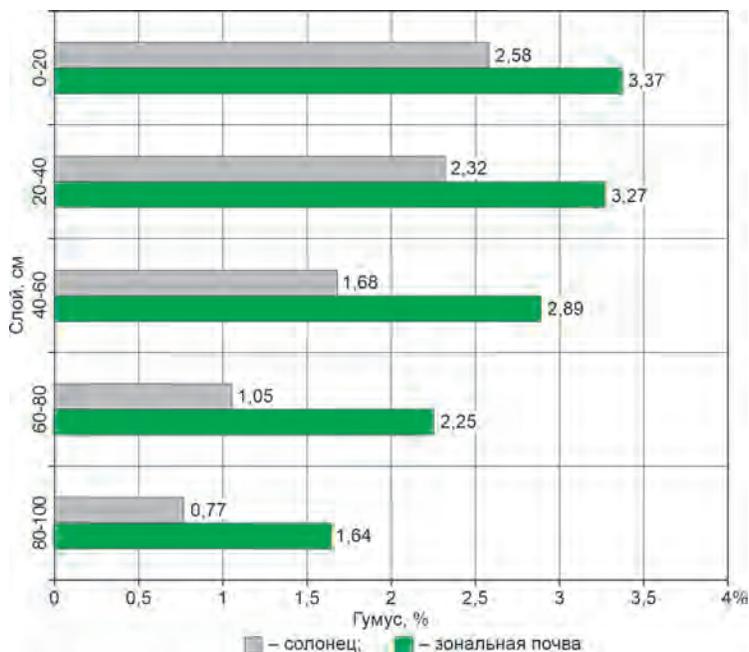


Рис. 4. Содержание гумуса в зональной почве и на солонцах по слоям до глубины 1 м

Таблица 18

**Общее содержание и групповой состав гумуса
и питательные элементы в длительно орошаемых почвах
комплексного покрова слабоминерализованной водой (0-40 см)
(n = 5)**

Слой, см	Гумус, %	C _{общ.} , %	ГК, % к C _{общ.}	ФК, % к C _{общ.}	C _{остатка} , % от C _{общ.}	$\frac{C_{Г.к.}}{C_{Ф.к.}}$	Тип гумуса	Питательные вещества, мг/кг	
								P ₂ O ₅	K ₂ O
<i>Чернозем южный</i>									
0-20	3,37	1,95	22,4	24,6	53,0	0,91	Г-Ф	17	310
20-40	3,27	1,90	21,7	25,0	53,3	0,87	Г-Ф	12	290
40-60	2,89	1,68	20,8	27,7	51,5	0,75	Г-Ф	7	216
0-40	3,32	1,93	22,1	24,8	53,1	0,89	Г-Ф	14	300
ОП	> 3,4		Н. д.			> 1,5	Ф-Г	> 15	> 450
ПДП	3,4-3,0		Н. д.			1,5-1,0	Г-Ф	45-38	450-400
<i>Солонец</i>									
0-20	2,58	1,47	18,8	22,5	58,7	0,83	Г-Ф	–	–
20-40	2,32	1,35	17,6	23,5	58,9	0,75	Г-Ф	12	236
40-60	1,68	0,98	15,9	25,2	60,3	0,63	Г-Ф	7	213
0-40	2,43	1,41	18,2	23,0	58,8	0,79	Г-Ф	8	224
ОП	> 2,5		Н. д.			> 1	Ф-Г	> 35	> 400
ПДП	2,5-2,1		Н. д.			1,0-0,8	Г-Ф	35-30	400-350

Примечание. ГК – гуминовые кислоты; ФК – фульвокислоты.

Чернозем, содержащий гумус в слоях 0-20, 20-40 см, соответственно в среднем 3,37-3,27%, относится к почвам с низким его количеством и соответствует ПДП. На глубине 40-60 см содержание гумуса остается в пределах той же градации.

На пятнах солонцов слои 0-20 и 20-40 см (2,58 и 2,32% соответственно) относятся к категории с низким содержанием гумуса. Ниже 40 см обнаруживается очень невысокое его содержание по классификации. Анализ качественного состояния гумуса в черноземах показал, что он относится к гуматно-фульватному типу и также находится в пределах ПДП.

В солонцах гумус гуматно-фульватный и содержание гуминовых кислот в них на 18-20% меньше, чем в черноземах. Это свидетель-

ствуется о более выраженном процессе дегумификации с накоплением фульвокислот в солонцах длительно орошаемых слабоминерализованной водой по сравнению с черноземами южными.

Содержание подвижного фосфора и обменного калия в черноземах, соответственно, низкое и среднее, а в солонцах – очень низкое и среднее, что даже ниже ПДП. Это свидетельствует о невысокой культуре земледелия, приведшей к агроистощению почв (см. табл. 18).

Таким образом, почвы комплексного покрова, а именно черноземы южные и солонцы, в результате длительного орошения слабоминерализованной водой сульфатно-натриевого состава и низкой культуры земледелия теряют плодородие, приобретая негативные свойства, связанные с проявлением следующих почвенных процессов: переуплотнение, выщелачивание, щелочность, солонцеватость, дегумификация, агроистощение.

■ 1.2.4. Темно-каштановые почвы

Для оценки влияния длительного орошения на трансформацию направленности почвенных процессов темно-каштановых почв выбрана долина р. Волги в Саратовской области. Более 80 % орошаемых земель сосредоточено на темно-каштановых почвах. Климат засушливый, с годовым количеством осадков всего 350-366 мм, что объясняет необходимость поливов.

На исследуемом участке исключается воздействие грунтовых вод на свойства почв, так как они находятся глубже 3 м. Оросительная вода, забираемая из Энгельского канала, опасна из-за возможности натриевого осолонцевания. Вода по отношению Ca/Na относится ко II классу.

На орошаемом участке предпочтение отдается зерновым и кормовым культурам. Оросительные нормы составляют от 2500 до 3000 м³/га и более. Кроме ежегодного внесения минеральных удобрений до 140-150 кг д. в/га, один раз в три-четыре года вносятся органические в дозах от 20 до 40 т/га.

Из-за длительного орошения гранулометрический состав почв изменился, так как на неорошаемом участке, находящемся рядом

с орошаемыми массивами, почвы имеют легкоглинистый, а на орошаемых – тяжелосуглинистый состав. Орошение содействовало не только увеличению физической глины, но и содержанию илистой фракции – возросло на 10% по сравнению с почвами неорошаемыми.

Плотность сложения почв в 0-40-сантиметровом слое орошаемых темно-каштановых почв составляет 1,38 т/м³, неорошаемых – 1,29. Видимо, снижение количества водопрочных агрегатов почти на 40% способствует диспергации почвенной массы, а следовательно, и уплотнению почв.

Исследуемые почвы при орошении остаются незасоленными, в них отсутствует щелочность. Орошение, как показали исследования, способствовало выщелачиванию карбонатов кальция. Их содержание в 0-40-сантиметровом слое составило всего 0,17%, в то время как на почвах без орошения – 2%.

Выщелачивание кальция пресной водой перестроило почвенный поглощающий комплекс в отрицательную сторону (табл. 19): увеличилось содержание натрия и магния, уменьшилось количество кальция, что свидетельствует о появлении при орошении натриевой и магниевой солонцеватости.

Таблица 19

**Некоторые свойства темно-каштановых почв,
измененные в результате длительного орошения**

Слой, см	СО ₂ карбонатов, %	% от ∑ ППК			Гумус, %	$\frac{C_{г.к.}}{C_{ф.к.}}$
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na		
0-20	0,16	75	22	3	3,02	3,03
20-40	0,17	76	20	4	2,76	2,98
40-60	0,21	79	18	3	–	–
60-80	7,45	76	21	3	–	–
80-100	8,03	74	20	6	–	–
0-40	0,17	75	21	3	2,89	3,00
Без орошения	2,00	85	13	2	2,38	2,06
ОП	–	Более 80	Менее 20	Менее 3	Более 2,5	Более 1,5
ПДП	–	80-75	20-15	3,5	2,5-2,2	1,5-1,0

Несмотря на появление таких негативных процессов, содержание гумуса в 0-40-сантиметровом слое темно-каштановых почв на орошаемых участках увеличилось на 20% по сравнению с неорошаемыми, увеличилось также и отношение $C_{ГК}$ к $C_{ФК}$, и гумус приобрел гуматный тип. Произошло это благодаря проведению мероприятий по накоплению гумуса – периодическому внесению органических удобрений и осуществлению сидераций. Кроме этого, поливы способствовали развитию растений, которые после себя оставляли большую массу пожнивно-корневых остатков, чего не наблюдалось на неорошаемых участках.

При такой культуре земледелия увеличивалось не только количество гумуса, но и возрастала обеспеченность почв элементами питания. На орошаемом участке содержание подвижного фосфора повысилось на 56%, легкогидролизуемого азота – на 28, обменного калия – на 23% по сравнению с богарным участком.

Таким образом, исследуемые темно-каштановые почвы осваивались при соблюдении высокой культуры земледелия, в результате чего в них сохранился гумус, и они имеют высокую обеспеченность элементами питания. Но несмотря на то, что для орошения используется вода хорошего качества и на почвы не воздействуют другие отрицательные факторы, в темно-каштановых почвах наблюдается выщелачивание карбонатов, а в почвенном поглощающем комплексе увеличивается содержание натрия и магния, способствующих развитию солонцеватости. Наряду с этим негативным процессом происходят уплотнение почв и ухудшение их структурного состояния.

■ 1.2.5. Бурые полупустынные почвы в комплексе с солонцами

Объект исследования – бурые полупустынные почвы на Райгородской ОС (Светлоярский район, Волгоградская область). Участок расположен в области Прикаспийской низменности и относится к зоне полупустынных степей или к полупустыне, $KУ = 0,22-0,33$. Преобладающими являются сухие острозасушливые (до 75%) и средnezасушливые (до 24%) летние сезоны. Сумма актив-

ных температур – в пределах 3400-3600°С, количество годовой суммы осадков – около 200-180 мм, что делает невозможным выращивание сельскохозяйственных культур без орошения, испаряемость – около 700-900 мм.

Почвообразующие породы – лёссовидные суглинки. Грунтовые воды, залегающие глубже 7-8 м, а около канала – 4-5 м, не оказывают влияния на почвенные процессы. Орошение проводится водой с минерализацией менее 1 г/дм³ (табл. 20).

Таблица 20

Характеристика оросительной воды

Единица измерения	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺
мг-экв/дм ³	1,28	2,57	2,29	2,63	1,28	2,23
г/дм ³	0,046	0,123	0,140	0,053	0,016	0,051

Данная оросительная вода по минерализации, степени опасности развития процессов магниевое осолонцевания, содообразования и хлоридного засоления относится к I классу на основе расчетов С.Я. Бездниной. Однако существует небольшая опасность развития натриевого осолонцевания при недостаточной дренированности, так как по степени развития этого процесса вода относится ко II классу. Регулярное орошение проводится с 2012 г., т.е. почвы под его воздействием находятся шесть лет. Основные возделываемые культуры: кукуруза на зерно, подсолнечник, овощи. Оросительные нормы составляют от 1500 до 5000 м³/га.

Изменение физико-химических свойств почв под воздействием шестилетнего орошения водой II класса с опасностью натриевого осолонцевания представлено в табл. 21, из которой видно, что при поливах пресной водой происходит рассоление 0-40-сантиметрового слоя бурой полупустынной почвы и солонца. При этом выщелачивание водорастворимых солей в наибольшей степени произошло на солонцах, чем на бурых почвах. Уменьшение общего содержания солей в этом слое составило соответственно 12 и 46 %. Глубже их количество несколько возросло, а в целом в метровом слое за шесть лет орошения не изменилось. Аналогичная ситуация – и по токсичным солям.

Изменение физико-химических свойств почв комплексного покрова при орошении (n = 5)

Слой, см	Сумма солей, %			Токсичные соли, %			Щелочность, ммоль(экв)/100 г почвы		
	2011 г.	2017 г.	изменение, %	2011 г.	2017 г.	изменение, %	2011 г.	2017 г.	изменение, %
<i>Бурая полупустынная почва</i>									
0-20	0,166	0,144	-16	0,078	0,070	- 10	Ca > HCO ₃	Ca > HCO ₃	0
20-40	0,168	0,152	-10	0,092	0,076	- 13	Ca > HCO ₃	Ca > HCO ₃	0
40-60	0,185	0,201	+9	0,098	0,102	+ 4	Ca > HCO ₃	Ca > HCO ₃	0
60-80	0,293	0,282	- 4	0,105	0,117	+11	Ca > HCO ₃	0,12	0
80-100	0,303	0,319	+5	0,118	0,121	+ 3	Ca > HCO ₃	Ca > HCO ₃	0
0-40	0,167	0,148	-12	0,085	0,073	- 14	Ca > HCO ₃	Ca > HCO ₃	0
0-100	0,223	0,220	- 2	0,123	0,111	- 10	Ca > HCO ₃	Ca > HCO ₃	0
<i>Солонец</i>									
0-20	0,493	0,259	- 47	0,145	0,110	- 24	1,20	Ca > HCO ₃	-100
20-40	0,497	0,273	- 45	0,163	0,122	- 25	1,40	Ca > HCO ₃	-100
40-60	0,593	0,698	+18	0,265	0,288	+ 9	1,0	0,32	- 68
60-80	0,760	0,785	+3	0,442	0,493	+11	0,97	0,68	- 30
80-100	0,953	1,151	+20	0,507	0,545	+ 7	0,87	0,65	- 25
0-40	0,495	0,266	- 46	0,154	0,116	- 25	1,30	Ca > HCO ₃	-100
0-100	0,659	0,633	- 4	0,304	0,312	+ 3	1,09	0,33	- 70

Результаты определения щелочности по Б.А. Зимовцу показали, что в бурых почвах она не обнаружена по всему метровому слою ни в 2011 г. до орошения, ни в 2017 г., хотя отборы образцов почвы проводились в эти годы в конце августа. На солонцах до орошения она присутствовала во всех слоях в пределах слабой и средней степени – от 0,87 до 1,4 ммоль(экв)/100 г почвы. После шести лет орошения щелочность в 0-40-сантиметровом слое в солонце не была обнаружена, так как содержание водорастворимого кальция (Ca) превышало количество гидрокарбоната (HCO_3). Глубже проявлялись ее следы от 0,32 до 0,65 ммоль (экв)/100 г почвы, что свидетельствует об ее образовании, например при переувлажнении, когда создаются анаэробные условия. Возникновению щелочности, видимо, содействует и наличие в почвенном поглощающем комплексе обменных натрия и магния, содержание которых в процессе орошения увеличивается в слое 0-40 см бурых почв соответственно на 50 и 26%, в солонцах – на 60-21, в метровом слое соответственно 25-8 и 25-11% (табл. 22).

С увеличением обменных натрия и магния наблюдается уменьшение обменного кальция в ППК. Особенно это наглядно проявляется в слое 0-40 см этих почв, наиболее подверженных влиянию орошения.

Возникновение в почвах натриевой и магниевой солонцеватости сопровождается диспергацией почвенной массы, что сказывается на водно-физических свойствах почв. Изменение основных их свойств под влиянием орошения представлено в табл. 23. Содержание агрегатов 0,25-10 мм при сухом просеивании в слое 0-40 см бурой полупустынной почвы составляло в среднем из пяти повторностей до орошения 58%, что характеризовало структурное состояние этой почвы как удовлетворительное. В процессе шестилетнего орошения оно практически не изменилось (55%) и осталось в той же категории удовлетворительного состояния. На солонцах структурное состояние изначально было удовлетворительным (45%), но ближе к неудовлетворительному. Орошение окончательно перевело его в неудовлетворительное состояние (38%). При этом разница в содержании агрономически ценных агрегатов до орошения и после шести лет орошения составила 16%.

**Изменение почвенного поглощающего комплекса
в почвах комплексного покрова при орошении (n = 5)**

Слой, см	Кальций			Магний			Натрий		
	2011 г.	2017 г.	изменение, %	2011 г.	2017 г.	изменение, %	2011 г.	2017 г.	изменение, %
<i>Бурая полупустынная почва</i>									
0-20	81	77	- 5	17	20	+18	2	3	+50
20-40	77	69	- 10	21	28	+33	2	3	+50
40-60	72	69	- 12	23	25	+8	5	6	+20
60-80	70	69	- 2	24	24	0	6	7	+16
80-100	68	62	- 9	32	30	- 6	8	8	0
0-40	79	73	- 8	19	24	+26	2	3	+50
0-100	73	69	- 5	23	25	+82	4	5	+25
<i>Солонец</i>									
0-20	69	61	- 12	27	33	+22	4	7	+75
20-40	65	56	- 14	29	35	+20	6	9	+50
40-60	63	59	- 7	28	30	+7	9	11	+22
60-80	63	59	- 16	27	29	+7	10	12	+20
80-100	61	59	- 13	27	28	+4	12	13	+8
0-40	67	58	- 13	28	34	+21	5	8	+60
0-100	64	59	- 8	28	31	+11	8	10	+25

**Изменение водно-физических свойств
почв комплексного покрова при орошении (n = 5)**

Слой, см	Структурное состояние (агрегаты 0,25-10 мм при сухом просеивании), %			Водопрочность (агрегаты > 0,25 мм при мокром просеивании), %			Плотность сложения почвы, т/м ³			Водопроницаемость, мм/мин		
	2011 г.	2017 г.	изменение, %	2011 г.	2017 г.	изменение, %	2011 г.	2017 г.	изменение, %	2011 г.	2017 г.	изменение, %
<i>Буряя полупустынная почва</i>												
0-20	61	57	- 7	45	31	- 34	1,26	1,32	+5	1,08	0,68	-33
20-40	55	53	- 4	39	35	- 10	1,22	1,28	+5	-	-	-
0-40	58	55	- 5	42	33	- 21	1,24	1,30	+5	-	-	-
<i>Солонец</i>												
0-20	47	40	- 15	32	26	- 19	1,35	1,42	+5	0,75	0,55	-27
20-40	43	36	- 16	38	30	- 21	1,29	1,36	+5	-	-	-
0-40	45	38	- 16	35	28	- 20	1,32	1,39	+5	-	-	-

Поливы особенно сказались на водопрочности агрегатов, количество которых снизилось в 0-40-сантиметровом слое обеих почв почти на 20%. Ухудшение структуры почв и водопрочности агрегатов привело к уплотнению почв. По показателю плотности сложения пашня обеих почв и до, и после орошения считается сильно уплотненной. Но, как видно по результатам, представленным в табл. 23, после шести лет она еще более уплотнилась, и в 0-20-сантиметровом слое солонца плотность сложения составила 1,42 т/м³. Это уже типичные значения для подпахотных горизонтов. Ухудшение физических свойств почв при орошении сказалось на их водопроницаемости, которая на бурых почвах уменьшилась на 33%, а на солонцах – на 27%.

Орошение почв комплексного покрова, как видно из табл. 24, не содействовало накоплению в них гумуса. В среднем содержание гумуса в 0-40-сантиметровом слое бурых полупустынных почв на орошаемых полях сократилось на 10%, а на солонцах – на 20%. Видимо, это связано в первую очередь с уменьшением обменного кальция в ППК.

Таблица 24

Изменение содержания гумуса в почвах комплексного покрова при орошении

Слой, см	Общий гумус, %			Содержание гумуса в 2017 г. от содержания в 2011 г., %	Степень дегумификации	$\frac{C_{г.к.}}{C_{ф.к.}} \cdot 100\%$				
	2011 г.	2017 г.	изменение, %			2011 г.	степень гумификации	2017 г.	степень гумификации	
<i>Бурая полупустынная почва</i>										
0-20	2,31	2,11	- 9	91	Слабая	24	Средняя	19	Слабая	
20-40	2,13	1,89	- 11	89	-//-	24	-//-	19	-//-	
0-40	2,22	2,00	- 10	90	-//-	24	-//-	19	-//-	
<i>Солонец</i>										
0-20	2,12	1,63	- 23	77	Средняя	17	Слабая	14	Слабая	
20-40	1,88	1,57	- 16	84	-//-	17	-//-	14	-//-	
0-40	2,00	1,60	- 20	-80	-//-	17	-//-	14	-//-	

Содержание гумуса в относительных процентах, которое имеется на данный момент, по сравнению с его количеством до орошения, свидетельствует, по классификации Почвенного института, пока о развитии слабой дегумификации в бурых полупустынных почвах и средней – в солонцах.

Исследования по групповому составу гумуса показали, что содержание гуминовых кислот ($C_{Г.К.}$) на неорошаемых участках в бурых почвах составляет 24% от углерода общего ($C_{общ.}$), на солонцах – 17%. На орошаемых участках эти данные составляют соответственно 19 и 14%. Расчет степени гумификации показал, что на бурых неорошаемых почвах она средняя, а при орошении – слабая. Видимо, это связано с проявлением негативных почвенных процессов как на богаре, так и на орошении и отсутствием условий для ее протекания, а именно: соответствующей температуры, влажности, а главное, – наличия органических остатков.

Выявленные отрицательные изменения свойств почв комплексного покрова Райгородской ОС при длительном орошении указывают в первую очередь на необходимость проведения химической мелиорации, а также разработки соответствующих мероприятий, способствующих накоплению гумуса.

Таким образом, неправильное орошение оказывает влияние не только на свойства почв, но и на биопродуктивность и агропроизводительную способность мелиорированных земель. В связи с этим необходимо на орошаемых землях периодически проводить оценку почвенного плодородия и агропроизводительной способности почв по единой методике на основе интерпретации и корректировки с учетом фактических данных.

Возникающие проблемы необходимо решать комплексно, так как на них чаще всего влияет множество факторов и они имеют сложный комплексный характер. Их следует рассматривать с учетом региональных особенностей почв и климата, а также преобладающего вида сельскохозяйственных культур и возможностей обеспечения орошаемой территории водными и трудовыми ресурсами.

К почвам первоочередного орошения по причине недостаточного обеспечения осадками следует отнести сероземы, бурые полупустынные и каштановые почвы, формирующиеся в более аридных районах, тогда как черноземы должны быть почвами второй очереди орошения.

2. СИСТЕМА ОЦЕНКИ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

2.1. Методика проведения оценки изменений состояния орошаемых земель при их многолетнем сельскохозяйственном использовании

В соответствии со ст. 13 Федерального закона от 25 октября 2001 г. № 136-ФЗ «Земельный кодекс Российской Федерации» по охране земель обеспечение контроля изменения плодородия орошаемых земель требует мониторинга большого набора показателей. Требования по охране плодородия земель представляют собой сложный комплекс мероприятий, которые обязаны проводить в процессе хозяйственного использования земель все их правообладатели, собственники, землепользователи, землевладельцы и арендаторы. В табл. 25 представлены рекомендуемый перечень показателей контроля почвенного плодородия, периодичность их выполнения.

Таблица 25

Показатели почвенного плодородия, методики и периодичность их определения

Показатели	Метод определения	Периодичность	Глубина опробования
<i>Водно-физические свойства</i>			
Гранулометрический и микроагрегатный составы	По Качинскому	Один раз в 5 лет	До 3 м
Структурно-агрегатный состав	По Саввинову	Ежегодно	0,6 м

Показатели	Метод определения	Периодичность	Глубина опробования
Плотность сложения почвы	По Качинскому, ГОСТ 12536-79	Ежегодно	До 1 м
Водопроницаемость	По Качинскому	Один раз в 5 лет	0,6 м
Коэффициент дисперсности	Расчетный	Один раз в 5 лет	До 1 м
Порозность	Расчетный	Ежегодно	До 1 м
Плотность твердой фазы	Пикнометрический	Один раз в 5 лет	До 2 м
Наименьшая полевая влагоемкость	Метод заливаемых площадок	Один раз в 5 лет	1 м
Влажность	Термостатно-весовой, ГОСТ 28268-89	4-5 раз в год	До 1 м
<i>Физико-химические свойства</i>			
Водная вытяжка	Общепринятая методика, ГОСТ 26423-85 и 26428-85	2 раза в год	До 3 м
Состав ППК	Общепринятая методика, ГОСТ 27821-88	2 раза в год	До 3 м
Содоустойчивость	По Бобкову	2 раза в год	До 3 м
Гипс	Общепринятая методика	Один раз в 5 лет	0,6 м
Карбонаты	По Голубеву	Один раз в 5 лет	0,6 м
<i>Агрехимические свойства</i>			
Гумус, %	По Тюрину, ГОСТ 26213-91	Ежегодно	До 1 м
Групповой и фракционный состав гумуса	По Тюрину в модификации Пономаревой – Плотниковой	Ежегодно	До 1 м
Легкогидролизуемый азот	По Тюрину – Кононовой	2 раза в год	До 1 м

Показатели	Метод определения	Периодичность	Глубина опробования
Азот нитратный	ГОСТ 26951-86 и 26481-85	По фазам развития растений	До 1 м
Подвижные формы фосфора, калия	Общепринятая методика	То же	До 1 м
<i>Загрязнение почв тяжелыми металлами</i>			
Железо – подвижная форма, мг/кг	ГОСТ 27395-87	Ежегодно	В пахотном слое
Кадмий, мг/кг: подвижная форма валовое содержание	РД 52.18.289-90 РД 52.18.191-89	–/–/–	То же
Кобальт – подвижная форма, мг/кг	ГОСТ Р 50687-94 и РД 52.18.289-90	–/–/–	–/–/–
Марганец, мг/кг: подвижная форма валовое содержание	ГОСТ 26486 и РД 52.18.289-90 ПНД Ф 16.1:2.2.3.36-2002, изд. 2007 г.	–/–/–	–/–/–
Медь, мг/кг: подвижная форма валовое содержание	РД 52.18.289-90 РД 52.18.191-89	–/–/–	–/–/–
Молибден: подвижная форма	ГОСТ Р 50689-94	–/–/–	–/–/–
Никель, мг/кг: подвижная форма валовое содержание	РД 52.18.289-90 РД 52.18.191-89	–/–/–	–/–/–
Ртуть, мг/кг	Методические указания по определению ртути, мышьяка, сурьмы и селена с использованием: ГРГ-107. – М.: Кортэк, 2000	–/–/–	–/–/–

Показатели	Метод определения	Периодичность	Глубина опробования
Свинец, мг/кг: подвижная форма валовое содержание	РД 52.18.289-90 РД 52.18.191-89	—//—	—//—
Хром – подвижная форма, мг/кг	РД 52.18.289-90	—//—	—//—
Цинк, мг/кг: подвижная форма валовое содержание	ГОСТ Р 50686-94 и РД 52.18.289-90 РД 52.18.191-89	—//—	—//—
Нефтепродукты, мг/кг	РД 52.18.647-2003	—//—	—//—
<i>Качество оросительных, грунтовых и коллекторно-дренажных вод</i>			
Минерализация и химический состав вод	Общепринятая методика	2-3 раза в год	—
УГВ	То же	—//—	—
<i>Наблюдения за растениями</i>			
Учет урожая	Общепринятая методика	В оптимальные сроки	—

В современных условиях мелиорация земель, предусматривающая проведение комплекса гидромелиоративных, агролесомелиоративных, культуртехнических и других мероприятий, становится решающим условием стабильно высокого производства сельскохозяйственной продукции.

Для их осуществления необходимо проведение контроля почвенного плодородия по ряду дополнительных показателей, которые могли бы фиксировать скрытые негативные процессы почвообразования, что позволит своевременно принимать меры по их устранению.

Репрезентативность показателей свойств почв

Почва обладает свойствами изменять свои признаки и иметь в пространстве естественную пестроту. С целью получения достоверных данных необходимо установить степень естественной пестроты тех или иных данных показателей и на основании математической статистики определить число повторностей отбора образцов. Для этого на стационарной площадке с одним видом почв закладывают десять скважин на расстоянии 1-2 м и на глубину, до которой намечается изучение почвенных процессов.

Данные анализов образцов почв из этих скважин обрабатываются методами математической обработки. Определяют принадлежность выборки к нормальному распределению. Вычисляют среднее арифметическое \bar{X} , среднее квадратическое отклонение S , коэффициент вариации V , ошибки выборочной средней S_x , %.

На основании полученных статистических данных определяют необходимое число повторностей на одной стационарной площадке с одним видом почв по формуле

$$n = \left[t \cdot \frac{V}{S_x} \right]^2, \quad (1)$$

где n – число повторностей отбора образцов;

t – показатель вероятности;

V – коэффициент вариации, %;

S_x – ошибка выборочной средней, %.

Показатель вероятности определяется по табл. 1 приложения в «Методике полевого опыта». Число степеней свободы равняется $n-1$. При бурении десяти скважин эта величина равна 9, а при пятикратном уровне значимости – 2,26.

Обработка и анализ материалов наблюдений

Обработку результатов проведенных наблюдений для контроля за почвенным плодородием целесообразно проводить с использованием эмпирико-статических методов, являющихся наиболее доступным математическим приемом обработки информации.

Статистический анализ данных необходим для проверки степени достоверности результатов и правильного их обобщения. Особенно важна роль статистических методов как средства, помогающего верно принять решение в условиях неопределенности.

Далее рассмотрен один из вариантов обработки информации. Ориентация исследований – диагностика и качественная оценка состояния почв на основе параметрических и статистических наблюдений системы «почва – грунтовые воды – урожай». В рамках предлагаемой процедуры можно выделить три основных этапа. Суть первого этапа заключается в исследовании почвообразовательных процессов в зональных почвах на основе параметрического анализа системы «почва – грунтовые воды». Данный цикл позволяет проследить динамику и изучить наиболее важные закономерности взаимосвязи водно-воздушного и солевого режимов, параметров гумусного состояния и пищевого режима почв.

На основе исследования параметрических связей оценивается характер очевидных качественных изменений в почвах в условиях антропогенного воздействия (предварительный контроль). Логическим завершением этого этапа является формирование гипотез (выводов) о наличии качественной неоднородности мелиоративного состояния и плодородия орошаемых почв (в пределах одного почвенного генетического типа, подтипа).

Основной целью следующего этапа исследований является формирование вывода о возможности использования параметров урожайности ведущих сельскохозяйственных культур в качестве важного диагностического признака при контроле качественного состояния почв. Основой для этого должен служить факт наличия достоверной статистической связи между урожайностью культур и параметрами мелиоративного состояния и плодородия почвенного покрова. Исследование структуры взаимосвязи параметров системы «почва – грунтовые воды – урожай» осуществляется на основе многофакторного регрессивного анализа. Анализируются зависимости

$$Y = F(x_1, x_2, \dots, x_i), \quad (2)$$

где Y – урожайность ведущих сельскохозяйственных культур;
 x_1, x_2, \dots, x_i – параметры мелиоративного состояния и плодородия почв.

Процедура, реализуемая с помощью метода пошаговой регрессии, позволяет конкретизировать уровень значимости каждого параметра в их суммарном влиянии на продуктивность культурных растений, выделить основной критериальный аппарат для последующего анализа.

Наличие достоверной статистической связи $Y = F(x_1, x_2, \dots, x_i)$ дает возможность приступить к завершающему этапу исследований, который заключается в объективизации выдвинутых ранее гипотез о качественной неоднородности состояния орошаемых почв.

Для этой цели необходимо доказать, что выборка по урожайности, соответствующая одному из предлагаемых уровней качественного состояния почв, существенно отличается от любой другой аналогичной выборки. В практике орошаемого земледелия допускаются ситуации, когда параметр урожайности может выступать в качестве основного контрольного признака качественного состояния почв. Таким образом, предлагаемый метод исследований почвенного плодородия позволяет увязать вопросы сохранности потенциала почвенного плодородия с продуктивностью орошаемых почв.

2.2. Основные показатели оценки почвенного плодородия

Для проведения полного мониторинга почвенного плодородия земель сельскохозяйственного назначения и мелиоративного состояния орошаемых земель требуется от 6 до 20 показателей.

Основными из них являются морфологические признаки почв и мощность их генетических почвенных горизонтов; водно-физические, физико-химические и агрохимические свойства, показатели смывости и эродированности, эколого-токсикологические, биологические.

Устойчивость почв зависит от многих факторов, таких как свойства почв, режим освоения, орошаемые условия, поэтому набор показателей должен быть таким, чтобы уловить через информативность параметров связь между свойствами и режимами почв как сбалансированной системы.

На первом плане должны быть показатели, являющиеся приоритетными для данного обследуемого объекта, затем – показатели, по которым предполагается обнаружение негативных процессов. Такой подход обеспечит принятие правильных управленческих решений по регулированию почвенного плодородия и созданию удовлетворительной экологической ситуации на орошаемых землях.

Морфологические признаки почв и мощность генетических почвенных горизонтов

Основные морфологические признаки почвы: строение, мощность, окраска, гранулометрический состав, структура, сложение, новообразования и включения.

Строение почвы – общий её вид со всеми почвенными горизонтами. Его хорошо наблюдать на вертикальной стенке почвенного разреза.

В почвах орошаемой зоны могут преобладать следующие генетические почвенные горизонты:

- Апах – пахотный с различной глубиной вспашки;
- А – гумусовый, часто называется гумусо-аккумулятивный, имеет более темную окраску, чем другие горизонты. Занимает верхнюю часть профиля и характеризуется максимальным содержанием гумуса и минеральных элементов питания;
- А1 – гумусово-элювиальный, обедненный илом и полуторными окислами по сравнению с нижележащим;
- А2 – элювиальный, насыщен кремнеземом. Характеризуется выщелачиванием из него ряда органических и минеральных соединений;
- АВ – переходный, формируется в почвах, где выщелачивание минеральной части не выражено или развито слабо (черноземы и комковатые почвы). Совмещает в себе черты гумусово-аккумулятивного горизонта и материнской породы;
- Вi – иллювиальный с преобладанием илистой фракции за счет вымывания с элювиального горизонта;

- ВСа – карбонатный, содержит максимальное количество карбонатов и других новообразований CaCO_3 в виде псевдомицелий, белоглазки и журавчиков;

- VCaSO_4 – иллювиальный, обычно содержащий гипс и легкорастворимые соли;

- ВNa – солонцовый, имеющий признаки солонцеватости;

- Всл – слитой, плотностью сложения 1,7-1,9 т/м³, при высыхании становится глыбистым;

- ВС – переходный к материнской породе;

- С – материнская (почвообразующая) порода, слабозатронутая почвообразованием;

- D – подстилающая порода.

Горизонты, совмещающие в себе свойства выше- и нижерасположенных горизонтов, обозначаются двойными символами, например АВ, ВС и т. п. Каждая почва формируется в определенных условиях, поэтому в ее профиле обязательно должны быть представлены все горизонты. Мощность почв характеризуется их глубиной от поверхности до материнской породы, а мощность гумусового горизонта – от поверхности до гумусового переходного горизонта – АВ. Они варьируют в широких пределах (табл. 26).

Таблица 26

Мощность почв и их гумусовых горизонтов

Почва	Генетический профиль	Мощность, см	
		профиль почвы	гумусовый горизонт
Черноземы типичные южно-европейской фации	A + AB + B + Cк	400-500	100-150
Черноземы типичные восточно-европейской фации	A + AB + B + Cк	250-300	80-120
Каштановые	A + AB + B + Cк	150-250	45
Бурые полупустынные	A + B + BK + CS	120	25
Дерново-подзолистые	A1 + A2 + Vi	80	15
Подзолистые	A1 + A2 + Vi	80	2
Бурые лесные	A + ABt + Bt	80-100	30-40
Солонцы	A + BNA + CS	150	3-30

У генетических горизонтов мощность определяется с указанием их верхних и нижних пределов: А1 – 0-7 см, А2 – 7-23 см и др.

Окраска почвы может быть самой разнообразной. Она вызывается сочетанием трех цветов – темного, красного и белого, дающих различные оттенки. Темный цвет обусловлен находящимся в почве гумусом. С увеличением его содержания окраска изменяется от светло-серой (2-3% гумуса) до темной (9-12%). Красный цвет вызывается соединениями окислов железа (Fe_2O_3) и марганца (Mn_2O_3). Белая окраска обычно связана с присутствием в почве аморфного кремнезема (SiO_2) или карбоната кальция (CaCO_3) и реже каолинита ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) и гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Закисные соединения железа (сидерит FeCO_3 , вивианит $\text{Fe}_3^{+2}(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), образующиеся при анаэробных условиях, окрашивают почвы в сизовато-голубые оттенки. Окраску почвы обычно трудно охарактеризовать каким-нибудь одним цветом, поэтому следует указывать степень ее интенсивности (светло-бурая, темно-бурая) или назвать промежуточные тона (коричнево-серая, серо-бурая).

Принято различать шесть степеней влажности почвы:

- сухая почва – пылит, при ее пересыпании из одной руки в другую разлетается пыль;
- свежая – сухая на вид, чуть влажная на ощупь, холодит руку, светлеет при высыхании, темнеет при добавлении воды;
- влажноватая – влажная на вид и на ощупь, светлеет при высыхании, но не темнеет при добавлении воды, увлажняет фильтровальную бумагу, сохраняет форму, приданную ей при сжатии, но не мажет руку.
- влажная – при сжатии образца на поверхности проступает тонкая водная пленка, придающая поверхности блеск, но вода не вытекает, мажет руку;
- сырая – при сжатии образца с его поверхности капает вода;
- мокрая – из горизонта самопроизвольно сочится вода.

Гранулометрический состав в полевых условиях определяют по признакам, приведенным далее (табл. 27).

**Основные признаки
почв различного гранулометрического состава (по Красюку)**

Гранулометрический состав	Ощущение при растирании между пальцами	Вид в лупу	В сухом состоянии	Во влажном состоянии	При скатывании
Глинистый (глины)	Тонкий однородный порошок	Крупные песчаные зерна отсутствуют	Очень плотные	Очень вязкие, пластичны, сильно мажутся	Дают длинный шнур и гладкий шарик
Суглинистый (суглинки)	Не совсем однородный порошок	–	Плотные	Пластичны	Длинного шнура не дают, покрыты трещинами
Супесчаный (супеси)	Песчаные частицы с примесью глинистых		Рыхлые	В шнур не скатываются	
Песчаный (пески)	Песчаные зерна		Сыпучие	Образуют текучую массу	В шнур не скатываются

Структура – различной величины и формы комочки или отдельности (агрегаты), на которые распадается почва. Структурное состояние начинает наблюдаться с легкосуглинистых почв. При морфологическом описании почв используется классификация структурных отдельностей (агрегатов) по С.А. Захарову.

Тип – кубовидные разделяющиеся, глыбистые, комковатые, ореховатые, зернистые, призмовидные (столбовидные, столбчатые, призматические), плитовидные (плитчатая, чешуйчатая). Кроме этого, существует распределение агрегатов по виду (например, крупноглыбистая, мелкочешуйчатая и др.) и размерам.

Сложение – внешнее выражение плотности и порозности почвы. Плотное сложение имеют обогащенные коллоидами иллювиальные горизонты пахотных почв. Оно требует значительных усилий для вдавливания ножа в почву. Слитное сложение наблюдается в иллю-

виальных горизонтах солонцов и в глинистых бесструктурных почвах, обработка которых, особенно при их иссушении, затруднена. При таком сложении нож в почву не входит.

Новообразования – отложения различных веществ. Их происхождение – химическое и биологическое. По химическому составу химические новообразования подразделяются на следующие группы:

- скопление легкорастворимых солей – налеты и выцветы, белые корочки и примазки, крупинки и отдельные кристаллы солей;

- скопления гипса – отмечаются в тех же почвах, что и легкорастворимые соли. Характерными формами также являются выцветы и налеты, корочки и прожилки. Гипс также встречается в форме крупных кристаллов, стекловидных пластинок или крупных сердцевидных сростков;

- скопления углекислой извести;

- скопления кремнекислоты встречаются в виде кремнеземистой присыпки – тончайший налет кремнезема (SiO_2) на поверхности структурных отдельностей, прожилки и пятна скопления кремнезема округлой формы;

- выделения и скопления органических веществ: гумусовые потеки и корочки, покрывающие поверхность структурных отдельностей или стенки трещин черной лакировкой; гумусовые пятна, карманы, языки – проникновение перегнойных веществ в нижележащие горизонты по трещинам на значительную глубину.

При описании почвенных разрезов есть возможность определить карбонатность почв и ее выщелоченность. Карбонатность – содержание в почве или почвообразующей породе карбоната кальция (CaCO_3), а выщелачивание – нисходящая миграция карбонатов и других солей щелочно-земельных и щелочных металлов с почвенными растворами.

Карбонатный профиль устанавливается методом вскипания от 10% HCl и по выявлению максимума карбонатов в иллювиально-дессуктивном горизонте, который, как правило, располагается ниже гумусового (A + AB).

Оценка степени карбонатности и выщелоченности почв по глубине вскипания от HCl и примерное содержание карбонатов от характера вскипания от 10% HCl представлены в прил. А, табл. А.1, А.2.

Пример описания почвенного разреза представлен в прил. Б.

Кроме учета рассмотренных морфологических признаков, в лабораторных условиях определяют по горизонтам влажность почвы, структурное состояние для агрономической оценки, гранулометрический состав, некоторые водно-физические и физико-химические свойства.

В процессе полевых исследований заполняется полевой почвенно-мелиоративный журнал (прил. В).

Показатели водно-физических свойств почв

Почвы, вовлеченные в орошение, в большей степени содержат монтмориллонитовую илистую фракцию, которая способствует сильному набуханию. При наличии этой фракции и отсутствии свободного карбоната и слабой гумусированности происходит резкое ухудшение водно-физических свойств орошаемых почв. Они сопровождаются увеличением плотности сложения, потерей водопрочных агрегатов, распылением структуры пахотных горизонтов. При иссушении таких почв появляется глыбистость, снижается водопроницаемость. Агрегированный ил переходит в водопептизируемый, количество которого при орошении возрастает в 1,5-2 раза. Из-за этого повышается липкость почв, появляются признаки слитых почв. Учеными признано, что без оптимизации физических факторов не может быть достигнута заданная урожайность возделываемых культур.

Водно-физические свойства почв оцениваются следующими показателями (прил. Г, табл. Г.1):

1. *Структурное состояние или агрегатный состав* (определяется методом рассеивания на ситах при сухом и мокром просеивании по методу Саввинова). Образец берется с 0-30-сантиметрового слоя, определяется ежегодно.

Кроме морфологогенетического понимания структуры существует агрономическое понимание структурных и бесструктурных почв. В агрономическом смысле почва считается структурной, если в ее составе преобладают агрономически ценные мезоагрегаты, т.е. ком-

ковато-зернистые агрегаты от 0,25 до 7-10 мм составляют 55% при сухом просеивании (объем пробы 2,5 кг). Иные почвы считаются бесструктурными. По размерам агрегатов при сухом просеивании почвенная структура подразделяется на глыбистую (агрегаты более 10 мм), макроструктуру (агрегаты 10-0,25 мм), микроструктуру (агрегаты менее 0,25 мм).

При мокром просеивании определяется не только структурное состояние, но и водопрочность агрегатов. Оценка этих показателей проводится по прил. Г (см. табл. Г.1).

2. *Гранулометрический и микроагрегатный составы почв*, определение которых проводится по всему профильному составу один раз в 5 лет. Позволяет уточнить название почвы по гранулометрическому составу (см. прил. Г, табл. Г.2).

По данным микроагрегатного и гранулометрического составов можно рассчитать фактор дисперсности K по методу Н.А. Качинского. Он характеризует степень разрушения микроагрегатов в воде и выражается процентным отношением ила (частиц менее 0,001 мм) микроагрегатного к илу гранулометрическому:

$$K = \frac{a}{b} \cdot 100, \quad (3)$$

где a – содержание ила при микроагрегатном анализе, %;

b – при гранулометрическом анализе, %.

Чем выше фактор дисперсности, тем менее прочна микроструктура почвы. Для обыкновенного глинистого чернозема фактор дисперсности не превышает 10%, а для столбчатого горизонта солонца может быть равен 80%.

3. *Плотность сложения (объемная масса) и порозность почвы*.

Плотность сложения почвы определяется в шурфах прибором Н.А. Качинского по слоям 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 см ежегодно. Проведение оценки по этим показателям представлено в прил. Г.

4. *Водопроницаемость* – способность почв впитывать и пропускать сквозь толщу горизонтов и слоев воду с поверхности.

Водопроницаемость предпочтительнее определять в полевых условиях методом рам или прибором ПВН-00 один раз в пять лет, при необходимости – чаще.

Для оценки водопроницаемости почвы в агрономических и мелиоративных целях используют шкалу Н.А. Качинского (прил. Г).

Порозность рассчитывается по формуле

$$P_{\text{общ.}} = \left(1 - \frac{d_v}{d}\right) \cdot 100, \quad (4)$$

где $P_{\text{общ.}}$ – порозность общая, %;

d_v – плотность сложения почвы, т/м³;

d – плотность твердой фазы почвы, т/м³.

Плотность твердой фазы почвы (удельная масса) определяется с помощью пикнометра (методом Качинского) один раз в пять лет.

5. *Естественная влажность почвы* позволяет оценить режим увлажнения на исследуемых участках. Отбор образцов на влажность проводится еженедельно (для установления поливной нормы) или по основным фазам развития культуры по слоям 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80, 80-100 см и далее 100-130, 130-160, 160-200 см до грунтовой воды или 2 раза в год (перед посевом и после уборки). Если нет возможности организовать эти наблюдения с помощью современных средств (по электропроводности, тензиометрическими, нейтронными и другими методами), то применяют обычный термостатно-весовой метод;

6. *Предельная полевая влагоемкость* (синонимы общая или наименьшая) широко используется для расчетов запасов продуктивной влаги и поливной нормы. Для ее определения часто служат площадки после определения водопроницаемости методом заливаемых площадок. Оценка этого показателя для почв тяжелого гранулометрического состава приведена в прил. Г (см. табл. Г.1);

7. *Продуктивная влага* – разница между общей влагоемкостью (или наименьшей влагоемкостью) и влажностью завядания. Последняя определяется умножением максимальной гигроскопичности на 1,5 – для тяжелых почв и 1,25 – для легких. От запасов продуктивной влаги в прямой зависимости находятся состояние растений и урожайность сельскохозяйственных культур. Продуктивная влага может быть выражена в процентах или миллиметрах. Контроль этого показателя должен проводиться по критериям, предложенным в прил. Г (см. табл. Г.1).

Показатели физико-химических свойств почв

Засоленность почв – один из основных показателей физико-химических свойств. По этому показателю определяют степень и глубину залегания солевого горизонта, химизм засоления, наличие щелочности, содержание токсичных солей.

Согласно классификациям, при содержании водорастворимых солей (в среднем для слоя 0-100 см) до 0,25% обеспечиваются хороший рост и развитие растений (отсутствие выпадов, нормальная урожайность). Слабое угнетение наблюдается (отсутствие выпадов растений, снижение урожая на 10-20%) при содержании солей 0,25-0,45% (слабое засоление), среднее (выпады растений) – при содержании солей 0,40-0,70% (среднее засоление), сильное – при 0,70-1,20% (сильное засоление) и солончаки более 1,2% (урожай практически отсутствует).

Определение состава водной вытяжки по горизонтам или слоям почвенного профиля дает возможность установить глубину залегания верхнего солевого горизонта, что очень важно при разработке мероприятий по регулированию плодородия. Классификация по этому показателю представлена в прил. Д (табл. Д.1).

Для контроля за изменением засоленности почв следует пользоваться классификацией по содержанию солей в зависимости от химизма засоления (см. прил. Д, табл. Д.2) или использовать оценку степени засоления почв по сумме токсичных солей или отдельных ионов (см. прил. Д, табл. Д.3).

Чтобы оценить верхний предел допустимого содержания солей в почве в зависимости от типа засоления, предлагается классификация, представленная в прил. Д (табл. Д.4).

Как видно, чрезмерное скопление солей в почве может вызвать солевое отравление и гибель растений. Из вредных легкорастворимых солей наиболее часто в почвах встречаются хлориды и сульфаты натрия, сода. Заметное угнетение сельскохозяйственных растений при содовом засолении начинается при содержании иона HCO_3 в количестве 0,08% и рН – 8,8-9,0. При содержании 0,1-0,2% HCO_3 и рН – 9,5-10,0 культурные растения обычно гибнут. При хлоридном засолении заметное угнетение начинается при содержании хлор-иона 0,04-0,08%.

Контроль за динамикой солей в почве должен совмещаться с наблюдениями за уровнем залегания и минерализацией грунтовых вод. Сроки отбора образцов почв на солевой состав определяются степенью их засоления. Если почвы не засолены, то можно ограничиться одноразовым отбором (перед посевом сельскохозяйственных культур). При слабом и среднем засолении следует провести отбор дважды (весной и осенью), чтобы выявить детали сезонной миграции солей. При сильном и очень сильном засолении почв количество отборов увеличивается (весной, до и после полива, осенью). Отбор образцов проводится по слоям: 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100, 100-130, 130-160, 160-200, 200-250 см и далее через 50 см до грунтовых вод с последующим ее отбором на анализ.

Определение щелочности по реакции почвы и составу водорастворимых ионов и катионов ($\text{HCO}_3 + \text{CO}_2 - \text{Ca} + (\text{Na} + \text{Mg})$ ммоль(экв)/100 г является важным моментом при характеристике физико-химических свойств, так как при ее наличии диспергируется почвенная масса, увеличивается подвижность гумуса, блокируется доступность элементов питания растениям, затухает активность микробиологических процессов.

Выявлена максимальная доступность питательных элементов: азота при рН – 6-8, фосфора – 6,5-7,5, калия – 7-8, кальция и магния – 7,0-8,5, меди, бора и цинка – 5,0-7,0, железа – 4,0-6,5. Для оптимизации процесса гумификации требуется рН – 5,0-7,5 ед. Когда рН превосходит 8 ед., то нормальные условия для развития сельскохозяйственных культур нарушаются. Кроме того, в этих условиях наблюдается опережающий вынос ионов кальция за пределы почвенного профиля. Только почвы, насыщенные кальцием, отличаются агрономически ценной водопрочной структурой, благоприятной для развития микробиологических процессов, оптимизирующих питательный режим почв. При «кальциевом голодании» усиливается токсичное влияние обменного натрия, растение начинает сильно отставать в росте, развиваются болезни.

С целью установления щелочности на орошаемых участках, кроме обязательного отбора образцов на солевой состав весной и осенью, необходимо дополнительно взять образцы почвы до и после полива в метровом слое по слоям 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 см

на определение CO_3^{2-} , HCO_3^{2-} и рН. В случае ее обнаружения определить полностью состав водной вытяжки.

Контролировать щелочность можно, придерживаясь следующего критерия: почвы, содержащие $\text{HCO}_3 \geq \text{Ca} + \text{Mg}$ по водной вытяжке, считаются щелочными. Более полная оценка должна проводиться по классификации, представленной в прил. Д (табл. Д.5).

При наличии солонцеватости также наблюдается снижение плодородия почв, что сопровождается падением урожайности возделываемых культур. Степень солонцеватости определяется по содержанию обменного натрия и магния в почвенном поглощающем комплексе. Солонцеватость, как и засоление, и щелочность, способствует формированию отрицательных водно-физических свойств, у растений наблюдается «кальциевое голодание», что сказывается на урожайности возделываемых культур. Эти факторы проявляются при содержании в ППК обменного $\text{Na} \geq 7-10\%$, обменных $\text{Na} + \text{Mg} \geq 30\%$.

Образцы почв на определение Na, Mg и Ca в ППК отбираются одновременно с образцами на водорастворимые соли. Для контроля почвенного плодородия участка достаточно определить состав ППК по слоям через 20 см до 1 м. С целью выявления причин осолонцевания целесообразнее увязать этот показатель с минерализацией и составом солей в грунтовых водах, при этом отбор образцов проводится до глубины залегания грунтовых вод. Контроль осуществляется по классификации, представленной в прил. Д (табл. Д. 6).

Дополнительно о солонцовых и щелочных процессах можно судить по показателям содоустойчивости (см. прил. Д, табл. Д.7). Контроль за содержанием и глубиной залегания гипса и карбонатов важен не только с точки зрения оценки почвенного плодородия, но и использования их запасов для мелиорации солонцеватых почв. Высокозагипсованные почвы с содержанием $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ более 0,3% (см. прил. Д, табл. Д.8) и поверхностнокарбонатные (см. прил. Д, табл. Д.9) с содержанием CaCO_3 более 3 % используются для самомелиорации, только в карбонатные слои для образования гипса добавляется серная кислота.

Степень карбонатности почв также следует определять по прил. Д (табл. Д.10). Закарбонатные почвы сильно уплотнены и

зачастую водонепроницаемы. Отбор образцов на содержание гипса и карбонатов проводится один раз в 5 лет по слоям 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 см.

Показателем переувлажнения и заболоченности являются в первую очередь недоокисленные вещества, которые могут появиться при недостатке кислорода, т.е. при анаэробных условиях. Их наличие свидетельствует о скрытых негативных процессах.

По классификации, представленной в прил. Д (табл. Д.11), определяется общее содержание этих веществ. К ним относятся такие токсичные соединения, как сероводород, метан, этилен, закисное железо и марганец, различные виды органических кислот: муравьиная, масляная, молочная, уксусная, пропиленовая, ванильная, бензойная и др.

При большом содержании недоокисленных веществ (более 70 мг-экв/100 г) наблюдается снижение урожая до 30-50% и более.

Отбор свежезятых образцов почв на содержание недоокисленных веществ должен быть проведен в следующие сроки: весной (перед посевом), до и после поливов, осенью (после уборки сельскохозяйственных культур) по слоям 0-20, 20-40, 40-60 см.

Помимо недоокисленных веществ для характеристики анаэробизма почв, особенно в орошаемых почвах, требуется установление окислительно-восстановительного режима, который оценивается по величине и динамике окислительно-восстановительного потенциала (ОВП и Eh). Агрономическая оценка окислительно-восстановительных условий дана в прил. Д (табл. Д.12). Диапазон восстановительных условий подразделяют на интенсивновосстановительные (ОВП (Eh) менее 200 мв), умеренновосстановительные (200-300 мв), слабовосстановительные (300-400 мв).

Некоторые почвы требуют определения гидролитической кислотности и степени насыщенности основаниями (прил. Е, табл. Е.1, Е.2).

Показатели агрохимических свойств почв

Агрохимические свойства почв оцениваются по широкому спектру показателей. Гумус – наиболее информативный показатель почвенного плодородия, поэтому его содержание и состав подлежат анализу в первую очередь. При этом желательно выполнить анализы, представленные в прил. Ж (табл. Ж.1).

Многие свойства почв связаны с содержанием и составом гумуса. Морфологические признаки определяются мощностью гумусового горизонта. Физические свойства почв также зависят от гумуса, так как его высокое содержание и преобладание в нем гуминовых кислот обеспечивают благоприятное структурное состояние и устойчивость к размыванию агрегатов, т.е. их водопрочность.

Агрономическая ценность почв определяется соотношением гуминовых кислот и фульвокислот. Отношение углерода к азоту (C:N) характеризует устойчивость гумуса против разрушения в процессе освоения почв. Чем это соотношение меньше, тем гумус более устойчив. Интенсивность процесса новообразования гумуса и в целом биологического круговорота веществ в почве определяется содержанием подвижного органического вещества.

Общее содержание гумуса, соотношение гуминовых и фульвокислот, отношение C:N достаточно определить один раз в пять лет в тех же образцах, в которых будут определяться водорастворимые соли, состав почвенного поглощающего комплекса и др. Обязательно должен быть охвачен основной корнеобитаемый слой (0-60 см).

Почвенное плодородие характеризуется обеспеченностью почв элементами минерального питания (ЭМП). В качестве этих показателей используют подвижные фосфор и калий (ранее обменный калий), легкогидролизуемый азот, нитраты, аммоний, микроэлементы, подвижную серу.

Отбор образцов почв на содержание питательных веществ следует проводить несколько раз за вегетационный период: перед посевом, в основные фазы развития сельскохозяйственной культуры и после уборки по слоям 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 см, что позволит оценить не только обеспеченность почв питательными веществами, но определить их миграцию в пределах метрового слоя.

В случае близкого залегания уровня грунтовых вод (1,0-1,5 м) определение следует проводить до глубины их залегания с целью исключения загрязнения поверхностных и грунтовых вод биогенными элементами, особенно при применении повышенных доз минеральных удобрений.

Анализ и оценка обеспеченности почв ЭМП проводится с использованием общепринятых методик. При невозможности опреде-

ления легкогидролизуемого азота (наиболее доступная форма азота растения) отдельно определяют нитраты и аммоний и по их сумме судят об обеспеченности почв этим ЭМП (см. прил. Ж, табл. Ж.2).

Обеспеченность различных почв подвижными фосфором и калием, определяемых соответствующими для данной почвы методами, представлены в прил. Ж (табл. Ж.3, Ж.4), подвижной серы – в прил. Ж (табл. Ж.5). Современные технологии возделывания культур требуют внесения микроудобрений, эффективность которых может быть достигнута только при учете в почвах подвижных форм микроэлементов. В прил. Ж (табл. Ж.6) приведена обеспеченность подвижными формами микроэлементов.

Показатели смывости и эродированности

Развитие эрозии сопровождается вовлечением в пахотный горизонт менее плодородных нижерасположенных почвенных слоев. Связанная с действием водной и ветровой эрозии степень эродированности определяется по глубине эродированного слоя и массе (объему) эродированной почвы, а глубина эродированного слоя или отсутствующая часть почвенного профиля сравнивается с неэродированным аналогом тех же почв, т.е. с эталоном. Величину эрозионной опасности участков устанавливают по массе смытой почвы стоком, сгруппированных в семь классов эрозионной опасности:

I класс – незначительная (до 2,5 т/га), II – слабая (2,6-5,0 т/га), III – умеренная (5,1-10,0 т/га), IV – средняя (10,1-30,0 т/га), V – сильная (30,1-50,0 т/га), VI – очень сильная (50,1-70,0 т/га), VII – катастрофическая (более 70,0 т/га). Существует классификация допустимого смыва различных типов почвы за год (табл. 28).

Диагностические и дополнительные показатели для оценки эродированных (деградированных) почв и земель приведены в прил. И.

По каждому показателю эродированность почв характеризуется пятью степенями деградации:

- 0 – недеградированные (ненарушенные);
- 1 – слабдеградированные;
- 2 – среднедеградированные;

- 3 – сильнодеградированные;
- 4 – очень сильнодеградированные (разрушенные), в том числе уничтожение почвенного покрова.

Определение степени деградации (эродированности) почв и земель приведено в табл. 29.

Таблица 28

Допустимый смыв различных типов почв за год, мм/год

Черноземы		Почвы		
обыкновенные	южные	темно-каштановые	каштановые	светло-каштановые, бурые
0,29	0,18	0,15	0,13	0,10
0,29	0,18	0,15	0,13	0,10
0,58	0,36	0,30	0,26	0,20
1,50	1,00	0,75	0,65	0,50
5,80	3,60	3,00	2,60	2,00
5,80	3,60	3,00	2,60	2,00

Таблица 29

Шкала для оценки интенсивности эрозии

Потеря почвы за год, мм	Оценка эрозии
Меньше скорости почвообразования	Эрозия отсутствует
< 0,5	Слабая
0,5-1	Средняя
1-2	Сильная
2-5	Очень сильная
> 5	Катастрофическая

Уровень эрозии устанавливается на обследуемых участках при сравнении фактических показателей, выраженных в потерях почвенной массы (т/га), с допустимой величиной среднегодового смыва почвы, который должен быть ниже скорости почвообразования, определяемого по табл. 30.

**Величины допустимого среднегодового смыва
в зависимости от типа почв, степени их смывтости
и характера материнских пород, т/га**

Почвы	Несмытые и слабосмытые	Средне-смытые	Сильно-смытые
Дерново-подзолистые, серые и светло-серые лесные на рыхлых лессовых породах	2,5	1,5	1,0
Темно-серые лесные	3,0	2,0	1,5
Черноземы оподзоленные и сильновыщелоченные	4,0	3,0	2,0
Черноземы мощные	4,5	3,5	2,5
Черноземы типичные и обыкновенные	4,0	3,0	2,0
Черноземы южные и темно-каштановые	3,0	2,0	1,5
Каштановые и светло-каштановые, сероземы	2,5	1,5	1,0
Черноземы, каштановые, серые лесные на опоках и меловых породах	1,5	1,0	0,5

Объем смывтой почвы на орошаемых участках определяют разницей между уровнем поверхности почвы до проявления эрозии и после ее воздействия. Затем объем смывтой почвы умножают на плотность её сложения. Эти показатели учитываются между всеми створами, заложенными в местах проявления эрозии (при дождевании, поливные полосы и борозды, временные оросители).

Уклоны поверхности орошаемых участков подразделяются на классы (табл. 31).

Таблица 31

Ирригационная эрозия почвы в зависимости от уклона

Уклон	Характеристика уклона	Степень смыва
Менее 0,001-0,002	Очень малые уклоны	Нет смыва
0,002-0,004	Малые уклоны	Малый смыв
0,004-0,008	Средние уклоны	Средний смыв
0,008-0,012	Уклоны выше средних	Сильный смыв

Уклон	Характеристика уклона	Степень смыва
0,012-0,02	Большие уклоны	Очень сильный смыв
0,02-0,05	Очень большие уклоны	Опасный смыв
0,05-0,10	Крутые склоны	--/
Более 0,10	Очень крутые склоны	--/

Показатели эколого-токсикологического состояния

Эколого-токсикологическое состояние почв определяется уровнем их загрязненности. В соответствии с ГОСТ 17.4.3.04-85 загрязнение почв – это накопление в них химических или радиоактивных соединений в количествах, отрицательно влияющих на плодородие, продуктивность земель, сопредельные среды и растительный покров.

Для сельскохозяйственных полей наиболее опасными загрязнителями являются тяжелые металлы (ТМ) и мышьяк. По степени опасности их делят на три класса:

- I класс – особо токсичные – кадмий (Cd), мышьяк (As), ртуть (Hg), свинец (Pb), селен (Se), цинк (Zn);
- II класс – токсичные – бор (B), кобальт (Co), медь (Cu), молибден (Mo), никель (Ni), сурьма (Sb), хром (Cr);
- III класс – слаботоксичные – барий (Ba), ванадий (V), вольфрам (W), марганец (Mn), стронций (Sr).

При оценке экологической опасности в первую очередь учитывается присутствие элементов, относимых к I и II классам токсичности.

Среди основных сельскохозяйственных источников поступления ТМ в почвы выделяются: орошение сточными водами, применение различных видов органических и минеральных удобрений, мелиорантов, а также пестицидов, к которым относятся гербициды, инсектициды, фунгициды, дефолианты, фумиганты, моллюскоциды, ратициды, репелленты и др.

В отличие от других компонентов природной среды (вода, воздух), где возможны процессы периодического очищения от тяжелых металлов, почва является активным аккумулятором и практически не обладает самоочищением. Поэтому необходимо осуществ-

влять контроль за содержанием тяжелых металлов путем сравнения с фоновым содержанием с одной стороны и с предельно допустимым содержанием (ПДК) – с другой.

В первом случае можно использовать кларки по Виноградову, где загрязненность разделена на шесть групп (классов), каждая в один кларк, по Виноградову. Кларк – это фоновое содержание тяжелых металлов в почве. Каждая почва имеет свое фоновое содержание валовых форм ТМ и мышьяка (прил. К, табл. К.1).

Группировка почв по уровням загрязненности служит показателем отрицательного воздействия химических элементов-загрязнителей на окружающую среду. Так, при загрязнении на уровне I и II групп сильно страдает почвенная биота, подавлены биохимические свойства почвы, нарушаются нормальная жизнедеятельность и химический состав растительности; при уровне, соответствующем V и VI группам, страдает (болеет, гибнет) растительность, продукция растениеводства и животноводства становится непригодной для употребления в пищу, изменяется химический состав верхнего слоя почвы, резко ухудшаются все агрохимические свойства.

Для оценки уровня относительной опасности загрязнения почвенного покрова можно использовать показатели, представленные в прил. К (табл. К.2 и К.3).

Кроме того, о загрязненности почв тяжелыми металлами и другими загрязняющими веществами можно судить при сопоставлении их фактического содержания с предельно допустимыми концентрациями (прил. К, табл. К.4, К.5) и с ориентировочно допустимыми концентрациями (ОДК) (см. прил. К, табл. К.6).

При большом количестве загрязнителей загрязнение почв оценивается по показателю суммарного загрязнения (Z_c), который рассчитывается по формуле

$$Z_c = \sum \frac{C_{(i)факт}}{C_{(i)фон}} - (n - 1), \quad (5)$$

где Z_c – показатель суммарного загрязнения;

$C_{(i)факт}$ – фактическое содержание i -го токсиканта в почве, мг/кг;

$C_{(i)фон}$ – фоновое содержание i -го токсиканта, мг/кг;

n – число определяемых токсикантов.

В прил. К (табл. К.7) представлена ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю.

Для определения содержания тяжелых металлов отбираются один раз в четыре-пять лет образцы почв по слоям 0-10, 10-20 см с последующим их определением атомно-адсорбционным методом.

При обнаружении загрязнителей в почве выше ПДК следует контролировать их наличие в произрастающих растениях.

Биологическая активность почв связана в основном с жизнедеятельностью почвенных микроорганизмов, поэтому микробиологический режим является важнейшим фактором формирования плодородия почв и весьма чувствительным индикатором антропогенного воздействия на почву и в том числе степень ее загрязнения. Микроорганизмы принимают активное участие в круговороте азота, углерода, фосфора, серы и других элементов минерального питания, переводя ряд его элементов из недоступных для растений форм в доступные, способствуют деструкции различных фитотоксичных веществ и др. При орошении резко увеличивается численность актиномицетов, бактерий, фиксирующих атмосферный азот и др. При оценке биологической активности почв достаточно определить степень влияния почвенных микроорганизмов на растения, нитрификационную способность почв и целлюлозоразлагающую активность или скорость разложения клетчатки.

Наиболее простой метод определения токсичного влияния почвенных микроорганизмов на растения разработан сотрудниками МГУ. Метод основан на посеве пророщенных семян (от 10 до 50 шт.) на почву, увлажненную до состояния густой пасты. Контрольные семена раскладывают на увлажненную вату, покрытую фильтровальной бумагой. Семена проращивают в течение пяти-семи дней при постоянной температуре во влажной камере.

Степень токсичности почвы определяют по разнице в количестве проросших семян с учетом длины проростков и корней в почве и на контроле. Токсичными считаются почвы, вызывающие угнетение прорастания семян на 20-30% и более. Определять токсичность почвы рекомендуется в её свежих образцах. Можно совместить с отбором образцов на определение недоокисленных веществ.

Нитрификационная способность почвы, как правило, отражает ее общую биологическую активность, от которой в большей мере зависит уровень эффективного плодородия. Интенсивность нитрификации может косвенно свидетельствовать об отсутствии или наличии питательных веществ для культурных растений. Нитрификацию достаточно определить один раз за вегетационный период по слоям 0-20, 20-40, 40-60 см. Параметры нитрификационной способности почв представлены в прил. Л.

Степень разложения клетчатки, или целлюлозоразлагающая способность почв, определяется методом взвешивания полотна до его закапывания в почву и после 10-14 дней после воздействия почвенной массы на разложение полотна. Убыль полотна на 30% свидетельствует о достаточном количестве микроорганизмов в почве, способствующих активизации основного почвообразовательного процесса – гумификации.

2.3. Уточненные параметры для оценки почвенного плодородия орошаемых земель

К уточненным параметрам следует отнести предельно допустимые (ПДП) и оптимальные параметры (ОП).

Используя многолетние исследования на ключевых участках богары и орошения, а также результаты, полученные в полевых опытах последних лет при отработке агрометеорологических приемов по сохранению и воспроизводству плодородия орошаемых почв, установлены предельно допустимые и оптимальные параметры основных почв для условий орошения (табл. 32-37).

Таблица 32

Уточненные параметры плодородия орошаемых серых лесных почв (0-40 см)

Показатели	ОП	ПДП
Агрофизические:		
плотность, т/м ³		
водопрочность, %	40-50	30-40
водопроницаемость, мм/мин	1,5-2,0	1,0-1,5

Показатели	ОП	ПДП
Физико-химические:		
а) токсичные соли, %:		
с участием соды	Менее 0,10	0,10-0,15
без соды	Менее 0,05	0,05-0,10
б) токсичная щелочность, мг-экв/100 г	Менее 0,7	0,7-1,0
Почвенно-поглощающий комплекс, %:		
кальций	Более 85	85-80
магний	Менее 15	15-20
натрий	Менее 1,0	1,0-3,0
Гидролитическая кислотность (Нг), ммоль (экв)/100 г	Менее 3,0	3,1-4,0
Степень насыщенности основаниями (V), %	Более 70	50-70
Агрохимические:		
гумус, %;	Более 6,0	4,0-6,0
С _{г.к.} : С _{ф.к.}	Более 2,0	2,0-1,0
Подвижный фосфор, мг/100 г	Более 15	10-15
Обменный калий, мг/100 г	Более 18	12-18

Таблица 33

**Уточненные параметры плодородия
орошаемых черноземов ЦЧО (0-40 см)**

Показатели	Типичные черноземы		Обыкновенные черноземы	
	ОП	ПДП	ОП	ПДП
Агрофизические:				
плотность, т/м ³	1,0-1,25	1,25-1,30	1,0-1,25	1,25-1,30
водопрочность, %	Более 60	40-60	Более 60	40-60
водопроницаемость, мм/мин	2,0-2,5	1,5-2,0	1,0-2,0	1,0-1,5
Физико-химические:				
а) токсичные соли, %:				
с участием соды	Менее 0,10	0,10-0,15	Менее 0,10	0,10-0,15
без соды	Менее 0,05	0,05-0,10	Менее 0,05	0,05-0,10
б) токсичная щелочность, мг-экв/100 г	Менее 0,7	0,7-1,0	Менее 0,7	0,7-1,0

Показатели	Типичные черноземы		Обыкновенные черноземы	
	ОП	ПДП	ОП	ПДП
Почвенно-поглощающий комплекс, %:				
кальций	Более 85	85-80	Более 85	85-80
магний	Менее 15	15-20	Менее 15	15-20
натрий	Менее 1,0	1,0-3,0	Менее 1,0	Менее 1,0
Гидролитическая кислотность (Нг), ммоль (экв)/100 г	Менее 3,0	3,1-4,0	Менее 3,0	3,1-4,0
Агрохимические:				
гумус, %	Более 6,0	4,0-6,0	Более 6,0	4,0-6,0
С _{г.к.} : С _{ф.к.}	Более 2,0	2,0-1,0	Более 2,0	2,0-1,0
Подвижный фосфор, мг/100 г	Более 15	10-15	Более 15	10-15
Обменный калий, мг/100 г	Более 18	12-18	Более 18	12-18

Таблица 34

**Уточненные параметры плодородия
орошаемых обыкновенных черноземов ЮФО (0-40 см)**

Показатели	Обыкновенные черноземы			
	орошаемые пресной водой		орошаемые слабоминерализованной водой	
	ОП	ПДП	ОП	ПДП
Агрофизические:				
плотность, т/м ³	Менее 1,15	1,15-1,25	1,20-1,25	Менее 1,20
водопрочность, %	Более 40	30-40	Более 30-40	20-30
водопроницаемость, мм/мин	Более 1,0	0,8-1,0	Более 0,8	0,6-0,8
Физико-химические:				
а) токсичные соли, %:				
с участием соды	Менее 0,10	0,10-0,15	Менее 0,15	0,15-0,25
без соды	Менее 0,05	0,05-0,12	Менее 0,10	0,10-0,25

Показатели	Обыкновенные черноземы			
	орошаемые пресной водой		орошаемые слабоминерализованной водой	
	ОП	ПДП	ОП	ПДП
б) токсичная щелочность, мг-экв/100 г	Менее 0,7	0,7-1,0	Менее 1,0	1,0-1,2
Почвенно-поглощающий комплекс, %:				
кальций	Более 85	85-80	Более 80	80-75
магний	Менее 15	15-20	Менее 20	20-25
натрий	Менее 1	1-3	Менее 3	3-5
Агрохимические:				
гумус, %	Более 4,4	3,8-4,0	Более 4,2	3,6-3,8
С _{г.к.} : С _{ф.к.}	Более 2,0	2,0-1,7	2,0-1,5	1,5-1,0
Подвижный фосфор, мг/100 г	Более 4,5	3,8-4,5	Более 4,5	3,1-4,5
Обменный калий, мг/100 г	Более 50	50-35	Более 45	45-40
Урожайность, т/га:				
озимая пшеница	Более 4,5	4,5-4,1	Более 4,2	4,8-3,8
ячмень	Более 4,2	4,2-4,0	Более 3,9	3,9-3,4
люцерна на сено	Более 13,0	13,0-12,0	Более 11,0	11,0-9,5
кукуруза на зерно	Более 9,5	9,5-9,0	Более 10,0	10,0-9,0

Результаты многолетних полевых опытов свидетельствуют о том, что оптимальные параметры по своим критериям близки к неорошаемым аналогам, а предельно допустимые параметры на 20-30% выше или ниже оптимальных. Почвы орошаемых массивов должны находиться под постоянным контролем. В случае когда изменения их свойств при орошении выходят за пределы допустимых параметров, необходимо менять режим орошения, агротехнику, применять агромелиоративные приемы, которые способствовали бы переходу почв в состояние, соответствующее по основным показателям оптимальным параметрам.

Допустимые параметры водно-воздушного режима:

- плотность пахотного горизонта (t/m^3) для легких почв – 1,3-1,4; среднесуглинистых – 1,2-1,3; тяжелосуглинистых и глин – 1,1-1,25;

- плотность подпахотного слоя для легких почв – 1,4-1,5; для остальных – 1,2-1,3;
- общая порозность (в % от объема почвы) – 50-55%;
- порозность аэрации (в % от общей порозности для пахотного слоя) – 18-25 %; для подпахотного – 12-17;
- водопроницаемость (коэффициент фильтрации, м в сутки) – 0,15-0,75.

Таблица 35

**Уточненные параметры плодородия
орошаемых южных черноземов в комплексе с солонцами ЮФО
(0-40 см)**

Показатели	Комплексный покров			
	южные черноземы		солонцы мелиорированные	
	ОП	ПДП	ОП	ПДП
Агрофизические:				
плотность, т/м ³	Менее 1,2	1,20-1,25	Менее 1,25	1,25-1,30
водопрочность, %	Более 40	30-40	Более 30	20-30
водопроницаемость, мм/мин	Более 0,8	0,8-1,0	Более 0,6	0,6-0,4
Физико-химические:				
а) токсичные соли, %:				
с участием соды	Менее 0,10	0,10-0,15	Менее 0,15	0,15-0,25
без соды	Менее 0,05	0,05-0,12	Менее 0,10	0,10-0,25
б) токсичная щелочность, мг-экв/100 г	Менее 0,7	0,7-1,0	Менее 1,0	1,0-1,2
Почвенно-поглощающий комплекс, %:				
кальций	Более 80	80-75	Более 75	70-75
магний	Менее 20	20-25	Менее 25	20-25
натрий	Менее 3	3-5	Менее 5	5-7
Агрохимические:				
гумус, %	Более 3,4	3,4-3,0	3,4-3,0	2,5-2,0
Сг.к. : Сф.к.	Более 1,5	1,5-1,0	1,5-1,0	1,0-0,8
Подвижный фосфор, мг/100 г	Более 4,5	3,8-4,5	3,8-4,5	3,5-3,0
Обменный калий, мг/100 г	Более 4,5	45-40	45-40	40-35

Показатели	Комплексный покров			
	южные черноземы		солонцы мелиорированные	
	ОП	ПДП	ОП	ПДП
Урожайность, т/га:				
озимая пшеница	Более 3,8	3,8-2,7	Более 3,5	3,5-2,9
ячмень	Более 3,0	3,0-2,0	Более 2,5	2,5-2,0
кормосмеси (кукуруза + + подсолнечник + сорго)	Более 45	45-30	Более 35	35-30

Таблица 36

**Уточненные параметры плодородия орошаемых почв
каштановой зоны (0-40 см)**

Показатели	Комплексный покров			
	каштановые почвы		солонцы мелиорированные	
	ОП	ПДП	ОП	ПДП
Агрофизические:				
плотность, т/м ³	Менее 1,25	1,25-1,30	Менее 1,3	1,3-1,35
водопрочность, %	Более 40	30-40	Более 30	20-30
водопроницаемость, мм/мин	Более 0,8	0,6-0,8	Более 0,6	0,6-0,4
Физико-химические:				
а) токсичные соли, %:				
с участием соды	Менее 0,10	0,10-0,20	Менее 0,15	0,15-0,25
без соды	Менее 0,05	0,05-0,2	Менее 0,10	0,10-0,25
б) токсичная щелочность, мг-экв/100 г	Менее 0,7	0,7-1,0	Менее 1,0	1,0-1,2
Почвенно-поглощающий комплекс, %:				
кальций	Более 80	80-75	Более 75	70-75
магний	Менее 15	15-20	Менее 25	20-25
натрий	Менее 3	3-5	Менее 5	5-7
Агрохимические:				
гумус, %	Более 2,5	2,5-2,2	Более 2,2	2,2-2,0
С.г.к. : С.ф.к.	Более 1,5	1,5-1,0	Более 1,0	1,0-0,8

Показатели	Комплексный покров			
	каштановые почвы		солонцы мелиорированные	
	ОП	ПДП	ОП	ПДП
Подвижный фосфор, мг/100 г	Более 4,0	4,0-3,6	Более 3,5	3,5-3,0
Обменный калий, мг/100 г	Более 40	40-35	Более 35	35-30
Урожайность, т/га:				
кукуруза на зеленую массу	Более 40	40-30	Более 35	35-25
люцерна на зеленую массу	Более 50	50-45	Более 45	45-40
кормосмеси	Более 58	58-50	Более 52	52-46

Таблица 37

**Уточненные параметры плодородия почв
полупустынной зоны (0-40 см)**

Показатели	Комплексный покров			
	бурая полупустынная		солонец	
	ОП	ПДП	ОП	ПДП
Агрофизические:				
плотность, т/м ³	Менее 1,25	1,25-1,30	Менее 1,3	1,3-1,35
водопрочность, %	Более 40	30-40	более 30	20-30
водопроницаемость, мм/мин	Более 0,8	0,6-0,8	более 0,6	0,6-0,4
Физико-химические:				
а) токсичные соли, %:				
с участием соды	Менее 0,10	0,10-0,20	Менее 0,15	0,15-0,25
без соды	Менее 0,05	0,05-0,2	Менее 0,10	0,10-0,25
б) токсичная щелочность, мг-экв/100 г	Менее 0,7	0,7-1,0	Менее 1,0	1,0-1,2
Почвенно-поглощающий комплекс, %:				
кальций	Более 80	80-75	Более 75	70-75
магний	Менее 15	15-20	Менее 25	20-25
натрий	Менее 3,0	3,0-5,0	Менее 5,0	5,0-7,0
Агрохимические:				
гумус, %;	Более 2,5	2,5-2,2	Более 2,2	2,2-2,0

Показатели	Комплексный покров			
	бурая полупустынная		солонец	
	ОП	ПДП	ОП	ПДП
Сг.к.: Сф.к.	Более 1,5	1,5-1,0	Более 1,0	1,0-0,8
Подвижный фосфор, мг/100 г	Более 4,0	4,0-3,6	Более 3,5	3,5-3,0
Обменный калий, мг/100 г	Более 40	40-35	Более 35	35-30

Уточненные параметры по оптимальным и предельно допустимым свойствам почв различны для отдельных регионов и определяются не только генетикой почв, но и культурой земледелия и уровнем интенсификации производства.

2.4. Оценка деградационных процессов при орошении

Деградация почв представляет собой одну из важнейших социально-экономических проблем.

Наибольший ущерб почвам России наносят такие негативные процессы, как переуплотнение, дегумификация, засоление, осолонцевание, особенно на орошаемых землях. Всем землям сельскохозяйственного назначения присущи подтопление, локальное переувлажнение, ветровая и водная эрозия. При деградации изменяются функции почв, ухудшаются их свойства. В связи с этим теряется их природно-хозяйственная значимость.

По оценочным шкалам, критерии, характеризующие основные свойства почв, должны находиться в хорошем состоянии или на более высоком уровне. Переход по отдельным элементам в разряд «удовлетворительное состояние» или «средний уровень» свидетельствует о неблагоприятных процессах в почве и предопределяет необходимость проведения определенных мер по их восстановлению.

Параметры орошаемых почв не должны выходить за рамки допустимых значений. Как уже упоминалось, деградация почв и земель по каждому индикаторному показателю характеризуется пятью степенями. Определение степени деградации производится в соответствии с табл. 38.

Определение степени деградации почв и земель

Показатели	Степень деградации				
	0	1	2	3	4
<i>Индикаторные показатели</i>					
Мощность абiotического (неплодородного) наноса, см	Менее 2	2-10	11-20	21-40	Более 40
Глубина провалов относительно поверхности (без разрыва сплошности), см	Менее 20	20-40	41-100	101-200	Более 200
Уменьшение содержания физической глины на величину, от исходного, %	Менее 5	5-15	16-25	26-32	Более 32
Увеличение равновесной плотности сложения пахотного слоя почвы, от исходного*, %	Менее 10	10-20	21-30	31-40	Более 40
Стабильная структурная (межагрегатная без учета трещин) пористость, см ³ /г	Более 0,2	0,11-0,2	0,06-0,1	0,02-0,05	Менее 0,02
Тектурная пористость (внутриагрегатная), см ³ /г	Более 0,3	0,26-0,3	0,2-0,25	0,17-0,19	Менее 0,17
Коэффициент фильтрации, м/сут	Менее 1,0	0,3-1,0	0,1-0,3	0,01-0,1	Менее 0,01
Каменистость, % покрытия	Менее 5	5-15	16-35	36-70	Более 70
Уменьшение мощности почвенного профиля (А + В), от исходного*, %	Менее 3	3-25	26-50	51-75	Более 75
Уменьшение запасов гумуса в профиле почвы (А + В), от исходного*, %	Менее 10	10-20	21-40	41-80	Более 80
Площадь обнаженной почвообразующей породы (С) или подстилающей породы (D), от общей площади, %	0-2	3-5	6-10	11-25	Более 25

Глубина размывов и водороев относительно поверхности, см	Менее 20	20-40	41-100	101-200	Более 200
Расчлененность территории оврагами, км/ км ²	Менее 0,1	0,1-0,3	0,4-0,7	0,8-2,5	Более 2,5
Дефляционный нанос неплодородного слоя, см	Менее 2	2-10	11-20	21-40	Более 40
Площадь подвижных песков от общей площади, %	0-2	3-5	6-15	16-25	Более 25
Содержание суммы токсичных солей в гумусовом (пахотном) слое, %:					
с участием соды	Менее 0,1	0,10-0,2	0,21-0,3	0,31-0,5	Более 0,5
для других типов засоления	Менее 0,1	0,10-0,25	0,26-0,5	0,51-0,8	Более 0,8
Увеличение токсичной щелочности (при переходе нейтрального типа засоления в щелочной), мг-экв/100 г почвы	Менее 0,7	0,70-1,0	1,1-1,6	1,7-2,0	более 2
Увеличение содержания обменного натрия (от емкости катионного обмена), %:					
для почв, содержащих < 1 % натрия	Менее 1	1-3	3-7	7-10	Более 10
для других почв	Менее 5	5-10	10-15	15-20	Более 20
Увеличение содержания обменного магния (от емкости катионного обмена), %	Менее 40	40-50	51-60	61-70	Более 70
Поднятие пресных почвенно-грунтовых вод до глубины, м:					
в гумидной зоне (< 1 г/л)	Более 1,0	0,81-1,0	0,61-0,80	0,3-0,6	Менее 0,3
в степной (< 3 г/л)	Более 4	3,1-4,0	2,1-3,0	1,0-2,0	Менее 1
Поднятие уровня минерализованных (> 3 г/л) почвенно-грунтовых вод до глубины, м	Более 7	5,1-7,0	3,1-5,0	2,0-3,0	Менее 2
Продолжительность затопления (поверхностного переувлажнения), месяцы	Менее 3	4-6	7-12	13-18	Более 18

Показатели	Степень деградации				
	0	1	2	3	4
Сработка торфа, мм/год	Менее 1	1-2,5	2,6-10	11-40	Более 40
<i>Дополнительные показатели</i>					
Потери почвенной массы, т/га/год	Менее 5	6-25	26-100	101-200	Более 200
Увеличение площади средне- и сильноэродированных почв в год, %	Менее 0,5	0,6-1,0	1,1-2,0	2,1-5,0	Более 5,0
Площадь естественных кормовых угодий, выведенных из землепользования (лишенных растительности), от общей площади, %	Менее 10	11-30	31-50	51-70	Более 70
Проективное покрытие пастбищной растительности от зонального, %	Более 90	71-90	51-70	10-50	Менее 10
Скорость роста площади деградированных пастбищ в год, %	Менее 0,25	0,26-1,0	1,1-3,0	3,1-5,0	Более 5
Увеличение площади в год, %:					
подвижных песков	Менее 0,25	0,26-1,0	1,1-2,0	2,1-4,0	Более 4
засоленных почв	0-0,5	0,51-1,0	1,1-2,0	2,1-5,0	Более 5,0

* Под исходным понимается состояние недеградированных аналогов (нулевой уровень деградации).

При наличии двух и более существенных изменений индикаторных показателей оценка степени деградации почв и земель проводится по показателю, устанавливающему максимальную степень.

В случае сельскохозяйственных территорий целесообразно выделять следующие стадии деградации почв и земель:

- 0 – недеградированные почвы и земли: характеризуются отсутствием ограничений на виды землепользования, рекомендуемые для данного типа земель, достоверного снижения урожайности (менее 10%) и качества сельхозпродукции по сравнению с местными (районированными) эталонами почв и земель данного класса (подтипа, рода, вида);

- 1 – слабодegradированные почвы и земли: результатом их деградации является достоверное снижение продуктивности, качества продукции или повышение себестоимости производства основных сельскохозяйственных культур, выращиваемых в данных условиях, на 10-25 % по сравнению с соответствующими недеградированными (эталонными) землями, имеющими аналогичное расположение в рельефе и инфраструктуре хозяйства;

- 2 – среднедеградированные почвы и земли: результатом их деградации являются сильное снижение продуктивности (или качества) основных сельскохозяйственных культур, выращиваемых в данных условиях, на 25-50%, повышение себестоимости их производства в 1,3-2 раза или снижение санитарно-экологического качества получаемой продукции в 2-3 раза. При этом могут существенно ухудшаться условия обработки земель и происходить их дальнейшая ускоренная деградация;

- 3 – сильнодеградированные почвы и земли: результатом их деградации являются очень сильное снижение продуктивности (и/или качества) основных сельскохозяйственных культур, выращиваемых в данных условиях, на 50-75 %, повышение себестоимости их производства в 2-3 раза или снижение санитарно-экологического качества получаемой продукции в 3-10 раз. При этом, как правило, резко ограничивается набор возможных видов сельскохозяйственного использования;

- 4 – очень сильнодеградированные почвы и земли: продуктивность традиционных для них сельскохозяйственных культур снижается

ется более чем в 4 раза или отмечается сильное превышение ПДК в получаемой продукции. Резко ограничена возможность дальнейшего сельскохозяйственного использования.

Затем на основе полученных баллов состояния по отдельным показателям рассчитывается интегральная оценка деградации (B_{cp} – средний балл деградации), по величине которой определяют степень деградации почвы:

$$B_{cp} = \frac{B_1 + B_2 + \dots + B_n}{n}, \quad (6)$$

где $B_1 + B_2 + \dots + B_n$ – сумма баллов состояния по оцениваемым показателям;

n – количество показателей;

$B_{cp} < 1$ – недеградированные (ненарушенные);

$1 \leq B_{cp} < 2$ – слабodeградированные;

$2 \leq B_{cp} < 3$ – среднедеградированные;

$3 \leq B_{cp} < 4$ – сильнодеградированные;

$B_{cp} \geq 4$ – очень сильнодеградированные (разрушенные), в том числе уничтожение почвенного покрова.

2.5. Критерии экологической устойчивости орошаемых земель

Оценка экологического состояния почв, проводимая по критериям экологической обстановки территорий, позволяет выделить три категории их состояния:

- 1) экологическое бедствие;
- 2) чрезвычайная экологическая ситуация;
- 3) удовлетворительная экологическая ситуация.

В качестве критериев экологического состояния используются не только показатели свойств почв, но и учитывается процент площади земель, выведенных из сельскохозяйственного оборота.

Особое внимание уделяется показателям радиоактивного загрязнения, загрязнения другими химическими веществами с высоким

классом опасности. Определяются также фитотоксичность почв и наличие в почве патогенных микроорганизмов. Все эти показатели представлены в табл. 39.

Таблица 39

Критерии экологической оценки состояния почв

Показатели	Экологическое бедствие	Ситуация	
		чрезвычайная экологическая	удовлетворительная
Площадь земель, выведенных из сельскохозяйственного оборота вследствие деградации, %	Более 50	30-50	До 5
Уничтожение гумусового горизонта	A + B	Апах (A1)	До 0,1 A
Перекрытие поверхности почвы абиотическими наносами, см	Более 20	10-20	Отсутствует
Увеличение плотности почвы по отношению к равновесной, %	Более 40	30-40	До 10
Превышение уровня грунтовых вод от критического, %	Более 50	25-50	Допустимый
Радиоактивное загрязнение, ки/км ² :			
цезий-137	Более 40	15-40	До 1
стронций-90	Более 3	1-3	До 0,3
сумма изотопов плутония	Более 0,1	Менее 0,1	Нет
мощность экспозиционной дозы на уровне 1 м от поверхности, мкР/ч	Более 400	200-400	До 20
Потеря гумуса в пахотных почвах за 10 лет (относительные %)	Более 25	10-25	Менее 1
Увеличение содержания легкорастворимых солей, в долях	Более 0,8	0,4-0,8	До 0,1
Увеличение доли обменного натрия, % от E	Более 25	15-5	До 5

Показатели	Экологическое бедствие	Ситуация	
		чрезвычайная экологическая	удовлетворительная
Превышение ПДК химических веществ:			
1 класс опасности	Более 3 раз	В 2-3 раза	Нет
2 класс	Более 10 раз	В 5-10 раз	Нет
3 класс (включая нефтепродукты)	Более 20 раз	В 10-20 раз	Нет
Снижение уровня активной микробной массы, разы	Более 100	50-100	До 5
Фитотоксичность почв (снижение числа проростков к фону), %	Более 200	140-200	До 110
Дополнительные показатели: доля загрязненной сельскохозяйственной продукции от проверенной, %	Более 50	25-50	До 5
число яиц гельминтов в 1 кг почвы	Более 100	10-100	Нет
число патогенных микроорганизмов в 1 кг почвы	Более 10 ⁶	10 ⁶ -10 ⁵	Менее 10 ⁴
коли-титр (для почвы – наименьшая масса почвы, в которой содержится одна кишечная палочка)	Менее 0,001	0,01-0,001	Более 1,0
генотоксичность почвы (число мутаций, по сравнению с контролем), разы	Более 1000	100-100	Менее 2

Для орошаемых земель наиболее приемлемыми являются критерии экологической оценки состояния почв, представленные в табл. 40.

Таблица 40

Критерии благополучного экологического состояния почв и ландшафтов

Показатели	Природная зона				
	лесостепная	степная	сухостепная	полупустынная	пустынная
Содержание гумуса в почве, %	2-3	5-7	3-4	2-3	1,5-2,0
Плотность почвы, т/м ³	-	0,1-0,18	-	-	-
Степень засоления почвы, %	0,1-0,3	0,1-0,3	0,2-0,3	0,3-0,4	0,3-0,4
pH	6-7	7,0-7,5	7-8	7,5-8,0	7,5-8,3
Окислительно-восстановительный потенциал	450-600	400-600	350-500	350-450	350-450
Степень осолонцевания:					
содержание обменного Na ⁺ , % от ЕКО	-	Менее 3	-	-	-
поглощение Mg ²⁺ в % от ЕКО	-	Менее 15	-	-	-
Кальциевый режим, отклонение от природного, %	-	Менее 5	-	-	-
Глубина до грунтовых вод, м	4-5	8-10	5-7	5-6	4-5
Пределы регулирования влажности почвы, доли НВ	0,7-0,9	0,7-0,8	0,7-0,85	0,7-0,85	0,7-0,9
Отношение оросительной нормы к осадкам	0,1-0,2	0,3-0,5	0,6-1,0	1,5-2,0	-
Оросительная норма М, мм	60-100	130-270	400-590	500-670	690-880
Минерализация поливной воды, г/дм ³	1-2	0,5-0,7	1	-	-
Нисходящий ток воды, мм	40-60	30-40	40-80	80-100	100-110

Показатели		Природная зона				
		лесостепная	степная	сухостепная	полупустынная	пустынная
Ирригационное питание на уровне грунтовых вод, доли М		0,08-0,1	0,1-0,15	0,20-0,25	0,25-0,50	0,25-0,50
Инфильтрационное питание, доли М		0,5-0,25	0,05-0,08	0,08-0,13	0,13-0,20	0,13-0,20
Отношение дренажного стока к питанию грунтовых вод		0,68-0,95	0,75-0,93	0,85-0,91	0,80-0,87	0,80-0,87
Влагообмен между почвой и грунтовыми водами, доли испарения		0,05-0,1	0,05-0,1	0,05-0,1	0,05-0,15	0,10-0,15
Допустимые пределы изменения УГВ, м						
подзона:	бессточная	0,3-0,5	0,3	0,5	0,5	-
	дренированная	0,5-1,0	0,5-1,0	1,0-1,5	1-3	-
	интенсивно дренированная	1-3	1-2	1,0-1,5	1,3	-

Таким образом, для оценки экологического состояния и почвенного плодородия земель, в том числе орошаемых, существует множество показателей и критериев.

2.6. Оценка факторов отрицательного воздействия длительного орошения на плодородие почв

На орошаемые земли дополнительно оказывают влияние оросительные и коллекторно-дренажные воды. Избыток оросительных вод может привести к подъему уровня грунтовых вод, а в конечном итоге – к засолению почв. Кроме того, плохо работающая коллекторно-дренажная сеть провоцирует подтопление орошаемых и прилегающих к ним территорий.

Мелиоративный режим определяется глубиной залегания грунтовых вод и их минерализацией. Автоморфный режим существует при глубине грунтовых вод более 6 м, а при их залегании на глубине 3-6 м – полугидроморфный режим. Когда грунтовые воды находятся на глубине менее 3 м, наблюдается гидроморфный, а глубже 1,5 м – сильногидроморфный режим.

Избыток оросительной воды влияет не только на мелиоративное состояние орошаемых земель, но и на их качество, особенно когда для полива используется слабоминерализованная вода.

Только научно обоснованный подход обеспечит использование таких вод без ухудшения свойств почв и утраты почвенного плодородия.

Роль качества оросительной воды очень велика. Существует классификация С.Я. Безднина, согласно которой выведено четыре класса воды, имеющих различное влияние на плодородие почв, а в связи с этим и подход к ее использованию должен быть различным.

Классификация по оценке качества воды для орошения представлена в прил. М (табл. М.1, М.2). При использовании коллекторно-дренажных вод необходимо руководствоваться классификацией оценки качества поливных вод. Нередко отмечается загрязнение источников орошения органическими и неорганическими веществами. Нормирование содержания микроэлементов и органических ве-

ществ следует проводить в случае опасности загрязнения ими оросительных вод (по указанию санэпидстанции). Содержание микроэлементов, в том числе и тяжелых металлов, а также органических веществ не должно превышать допустимых величин, указанных в прил. М (табл. М.3, М.4).

Грунтовые воды являются одним из отрицательных факторов, влияющим на плодородие почв.

Степень подтопления земель определяется глубиной грунтовых вод (табл. 41). При контроле следует также оценить уровень их залегания и минерализацию: если он выше критического, то происходит накопление водорастворимых солей (вторичное засоление) и обменных натрия и магния (осолонцевание) в корнеобитаемом слое.

Таблица 41

Степень подтопления земель с учетом типов режимов почвообразования зональных почв

Природный тип гидрогеологического режима	Степень подтопления земель при глубинах грунтовых вод, м				
	неподтопленные	подтопление			
		слабое	среднее	сильное	очень сильное
<i>Лесостепная зона – черноземы выщелоченные и оподзоленные</i>					
Автоморфный	6-7	5-6	4-5	3-4	2-3
Субавтоморфный	5-6	4-5	3-4	2-3	1-2
Автоморфно-гидроморфный	4-5	3-4	2-3	2	1-2
<i>Лугово-черноземные почвы</i>					
Субгидроморфный	3	2-3	1-2	1	1
<i>Степная зона – черноземы и темно-каштановые почвы</i>					
Автоморфный	9-10	8-9	7-8	6-7	5-6
Субавтоморфный	8-9	7-8	6-7	5-6	4-5
Автоморфно-гидроморфный	6-7	5-6	4-5	3-4	2-3
<i>Черноземно-луговые почвы</i>					
Субгидроморфный	4-6	3-4	3	2	1
<i>Лугово-черноземные почвы</i>					
Гидроморфный	3-4	2-3	1-2	1	1

Природный тип гидрогеологического режима	Степень подтопления земель при глубинах грунтовых вод, м				
	неподтопленные	подтопление			
		слабое	среднее	сильное	очень сильное
<i>Сухостепная зона – каштановые почвы</i>					
Автоморфный	8-9	7-8	6-7	5-6	4-5
Субавтоморфный	7-8	6-7	5-6	4-5	3-4
Автоморфно-гидроморфный	6-7	5-6	4-5	3-4	2-3
<i>Каштановые луговые почвы</i>					
Субгидроморфный	4-6	3-4	3	2	21
<i>Лугово-каштановые почвы</i>					
Гидроморфный	3-4	2-3	1-2	1	Более 1
<i>Полупустынная зона – светло-каштановые, комплексные солонцеватые почвы</i>					
Автоморфный	7-8	6,5-7	6-6,5	5,5-6	5-5,5
Субавтоморфный	6-7	5,5-6	5-5,5	4,5-5	4-4,5
Автоморфно-гидроморфный	5-6	5-5,5	4,5-5	4-4,5	3,5-4
Субгидроморфный	4-5	4-4,5	3,5-4	3-3,5	2,5-3
Гидроморфный	3-4	3-3,5	2,5-3	2-2,5	1-2
<i>Пустынная зона – бурые почвы</i>					
Автоморфный	7-8	6-7	5-6	4-5	3-4
Субавтоморфный	6-7	5-6	4-5	3-4	2-3
Автоморфно-гидроморфный	5-6	4-5	3-4	2-3	1-2
<i>Солонцеватые</i>					
Субгидроморфный	4-5	3-4	2-3	1-2	Менее 1
<i>Засоленные</i>					
Гидроморфный	3-4	2-3	1-2	1	Менее 1

Для обеспечения оптимального почвенного плодородия орошаемых полей необходимо, чтобы глубина залегания грунтовых вод была больше критической. Ее контроль осуществляется по общепризнанной классификации (прил. Н, табл. Н.1). По степени минерализации грунтовые воды подразделяются на пресные, слабо-, средне-, сильноминерализованные и рассолы (прил. Н, табл. Н.2).

Близкое залегание даже пресных вод не всегда благоприятно для развития растений. Если они залегают выше 80 см, то отрицательно влияют на все полевые культуры и большинство трав. Для многих трав, особенно многолетних, плодовых кустарников (смородина, малина), а также таких культур, как овес, горох, лен залегание пресных вод на уровне 80-100 см благоприятно для их развития, а глубина 100-120 см оптимальна для большинства полевых культур.

Одним из факторов, оказывающих отрицательное воздействие на плодородие орошаемых почв, является несоблюдение ключевых элементов технологии выращивания сельскохозяйственных культур. В первую очередь к ним относятся севообороты и поливной режим. Ненормированное внесение удобрений и пестицидов, приводящее к загрязнению почв тяжелыми металлами и так далее, также негативно влияет на почвенное плодородие орошаемых земель.

Основную роль в повышении плодородия орошаемых земель играют севообороты. При правильном чередовании возделываемых сельскохозяйственных культур сохраняется основной фактор плодородия – гумусонакопление. Правильно подобранная структура посевных площадей с оптимальным набором сельскохозяйственных культур обеспечивает не только эффективное использование земель, но и поддерживает плодородие длительно орошаемых почв.

Структура посевных площадей оценивается по процентам отклонения от проектных данных и включает в себя следующие три группы: рациональная (если соответствует запланированным в проектах – отклонения не более 25 %), допустимая (изменения структуры по сравнению с проектной на 25-50 %), нерациональная (изменения структуры по сравнению с проектной более чем на 50 %).

С учетом приведенных показателей и фактических данных при контроле необходимо оценить применяемую в конкретном хозяйстве структуру посевных площадей. Если структура нерациональна, то устанавливается причина: низкий научно-организационный уровень, отсутствие необходимого семенного материала, материальных средств и др.

Состав культур в структуре посевов орошаемых севооборотов должен быть согласован с организационно-хозяйственными, технологическими условиями, состоянием оросительной сети и техники,

гидромодулем орошаемых участков. Правильное применение научно обоснованных севооборотов является не только резервом повышения продуктивности орошаемого гектара, но и инструментом сохранения и повышения почвенного плодородия, улучшения экологической обстановки.

Поливной режим сельскохозяйственных культур должен обеспечить оптимальный режим, включая число поливов, поливные нормы, сроки полива корнеобитаемого слоя данной культуры.

Для разработки правильного поливного режима следует установить оросительную норму. Правильность ее расчетов проверяется по ГОСТ Р 58331.3-2019. Затем оросительная норма распределяется в течение вегетационного периода с учетом метеорологических условий, фаз развития растений и свойств почв. При орошении важно не допускать переполивов. Установлено допустимое снижение поливной нормы ниже расчетной на 10-13%. Кроме этого, оросительные нормы рассчитаны для условий глубокого залегания грунтовых вод (более 3 м) – при близком их расположении следует откорректировать введением поправочных коэффициентов (табл. 42).

Таблица 42

**Поправочные коэффициенты к норме водопотребности
для орошения сельскохозяйственных культур
в условиях близкого залегания грунтовых вод**

Культура	Глубина грунтовых вод, м					
	пресные (до 1,0 г/дм ³)			слабоминерализованные (1,0-3,0 г/дм ³)		
	1,0	2,0	3,0	1,0	2,	3,0
Глубокоукореняющиеся (люцерна, сахарная свекла, подсолнечник, кукуруза, озимая пшеница и др.)	0,24	0,72	1,0	0,31	0,94	1,0
Среднеукореняющиеся (горох, картофель, томаты и др.)	0,40	0,86	1,0	0,43	0,89	1,0
Мелкоукореняющиеся (огурцы, лук и др.)	0,62	0,95	1,0	0,64	0,96	1,0

В различных природных зонах при орошении земель развиваются процессы засоления, осолонцевания и содообразования почв. Интенсивность и характер этих процессов зависят как от качества оросительной воды, так и свойств почв, глубины залегания и минерализации грунтовых вод (табл. 43).

Таблица 43

**Предельно допустимая минерализация (числитель)
и предельно допустимое отношение натрия к сумме кальция
и магния (знаменатель) в поливной воде**

Минерализация грунтовых вод, г/дм ³	Отношение $\frac{Na}{Ca + Mg}$ в грунтовой воде	Глубина залегания уровня, м				
		1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
3	0,5	1,3	2,0	2,5	2,9	3,2
		2,1	1,3	0,9	0,8	0,7
	1,0	1,3	2,0	2,5	2,9	3,2
5	0,5	1,2	0,9	0,8	0,7	0,7
		2,0	–	2,0	2,5	2,9
	0,1	0,4	0,5	0,6	0,6	
7	0,5	–	1,0	1,9	2,4	3,0
		–	2,0	1,1	0,9	0,7
	1,0	–	1,0	1,9	2,4	3,0
10	0,5	–	0,8	0,7	0,6	0,6
		2,0	–	–	–	2,4
	0,2	0,2	0,5	0,5	0,5	
10	0,5	–	–	1,2	2,1	2,8
		–	–	1,4	0,9	0,7
	1,0	–	–	1,2	2,1	2,8
10	0,5	–	–	0,5	0,5	0,6
		2,0	–	–	–	–
	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
10	1,0	–	–	–	1,3	2,5
	0,3	0,3	0,6	0,6	0,6	
10	2,0	–	–	–	–	2,5
		–	–	–	–	–

Примечание. Прочерк означает, что при данной глубине залегания, минерализации и химическом составе грунтовых вод содержание солей (или поглощенного натрия) в почве будет выше допустимых значений.

Таким образом, необходимо учитывать определенные экологические ограничения, позволяющие установить экологически безопасные нормы водопотребности сельскохозяйственных культур в каждом конкретном случае.

Удобрения могут оказывать как положительное, так и отрицательное воздействие на сохранение и воспроизводство плодородия почв, как и пестициды, и гербициды в отношении загрязнения почв. В отличие от других компонентов природной среды (воды и воздуха), где возможны процессы периодического очищения от тяжелых металлов (ТМ), почва является активным аккумулятором и практически не обладает самоочищением.

Значительные количества тяжелых металлов-токсикантов содержат средства химизации, полученные из отходов основных производств – пиритные огарки, фосфогипс, сланцевая зола и особенно осадки сточных вод промышленности и коммунального хозяйства. О вкладе средств химизации в химическую деградацию почв можно судить по результатам табл. 44.

Таблица 44

Источники поступления и вынос ТМ в результате применения средств химизации от суммарного прихода, %

Металл	Поступление на поверхность					
	с удобрениями			с ОСВ	с атмосферными осадками	вынос с урожаем и внутрисочвенный сток
	минеральными	известковыми	органическими			
Cd	2,5	14	20,6	54,8	7,5	2,4
Pb	2,7	26,4	14,6	37,5	17,4	10,0
Zn	0,6	3,1	12,9	72,4	8,6	15,5
Cu	1,0	1,9	5,6	88,5	2,3	5,5
Ni	2,2	17,0	35,4	37,2	6,1	4,0
Cr	0,3	9,8	17,4	72,0	–	1,2

Кроме ТМ, в почве обнаруживаются остатки пестицидов, и если их содержание выше ПДК, то они становятся источником загрязнения и способствуют нарастанию деградационных процессов в почве. О загрязненности почв тяжелыми металлами и другими загрязняю-

щими веществами можно судить при сопоставлении их фактического содержания с предельно допустимыми концентрациями.

Показатели загрязнителей выше ПДК свидетельствуют о деградационном состоянии почв, ниже ПДК – об удовлетворительном ее состоянии.

Таким образом, используя вышеперечисленные показатели и критерии, можно оценить почвенное плодородие и выявить факторы отрицательного воздействия длительного орошения на свойства почв.

2.7. Оценка агропроизводительной способности почв и эколого-мелиоративного состояния длительно орошаемых почв на основе бонитировки

Если в процессе оценки почвенного плодородия орошаемых земель обнаруживаются негативные и деградационные почвенные процессы, то необходимо провести оценку агропроизводительной способности почв на основе системы бонитировки почв двумя методами:

- через расчет почвенно-экологических индексов;
- на основе существующего бонитета почв различных регионов.

Агропроизводительную способность почв также можно оценить непосредственно по показателям почвенного плодородия и урожайности возделываемых культур.

Оценка почв на основе почвенно-экологических индексов предложена И.И. Кармановым и Т.А. Фриевым. Она позволяет дать количественную оценку почвенно-экологических условий территорий (участков).

Почвенно-экологические индексы рассчитываются по основной формуле

$$ПЭ_u = 12,5(2 - \nu)n \frac{\sum t^o > 10(KY - 0,05)}{KK + 100}, \quad (7)$$

где $ПЭ_u$ – почвенно-экологический индекс;

ν – плотность сложения почвы в среднем для метрового слоя, т/м³;

n – полезный (безбалластный) объем почвы в метровом слое;

$\sum t^o > 10$ – среднегодовая сумма температур более 10°C;

KY – коэффициент увлажнения по Н.Н. Иванову;

KK – коэффициент континентальности.

Величина 12,5 введена в формулу для того, чтобы привести определенную совокупность экологических показателей к экологическому индексу, равному 100 (экологические индексы выражаются с округлением до целых чисел).

Плотность сложения почв (объемная масса) – величина довольно стабильная для конкретной разновидности почв, поэтому для расчета она может быть взята из прил. П (табл. П.1).

Величина *n* показывает отношение объема «безбалластной» части почвы к общему ее объему (для метрового слоя почв). Для большинства почв суглинистого и глинистого гранулометрического состава она практически равна единице.

Величина $\Sigma t^{\circ} > 10$ берется по данным справочников для условий ближайших метеостанций или в среднем для административного района.

Величина *KY* представляет собой отношение среднегодового количества осадков к среднегодовой испаряемости. Среднемесячные величины испаряемости (дающие при суммировании среднегодовую величину) определяются по формуле Н.Н. Иванова

$$I = 0,0018(t^{\circ} + 25)(100 - a), \quad (8)$$

где *I* – среднемесячная величина испаряемости;

t° – среднемесячная температура воздуха;

a – среднемесячная относительная влажность воздуха (берется из справочника).

Величину *KY* рассчитывают до второго знака. Величины *KY* более 1,10 принимаются равными 1,10. При расчете почвенно-экологических индексов для почв, регулярно орошаемых, величина *KY* принимается оптимальной, т.е. равной 1,10.

Число 0,05 вычитается из *KY* в связи с тем, что при величине *KY*, равной 0,05 (наиболее сухие регионы пустынь), растительная масса в связи с полным отсутствием в почве доступной влаги практически не образуется (экологический индекс равен нулю).

Величина *KK* определяется по формуле

$$KK = \frac{360(t_{\max}^{\circ} - t_{\min}^{\circ})}{\varphi + 10}, \quad (9)$$

где t_{max}° – среднемесячная температура самого теплого месяца;
 t_{min}° – среднемесячная температура самого холодного месяца;
 φ – широта местности.

При расчете температура берется с точностью до одной десятой градуса, широта местности – также с точностью до одной десятой градуса (минуты переводятся в десятые доли градуса). Величина КК выражается с округлением до целых чисел. Величины КК более 200 принимаются равными 200. Число 100 прибавляется к величине КК в качестве коэффициента пропорциональности. При расчете по формуле за 100 принят экологический индекс для черноземов центральной части Краснодарского края ($v = 1,20$; $n = 1,00$; $St^{\circ} > 10 = 3500$; $KY = 0,80$; $KK = 162$). В табл. 45 представлены приблизительные величины почвенно-экологических индексов для почв, находящихся в конкретных климатических условиях.

Таблица 45

**Величины почвенно-экологических индексов
для некоторых почв**

Почва	Территория	Величина ПЭи
Дерново-подзолистая суглинистая	Ярославская область	49
Серая лесная суглинистая	Тульская область	63
Чернозем типичный мощный	Курская область	75
	Алтайский край	60
Чернозем слабовыщелоченный сверхмощный	Краснодарский край	100
Чернозем южный	Ростовская область	47
Светло-каштановая	Ростовская область	43

Эти величины хорошо согласуются с общими зонально-провинциальными закономерностями плодородия почв и могут использоваться в качестве исходной почвенно-экологической оценки рассматриваемого объекта. На орошаемых землях происходят негативные процессы, поэтому величины почвенно-экологических индексов для почв с наиболее сильным проявлением отрицательных свойств корректируют в каждом конкретном случае отдельно с учетом направленности почвенного процесса.

В основном они обусловлены тремя факторами:

- минерализацией и низким качеством поливной воды;

- близким залеганием грунтовых вод;
- минерализацией и химическим составом грунтовых вод.

Поэтому предлагается снижать величину почвенно-экологического индекса с учетом воздействия этих факторов на почвенный покров.

Используя существующие классификации, порядок снижения баллов ПЭи можно представить в виде табл. 46. Снижение каждой градации на 4 балла взято из рекомендаций И.И. Карманова, который предлагает для слабозасоленных почв снижать балл на 4, средnezасоленных – на 8, сильнозасоленных – на 12. Аналогичные поправки следует делать и по другим отрицательным свойствам.

Таблица 46

Баллы для снижения почвенно-экологических индексов ПЭи

Качество поливной воды		Глубина грунтовых вод		Минерализация грунтовых вод	
класс	балл	м	балл	г/дм ³	балл
I	0	> 3	0	< 1	0
II	4	2-3	4	1-6	4
III	8	1,5-2,0	8	6-10	8
IV	12	< 1,5	12	> 10	12

Целесообразнее сделать поправки на такие факторы, которые способствуют изменению ряда свойств почвы, вызывая ее деградацию. Например, южные черноземы Ростовской области, согласно почвенно-экологическим условиям, имеют ПЭи, равный 47 баллам, но при орошении уровни грунтовых вод стабилизировались на глубине 1,5-2,0 м, а минерализация их превысила 10 г/л. ПЭи южных черноземов на данный момент по фактическому состоянию составит 27 баллов (47-8-12).

Исходя из этих данных можно рассчитать коэффициент изменения экологических условий (Кэу) в виде отношения $\frac{ПЭи}{ПЭи_ф}$, в котором:

ПЭи – почвенно-экологический индекс, отражающий зональные условия;

ПЭи_ф – почвенно-экологический индекс фактический (претерпевший изменения в силу антропогенного воздействия, например орошения).

Для зоны орошаемых черноземов Кэу составляет более 1,5 ед., что свидетельствует о низкой эффективности использования орошаемых земель. На южных черноземах Кэу равен 1,7. Исходя из данных здесь в первую очередь следует понизить уровни грунтовых вод, а затем определить, какие работы следует провести по восстановлению плодородия земель. Для этого предусмотрен следующий этап работы, заключающийся в определении дополнительных показателей, характеризующих почвенное плодородие.

Усилиями ученых многих научных и производственных учреждений разработаны вопросы теории и методики бонитировки почв, составлены региональные бонитировочные шкалы по России, а также для отдельных областей и республик (табл. 47-49).

Таблица 47

**Бонитировка плакорных почв
Ростовской области**

Индекс	Почва	Бонитировочные баллы
Ч1	Черноземы типичные малогумусные сверхмощные (черноземы предкавказские промытые)	151-160
ЧП	Черноземы карбонатные малогумусные сверхмощные (черноземы предкавказские карбонатные)	141-150
Ч1	Черноземы типичные малогумусные сверхмощные (черноземы приазовские промытые)	131-140
Ч1к	Черноземы карбонатные малогумусные мощные (черноземы приазовские карбонатные)	121-130
Ч2	Черноземы обыкновенные среднегумусные среднеспособные на лессовидных породах	111-120
Ч2	Черноземы обыкновенные среднегумусные среднеспособные на глинах	101-110
Чю	Черноземы южные на лессовидных породах	91-100
К3	Темно-каштановые на лессовидных породах	71-80
К3	Темно-каштановые на глинах	61-70
К2	Каштановые	51-60
К1	Светло-каштановые	41-50
Сн	Солонцы глубокостолбчатые	31-40
Сн	Солонцы среднестолбчатые каштановой зоны	21-30

Индекс	Почва	Бонитировочные баллы
Сн	Солонцы среднестолбчатые корковые черноземной зоны	11-20
Сн	Солонцы среднестолбчатые корковые каштановой зоны	1-10
Ск	Солончаки, бугристые пески	0-1

Таблица 48

Бонитировка почв Нижнего Дона и Северного Кавказа

Балл	Ростовская область	Краснодарский край	Ставропольский край
160	–	Черноземы предкавказские выщелоченные	–
151-160	Черноземы предкавказские промытые		–
141-150	Черноземы предкавказские карбонатные		–
131-140	Черноземы североприазовские промытые	Черноземы предкавказские карбонатные	Черноземы предкавказские выщелоченные
121-130	Черноземы североприазовские карбонатные	–	Черноземы предкавказские карбонатные
111-120	Черноземы обыкновенные на лессовидных породах	–	–
101-110	Черноземы обыкновенные на глинах	–	Черноземы предкавказские каштановые
91-100	Черноземы южные на лессовидных породах	–	–
81-90	Черноземы южные на глинах	–	–
71-80	Темно-каштановые почвы на лессовидных породах	–	Темно-каштановые почвы на лессовидных породах
61-70	Темно-каштановые почвы на глинах	–	Темно-каштановые почвы на глинах
51-60	Темно-каштановые почвы на лессовидных породах	–	Каштановые почвы
41-50	Темно-каштановые почвы на глинах	–	Светло-каштановые почвы

**Предварительная бонитировочная (оценочная) шкала плакорных почв России
(по С.С. Соболеву и М.Н. Малышкину)**

Бонитировочные баллы	Северный Кавказ	Центрально-Черноземная полоса	Западная Сибирь и Казахстан	Восточная Сибирь	Нечерноземный центр	Дальний Восток
150-160	Черноземы выщелоченные	–	–	–	–	–
140-150	Лугово-черноземные почвы	–	–	–	–	–
130-140	Черноземы предкавказские	–	–	–	–	–
120-130	Черноземы предгорные	–	–	–	–	–
110-120	Черноземы карбонатные	–	–	Черноземы тучные оподзоленные	–	–
100-110	–	Темно-серые лесные почвы (черноземы оподзоленные)	Черноземы выщелоченные и оподзоленные (лесостепные)	Черноземы выщелоченные тучные, обыкновенные	–	–
90-100	–	Серые лесные почвы; черноземы тучные, мощные и обыкновенные	Темно-серые осолоделые почвы; лугово-черноземные выщелоченные почвы	Черноземы карбонатные; лугово-черноземные почвы	–	–
80-90	Черноземы южные (темно-каштановые почвы предгорий)	Черноземы южные	Черноземы выщелоченные (степные) среднегумусные	Черноземы обыкновенные слабосолонцеватые	(Дерново-карбонатные типичные и выщелоченные)	Луговая темноцветная мощная

70-80	Черноземы малогумусные на плотных породах	–	Черноземы выщелоченные тучные; лугово-черноземные; серые осолоделые		(Дерново-слабоподзолистые)	Луговая темноцветная среднемошная
60-70	Горно-каштановые и коричневые почвы	–	Черноземы карбонатные; черноземы обыкновенные	Черноземы выщелоченные	(Дерново-средне- и сильно-подзолистые)	Луговая темноцветная осолоделоподзоленная
50-60	–	–	Черноземы южные	Черноземы обыкновенные; черноземы южные	–	Бурая лесная
40-50	–	–	Темно-каштановые почвы	Черноземы солонцеватые	–	–
30-40	–	–	Каштановые почвы	Каштановые почвы	–	–
20-30	–	–	Солонцы среднестолбчатые каштановой зоны	Дерново-карбонатные, подстилаемые плотной породой на глубине 30 см; торфяно-болотные; завалуненные (более 10 м ³ /га валунов)		
10-20	–	–	Солонцы корковые черноземной зоны			
1-10	–	–	Солонцы корковые каштановой зоны			
0-1	–	–	Солончаки злостные. Бугристые и барханные пески. Малоразвитые почвы, подстилаемые плотной породой на глубине менее 30 см. Болотные почвы и торфяники			

Примечания. За 100 принята средняя многолетняя урожайность зерновых культур в России. При бонитировке на склонах, подверженных эрозии, и почв различного механического состава вводить поправочные коэффициенты в соответствии с дополнительными шкалами; в скобках с вопросительным знаком показаны почвы, для характеристики которых недостаточно достоверных урожайных данных или положение которых в таблице определено методом интерполяции.

Для расчетов укрупненных баллов бонитета почв следует пользоваться расчетными величинами суммарного показателя свойств почв для основных зональных почв (табл. 50).

Таблица 50

**Расчетная величина суммарного показателя
свойств почв для основных зональных
и других почв суглинистого гранулометрического состава**

Почва	Величина суммарного показателя	Почва	Величина суммарного показателя
Подзолы и подзолистые	0,67	Черноземы обыкновенные	0,96
Дерново-подзолистые	0,73	Южные	0,92
Бурые лесные	0,81	Лугово-черноземные лесостепи	0,92
Светло-серые лесные	0,78	Лугово-черноземные степной зоны	0,96
Серые лесные	0,81	Темно-каштановые	0,86
Темно-серые	0,86	Каштановые	0,81
Черноземы оподзоленные	0,92	Светло-каштановые	0,78
Выщелоченные	0,96	Лугово-каштановые	0,90
Типичные	1,0	Коричневые	0,85

Величины суммарного показателя свойств почв разработаны на основе анализа связей почвенно-климатических факторов с урожайностью сельскохозяйственных культур и обобщения материалов региональных почвенных исследований. Величина V, равная 1, соответствует 100 баллам (чернозем типичный).

Однако при бонитировке почв сложен учет таких свойств и показателей, которые влияют на эффективность использования земель, но фиксируются лишь качественно (степень оподзоленности, эрозии), а для орошаемых массивов – степень уплотнения, слитости, засоленности, солонцеватости, дегумификации и др. Эти свойства почв должны учитываться с помощью поправочных коэффициентов, некоторые из которых разработаны в масштабе страны и ими

можно пользоваться при окончательной установке балла бонитета почв. Например, установлены поправочные коэффициенты на степень смытости при водной эрозии (табл. 51), на гранулометрический состав почвы (табл. 52). Существуют поправочные коэффициенты на особенности территорий.

Таблица 51

Поправочные коэффициенты для почв, подверженных водной эрозии (по С.С. Соболеву)

Почва	Поправочный коэффициент на степень смытости		
	несмытые (мощность гумусового горизонта не уменьшена эрозией)	слабо-смытые	средне-смытые
Дерново-подзолистые, слабо- и среднекультуренные	1,0	0,5	0,2
Серые лесные почвы	1,0	0,5	0,3
Выщелоченные (тучные и мощные) черноземы	1,0	0,5	0,2
Обыкновенные черноземы	1,0	0,5	0,2
Южные черноземы	1,0	0,5	0,2
Каштановые почвы	1,0	0,6	0,3

Как показывает анализ, для солонцеватых (засоленных) почв поправочные коэффициенты составляют: для слабосолонцеватых (слабозасоленных) – 0,8-0,9, среднесолонцеватых (среднезасоленных) – 0,8-0,7, сильносолонцеватых (сильнозасоленных) – 0,7-0,6.

Из приведенного анализа видно: имеется множество поправочных коэффициентов, которые можно использовать к существующим зональным бонитировочным шкалам (табл. 53-55).

Поправочные коэффициенты на гранулометрический состав (по Н.А. Качинскому)

Зона, подзона и почва	Глинистый	Тяжелосуглинистый	Среднесуглинистый	Легкосуглинистый	Супесчаный	Песчаные мелкозернистые	Песчаные крупнозернистые
Подзолисто-глеевые	0,4	0,6	0,8	1,0	0,8	0,5	0,3
Собственно подзолистые	0,5	0,6	0,8	1,0	0,7	0,5	0,3
Дерново-подзолистые	0,6	0,7	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2
Серые лесные	0,8	1,0	0,9	0,7	0,6	0,4	0,2
Черноземы тучные мощные и обыкновенные	1,0	0,9	0,8	0,6	0,4	0,3	0,1
Черноземы южные, приазовские и предкавказские	0,9	1,0	0,8	0,7	0,5	0,3	0,1
Темно-каштановые	0,8	1,0	0,9	0,7	0,6	0,3	0,1
Каштановые и светло-каштановые	0,7	0,9	1,0	0,8	0,6	0,3	0,1
Бурые	0,7	0,8	1,0	0,7	0,5	0,2	0,1

Таблица 53

Поправочные коэффициенты (Кп) к водно-физическим свойствам мелиорируемых почв

Плотность сложения в пахотном слое т/м ³	Кп	Водопрочность*) в пахотном слое (0-30 см)	
		%	Кп
Свежевспаханная Впушена 1,0-1,1	1	Хорошая 40–75	1
Уплотнена 1,1-1,2	0,9-0,8	Удовлетворительная 40–20	0,9-0,8
Сильно уплотнена 1,2-1,4	0,8-0,7	Неудовлетворительная 20–10	0,8-0,7
Очень сильно уплотнена более 1,4	0,7-0,6	Отсутствует менее 10	0,7-0,6

* Водопрочность – сумма водопрочных агрегатов более 0,25 мм, % (метод Саввинова).

Таблица 54

Поправочные коэффициенты к физико-химическим свойствам

Засоление		Щелочность		Солонцеватость		Кислотность Нг		Насыщенность основаниями	
Степень	Кп	Степень	Кп	Степень	Кп	Степень	Кп	V	Кп
Незасоленные	1	Нещелочные	1	Несолонцеватые	1	Нейтральная	1	Высокая	1
Слабая	0,9-0,8	Слабощелочные	0,9-0,8	Слабая	0,9-0,8	Слабая	0,9-0,8	Средняя	0,9-0,8
Средняя	0,8-0,7	Среднещелочные	0,8-0,7	Средняя	0,8-0,7	Средняя	0,8-0,7	Низкая	0,8-0,7
Сильная	0,7-0,6	Сильнощелочные	0,7-0,6	Сильная	0,7-0,6	Сильная	0,7-0,6	Очень низкая	0,7-0,6

Таблица 55

Поправочные коэффициенты (Кп) к агрохимическим свойствам мелиорируемых почв и наличию загрязнителей

Гумус в минеральном профиле		Тип гумуса		Обеспеченность питательными элементами		Наличие загрязнителей	
%	Кп	$\frac{C_{г.к.}}{C_{ф.к.}}$	Кп	уровень	Кп	степень загрязнения	Кп
Высокое – более 6	1	Гуматный – более 2	1	Высокий	1	Ниже ПДК	1
Среднее 6-4	0,9-0,8	Фульватно-гуматный – 2-1	0,9-0,8	Средний	0,9-0,8	Выше ПДК до 2 загрязнителей	0,9-0,8
Низкое 4-2	0,8-0,7	Гуматно-фульватный – 1-0,5	0,8-0,7	Низкий	0,8-0,7	Выше ПДК на 2-4 загрязнителя	0,8-0,7
Очень низкое – менее 2	0,7-0,6	Фульватный – менее 0,5	0,7-0,6	Очень низкий	0,7-0,6	Выше ПДК не более 4 загрязнителей	0,7-0,6

Предлагается из множества поправочных коэффициентов брать не менее трех в случае если они приближены к 1 (0,8-0,9). Если поправки находятся в диапазоне 0,7-0,6, то зональный бонитет корректируется не более чем двумя поправками, причем лучше взять поправки на те показатели, которые в большей степени коррелируют с урожайностью сельскохозяйственных культур. Например, обыкновенный чернозем по запасам гумуса, согласно зональности, оценивается в 94 балла (табл. 56).

Таблица 56

**Шкала для определения предварительных баллов
бонитета почв Ростовской области**

Почва	A + B, см	Балл	Гумус, т/га	Балл
Предкавказские черноземы, мощные и сверхмощные	> 125	166	675	160
	120	160	650	153
	115	153	625	147
	110	146	600	141
	105	140	575	135
	100	133	550	130
	95	127	525	124
	90	120	500	118
	85	113	475	112
	80	107	450	106
Обыкновенные черноземы	75	100	425	100
	70	93	400	94
Южные черноземы	65	86	375	88
	60	80	350	82
	55	73	325	77
Темно-каштановые	50	66	300	71
	45	60	275	66
Каштановые почвы	40	53	250	59
	35	46	225	53
Светло-каштановые	30	40	200	47
	< 25	33	175	41
	–	–	150	35
	–	–	125	29

Но в результате орошения слабоминерализованной водой сульфатно-натриевого состава он стал среднесолонцеватым (поглощенного натрия около 10 %, $K_p = 0,8-0,9$), уплотнился до $1,33 \text{ т/м}^3$ ($K_p = 0,75$), водопрочность агрегатов – неудовлетворительной ($K_p = 0,75$), содержание гумуса – низкое ($K_p = 0,75$), тип гумуса – фульватно-гуматный ($K_p = 0,75$), обеспеченность питательными элементами – низкая ($K_p = 0,75$). При наличии такого количества поправок следует сделать только две – по $0,75$, в результате чего оценочный балл составит всего 53.

Коэффициент изменения свойств почв ($K_{\text{св.п.}}$) определяется отношением $\frac{B_z}{B_\phi}$ (где B_z – зональный бонитет почвы, B_ϕ – фактический бонитет почвы с учетом поправок) и будет равняться $\frac{94}{53} = 1,8$, т.е. свойства почв претерпели существенные изменения.

$K_{\text{св.п.}}$, составляющий более 1,5, свидетельствует о снижении агропроизводительной способности почв, поэтому следует направлять усилия на восстановление их плодородия. Эти данные необходимы при корректировке ПЭи и баллов бонитета почв, также по отдельным показателям можно судить о мелиоративном и экологическом состоянии орошаемых участков.

Если причины снижения агропроизводительной способности почв не раскрыты в результате изменения ПЭи и баллов бонитета почв под влиянием мелиоративных факторов, то необходимо провести полное обследование почвенного плодородия. Затем установить корреляционные зависимости между каждым показателем свойств почв и урожайностью сельскохозяйственных культур и выделить те показатели, которые имеют более тесную связь.

Данные многолетних исследований показывают, что даже при слабом засолении и осолонцевании, возникающих на орошаемых землях, наблюдаются угнетение растений и снижение урожая на 10-20% (табл. 57).

На слабо- и среднесолонцеватых почвах урожай снижается на 10-25%, на сильносолонцеватых почвах и солонцах – от 25% и более (табл. 58).

Таблица 57

**Оценка урожая сельскохозяйственных культур
при различной степени засоления по сравнению
с незасоленными почвами или проектной урожайностью**

Степень засоления	Состояние растений	Снижение урожая	
		%	ц/га
Незасоленные	Хороший рост и развитие растений	–	–
Слабозасоленные	Слабое угнетение	10-20	2-3
Среднезасоленные	Среднее угнетение	20-50	6-8
Сильнозасоленные	Сильное угнетение	50-80	10-13
Солончаки	Урожай практически отсутствует	–	–

Таблица 58

**Снижение урожая сельскохозяйственных культур
на солонцовых землях по сравнению с несолонцеватыми**

Степень солонцеватости	Обменный натрий, % от емкости	Содоустойчивость, мг-экв/100 г	Снижение урожая	
			%	ц/га
Несолонцеватые	Менее 5	Более 35	–	–
Слабосолонцеватые	5-10	20-35	10-15	1,5-2,0
Среднесолонцеватые	10-15	10-20	15-25	2,0-4,0
Сильносолонцеватые	15-20	Менее 10	25-50	4,0-6,0
Солонцы	Более 20	Менее 10	До 60	8,0 и более

Другим немаловажным показателем эффективности использования орошаемых земель является содержание недоокисленных токсичных веществ. Их наличие свидетельствует о периодическом переувлажнении и заболоченности массивов, что также способствует снижению урожайности сельскохозяйственных культур (табл. 59).

Таким образом, при освоении орошаемых массивов проблема контроля становится первостепенной. Разработанные природно-экологические показатели позволят оценить ситуацию и оперативно принять управленческие решения по повышению продуктивности земель.

**Связь между содержанием
недоокисленных токсичных веществ
и урожайностью сельскохозяйственных культур**

Категория почв	Недоокисленные вещества, окисляемые 0,1н. КМпО ₄ , мг-экв/100 г	Урожайность сельскохозяйственных культур
Не обладают токсичностью	Менее 50	Проектная урожайность гарантирована
Слабая токсичность	50-70	Снижение урожая до 15-20%
Сильная токсичность	Более 70	Снижение урожая до 30-50% и более

Интегральным показателем агропроизводительной способности орошаемых почв является урожайность возделываемых культур. Именно этот показатель отражает все отрицательные факторы как почвенные, так и климатические, и хозяйственные, влияющие на продуктивность земель.

При оценке агропроизводительной способности длительно орошаемых почв на районном и региональном уровнях фактическая урожайность сельскохозяйственных культур должна сравниваться с проектной величиной, которая определяется проектными организациями или региональными министерствами (управлениями) сельского хозяйства. Вместо проектной урожайности сельскохозяйственных культур можно принять максимальную, полученную в районе (области) за последние десять лет. Балл фактической урожайности определяется по формуле

$$Y_{ф(балл)} = \frac{Y_{ф}}{Y_{пр(max)}} 100, \quad (10)$$

где $Y_{ф(балл)}$ – балл фактической урожайности;
 $Y_{ф}$ – урожайность фактическая, ц/га, т/га, корм. ед/га, з. ед/га;
 $Y_{пр(max)}$ – урожайность проектная (максимальная), ц/га, т/га, корм. ед/га, з. ед/га.

Балл фактической урожайности, рассчитанный по формуле (10), показывает, насколько эффективностью использования оцениваемых земель соответствует эталону, принятому за 100 баллов.

В различных регионах России и некоторых странах СНГ применяются критерии балльной оценки по урожайности. Оценочная шкала эффективности использования мелиорированных земель представлена в табл. 60.

Таблица 60

Оценочная шкала эффективности использования мелиорированных земель по фактической урожайности в сравнении с проектной (максимальной)

Снижение урожая, %	Оценочный балл	Эффективность использования
Нет снижения урожая Проектная (максимальная) урожайность	100 и более	Очень высокая
0-10	100-90	Высокая
10-20	90-80	Выше средней
20-40	80-60	Средняя
40-70	60-30	Низкая
70 и более	10-30	Очень низкая

Для расчета фактического бонитета почв отбирались почвенные образцы по ключевым участкам. По результатам анализов этих образцов определены поправочные коэффициенты на негативные свойства почв, из которых в расчет берутся только две поправки. Поправочные коэффициенты на свойства почв берутся из табл. 51-55.

На основе предложенных подходов проведена комплексная оценка агропроизводительной способности длительно орошаемых почв по ключевым участкам различных типов (табл. 61).

Баллы бонитета исследуемых почв по зональности, разработанные И.И. Кармановым, взяты с учетом величины суммарного показателя свойств почв. Они свидетельствуют о снижении агропроизводительной способности по всем ключевым участкам. Так, балл бонитета серых лесных почв в условиях длительного орошения по сравнению с бонитетом зональным снизился на 28%.

Таблица 61

**Шкала комплексной оценки агропроизводительной способности длительно орошаемых почв
(по свойствам почв)**

Почва	Балл почв по зональности	Свойства почв после длительного орошения	Поправочные коэффициенты на свойства	Балл почвы с учетом поправочных коэффициентов	Снижение агропроизводительной способности, %	Коэффициент изменения свойств почв
Серые лесные (Рязанская область)	81	Водопрочность – 31 %	0,85	58	28	1,40
		Гидролитическая кислотность – 3,54 ммоль(экв)/100 г	0,85			
		Насыщенность основаниями – 53 %	0,85			
Черноземы типичные (Хохольский район Воронежской области)	100	Водопрочность – 38 %	0,85	64	36	1,56
		Плотность сложения почвы – 1,29 т/м ³	0,75			
		Гидролитическая кислотность – 3,2 ммоль(экв)/100 г	0,85			
Чернозем обыкновенный (Богучарский район Воронежской области)	96	Водопрочность – 35 %	0,85	61	37	1,57
		Плотность сложения почвы – 1,32 т/м ³	0,75			
		Гидролитическая кислотность – 2,0 ммоль(экв)/100 г	1,00			

Почва	Балл почв по зональности	Свойства почв после длительного орошения	Поправочные коэффициенты на свойства	Балл почвы с учетом поправочных коэффициентов	Снижение агропроизводительной способности, %	Коэффициент изменения свойств почв
Чернозем обыкновенный (Аксайский район Ростовской области)	94	Поглощенный Na – 6 %.	0,8-0,9	53	44	1,77
		Плотность сложения – 1,33 т/м ³	0,75			
		Водопрочность – 28 %	0,75			
		Гумус – 3,8 %	0,75			
		Обеспеченность питательными элементами – низкая	0,75			
Чернозем обыкновенный (Багаевский район Ростовской области)	110	Гумус – 3,7 %	0,8	66	40	1,67
		Водопрочность – 35 %	0,8			
		Плотность сложения – 1,25 т/м ³	0,75			
Чернозем обыкновенный (Неклиновский район Ростовской области)	100	Щелочность – 1,2 мг-экв/100 г	0,86			
		Поглощенный Na – 5 %	0,75			
		Плотность сложения – 1,20 т/м ³	0,75			
		Водопрочность – 20 %	0,80			
		Гумус – 3,6 %	0,80			

		Обеспеченность питательными элементами – низкая	0,75	60	40	1,66
Чернозем южный (Сальский район Ростовской области)	82	Щелочность – 1,33 мг-экв/100 г	0,85	43	48	1,91
		Поглощенный Na – 10 %	0,70			
		Гумус – 3,48	0,75			
Темно-каштановые (Саратовская область)	86	Водопрочность – 32 %	0,85	55	36	1,56
		Плотность сложения – 1,38 т/м ³	0,75			
Бурые полупустынные (Светлоярский район Волгоградской области)	78	Водопрочность – 33 %	0,85	40	49	1,95
		Гумус – 1,6 %	0,60			
		Плотность сложения – 1,30 т/м ³	0,85			

В наибольшей степени (40-49%) агропроизводительную способность теряют почвы, которые длительно орошались слабоминерализованными водами, а также обладающие природными неблагоприятными свойствами, например чернозем южный (к тому же он более 30 лет орошается водой плохого качества) и бурые полупустынные.

Наименьшее снижение агропроизводительной способности при длительном орошении наблюдается на темно-каштановых почвах, где поддерживались соответствующие условия (грунтовые воды – глубже 3 м, пресная поливная вода) и высокая культура земледелия.

Коэффициент изменения свойств почв (Ксв.п), рассчитанный по отношению балла зонального к баллу фактического бонитета почв, также указывает на потерю агропроизводительной способности длительно исследуемых орошаемых почв.

Ксв.п, составляющие более 1,5, свидетельствуют о неблагополучном состоянии почвенного покрова. Ксв.п получен на тех же орошаемых участках, где снизилась агропроизводительная способность почв.

Проведена также оценка агропроизводительной способности орошаемых почв на основе почвенно-экологических индексов с поправками на природные условия, оказывающие влияние на почвенное плодородие (табл. 62).

К мелиоративным условиям отнесены: качество поливной воды, характеризующееся классом, уровень и минерализация грунтовых вод.

Расчеты показали, что там, где для поливов использовалась вода II и III классов, а также на участках с близким залеганием минерализованных грунтовых вод агропроизводительная способность длительно орошаемых почв снизилась от 5 до 17%. Там, где рассматриваемые мелиоративные условия были благоприятными, не отмечено снижение их агропроизводственного потенциала.

Оценка агропроизводительной способности длительно орошаемых почв по баллу фактической урожайности представлена в табл. 63.

**Шкала оценки агропроизводительной способности почв
по ПЭи с поправкой на мелиоративные условия**

Почва	Балл по ПЭи	Мелиоративные условия	Поправочные коэффициенты	Балл ПЭи с учетом поправочных коэффициентов	Снижение агропроизводительной способности, %
Серые лесные (Рязанская область)	63	Поливная вода – I класс	0	63	0
		Глубина грунтовых вод – более 3 м	0		
		Минерализация грунтовых вод – менее 1 г/дм ³	0		
Черноземы типичные (Хохольский район Воронежской области)	75	Поливная вода – I класс	0	75	0
		Глубина грунтовых вод – более 3 м	0		
		Минерализация грунтовых вод – менее 1 г/дм ³	0		
Чернозем обыкновенный (Богучарский район Воронежской области)	90	Поливная вода – II класс	4	86	5
		Глубина грунтовых вод – более 3 м	0		
		Минерализация грунтовых вод – более 1 г/дм ³	0		
Чернозем обыкновенный (Аксацкий район Ростовской области)	95	Поливная вода – III класс	8	79	17
		Глубина грунтовых вод – 2-3 м	4		
		Минерализация грунтовых вод – 3-5 г/дм ³	4		
Чернозем обыкновенный (Багаевский район Ростовской области)	95	Поливная вода – I класс	0	83	13
		Глубина грунтовых вод – 1,5-2 м	8		
		Минерализация грунтовых вод – 4-6 г/дм ³	4		

Почва	Балл по ПЭи	Мелиоративные условия	Поправочные коэффициенты	Балл ПЭи с учетом поправочных коэффициентов	Снижение агропроизводительной способности, %
Чернозем обыкновенный (Неклиновский район Ростовской области)	95	Поливная вода – III класс	8	87	9
		Глубина грунтовых вод – более 3 м	0		
		Минерализация грунтовых вод – более 1 г/дм ³	0		
Чернозем южный (Сальский район Ростовской области)	47	Поливная вода – III класс	8	39	17
		Глубина грунтовых вод – более 3 м	0		
		Минерализация грунтовых вод – менее 1 г/дм ³	0		
Темно-каштановые (Саратовская область)	45	Поливная вода – I класс	0	45	0
		Глубина грунтовых вод – более 3 м	0		
		Минерализация грунтовых вод – менее 1 г/дм ³	0		
Бурые полупустынные (Светлоярский район Волгоградской области)	43	Поливная вода – I класс	0	43	0
		Глубина грунтовых вод – более 3 м	0		
		Минерализация грунтовых вод – менее 1 г/дм ³	0		

Балл фактической урожайности на длительно орошаемых почвах по стационарным участкам

Почва	Культура	Урожайность, т/га		Снижение урожайно- сти, %	Балл факти- ческой уро- жайности	
		макси- мальная	факти- ческая			
Чернозем обык- новенный, орошаемый пресной водой (Вагаявский рай- он Ростовской области)	Озимая пшеница	4,8	3,36	30	70	
	Ячмень	4,5	3,38	25	75	
	Людерна на сено	15,0	11,28	25	75	
	Кукуруза на зерно	10,0	5,28	53	53	
	Средний балл по фактической урожайно- сти					68
	Балл по свойствам почв					66
	Балл по ПЭи с поправками на мелiorативные условия					83
	Чернозем обык- новенный, орошаемый слабoминерали- зованной водой (Акса́йский рай- он Ростовской области)	Подсол- нечник	3,0	1,77	41	59
		Картофель	30,0	13,5	55	45
		Капуста	35,0	16,5	53	47
Средний балл по фактической урожайности					50	
Балл по свойствам почв					53	
Балл по ПЭи с поправками на мелiorативные условия					79	
Чернозем обыкновенный (Неглиновский район Ростовской области)		Озимая пшеница	4,8	3,02	37	63
		Капуста	3,0	1,47	51	49
		Картофель	30,0	20,7	31	69
		Кукуруза на зерно	10,0	5,34	47	53
	Средний балл по фактической урожайности					59
	Балл по свойствам почв					60
	Балл с поправками на мелiorативные ус- ловия					87

Почва	Культура	Урожайность, т/га		Снижение урожайности, %	Балл фактической урожайности	
		максимальная	фактическая			
Чернозем южный (Сальский район Ростовской области)	Озимая пшеница	3,0	1,58	48	52	
	Картофель	20,0	7,84	61	39	
	Ячмень	2,5	1,03	39	41	
	Кукуруза на зерно	8,0	4,2	47	53	
	Средний балл по фактической урожайности					46
	Балл по свойствам почв					43
	Балл по ПЭи с поправками на мелиоративные условия					39

Расчеты баллов по урожайности показали, что они зависят не только от почвенно-мелиоративных условий длительно орошаемых участков, но и от требований возделываемых культур к условиям произрастания. Значительное снижение урожая сельскохозяйственных культур наблюдается на участках, которые орошаются слабоминерализованными водами, и если почвы обладают природными неблагоприятными свойствами.

Сравнивая средний балл по фактической урожайности с баллами бонитета, рассчитанные по свойствам почв и по ПЭи с поправками на мелиоративное состояние, следует отметить лучшую сходимость при первых двух расчетах. Например, по участку (Багаевский район Ростовской области), который отличается близким залеганием минерализованных грунтовых вод, балл по фактической урожайности составил 68, по свойствам почв – 66, а по ПЭи – 83.

Аналогичная закономерность отмечена и по другим участкам, кроме участка (Сальский район Ростовской области), где наряду с негативными свойствами почв отмечается неблагоприятная мелиоративная обстановка при поливах слабоминерализованной водой сульфатно-натриевого состава.

Таким образом, проанализировав методы оценки агропроизводительной способности длительно орошаемых почв, следует отдать предпочтение комплексным оценкам – по свойствам почв и баллу фактической урожайности возделываемых культур.

3. ПРИЕМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

3.1. Снижение уровня грунтовых вод

Эффективность орошения определяется техническим состоянием оросительных систем, так как неудовлетворительное их состояние вызывает либо переполив, либо недополив сельскохозяйственных культур, что значительно замедляет развитие растений и ухудшает экологическое состояние орошаемых земель. Установлено, что КПД (коэффициент полезного действия) гидромелиоративных систем зависит как от КПД оросительной сети, так и КПД технологии полива сельскохозяйственных культур. В России и странах ближнего зарубежья еще бóльшая часть каналов различного уровня располагается в земляном русле. А там, где каналы и распределяющая оросительная сеть находятся в земляном русле, преобладают орошаемые массивы с близким залеганием грунтовых вод. Об этом свидетельствуют и данные, изложенные в докладе о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения, в частности, орошаемых. Площадь орошаемых земель в Российской Федерации составляет 4,69 млн га, из них в хорошем состоянии находятся 2,41 млн га, удовлетворительном – 1,40 млн, неудовлетворительном – 0,87 млн.

Из 0,87 млн га на площади 0,37 млн га наблюдаются недопустимое залегание уровня грунтовых вод, на 0,27 млн – засоление и на 0,23 млн га – зафиксированы оба неблагоприятных фактора.

Почти половина оросительных систем (2,26 млн га) нуждается в проведении капитальных работ для повышения их технического уровня, в том числе 2,1 млн га требуют реконструкции и технического перевооружения. Более 70% орошаемых земель, имеющих

неудовлетворительное мелиоративное состояние, находится в регионах Южного и Северо-Кавказского федеральных округов.

По данным Р.К. Бекбаева, при транспортировке воды по каналам в земляном русле от источника орошения до орошаемых земель около 43% её объема от водозабора теряется на фильтрацию, сброс, испарение, оказывающих влияние на эффективность реконструкции ирригационных систем. В магистральных каналах, по данным Ю.М. Косиченко, их ветвях, в межхозяйственных распределителях теряется около 30-35% воды, во внутривозделной сети – от 50 до 55, а во временных оросителях – до 10% общего объема потерь. При этом основная доля потерь оросительной воды приходится на фильтрацию, что приводит к подъему уровня залегания грунтовых вод.

Другим фактором, влияющим на уровень грунтовых вод, являются потери воды на ирригационных системах, где, в зависимости от технического состояния систем, применяемых технологий орошения, объемы потерь составляют 30-50% объема водоподдачи.

Пополнению грунтовых вод и их поднятию к поверхностным слоям способствуют несовершенные технологии орошения сельскохозяйственных культур. На необходимость применения водосберегающих и «водошадящих» технологий орошения земель указывали многие ученые: И.П. Айдаров, А.И. Голованов, И.П. Кружилин, В.Н. Щедрин и др.

Для сохранения плодородия длительно орошаемых почв в первую очередь необходимо создать условия, предотвращающие подъем грунтовых вод. Чтобы соблюсти эти условия, следует на орошаемых массивах определять допустимый или критический уровень залегания грунтовых вод, так как именно этот показатель является основным для установления экологического состояния агроландшафтов.

Уровень грунтовых вод, при котором начинаются угнетение и гибель растений, называется критическим. Хотя многими авторами он и представляется как критерий оценки эколого-мелиоративного состояния почв, но пока нет обоснованного суждения об этой величине.

В работе В.А. Седых и других критерием благополучного состояния почв и ландшафтов в степной зоне считается глубина до грунтовых вод 8-10 м. Следует отметить, что эти уровни больше соответствуют автоморфному почвообразованию. При автоморфно-

гидроморфном режиме, свойственном для орошаемых и пойменных земель, эта глубина до грунтовых вод на разных почвах должна составлять 3-4 м. По данным Д.М. Каца, высота капиллярного поднятия составляет для суглинков тяжелых 0,7 м, суглинков легких – 0,5, супесей – 0,3-0,2, песка мелкого глинистого – 0,15, мелкого чистого – 0,1, для глинистых грунтов – 0,9-1,5 м.

В результате систематизации наиболее признана классификация Д.М. Каца и Н.И. Парфеновой, в которой для черноземной и каштановой зон представлена критическая глубина УГВ с учетом ее минерализации и химического состава. Если рассматривать УГВ как критерий экологической оценки почв, то можно пользоваться показателем «превышение УГВ», % от критического. Используя данный термин, можно отметить, что при превышении УГВ на 50% от критического наступает экологическое бедствие почв и агроландшафтов, а при 25-50 % их состояние оценивается как чрезвычайная экологическая ситуация.

Считается, что при залегании грунтовых вод глубже 3-4 м их режим является нейтральным, не влияющим на развитие растений, и оценивается как критический при глубине грунтовых вод ближе 0,5-1,0 м от поверхности. При УГВ от 0,5 (1,0) м до 3,0 (4,0) м их режим можно оценить как оптимальный (нейтральный), если они пресные или слабоминерализованные. При повышенной минерализации даже на этих глубинах, в зависимости от растений, они будут действовать негативно.

Почвенно-грунтовые воды могут влиять на процессы заболачивания, оглеения, солонцеватости, выноса и привноса растворимых продуктов почвообразования, поднятия и опускания солей при колебании УГВ и капиллярной каймы. Чем выше минерализация и уровень грунтовых вод, тем ближе к поверхности обнаруживаются соли, тем выше их содержание и щелочность. Установлено, что содержание обменного натрия в почвенном поглощающем комплексе может зависеть и от глубины залегания уровня грунтовых вод.

Вышеперечисленные процессы приводят к формированию почв с разными свойствами. Особую опасность представляют открытые грунтовые воды: над зеркалом таких вод расположены водоупорные грунты, т.е. водоупорная кровля отсутствует. Выше их залега-

ют капиллярная кайма и пояс аэрации. На рассматриваемый режим открытых грунтовых вод влияют сильные сезонные колебания, связанные с режимом атмосферных осадков, техническим состоянием оросительной сети, технологией полива и др. Отмечено, что подъем грунтовых вод к поверхности влияет на их критический уровень, который определяется высотой капиллярного поднятия, зависящей от гранулометрического состава почв.

Критическая глубина грунтовых вод устанавливается по разности глубины залегания грунтовых вод и верхней границы капиллярного подъема хлоридов, сульфатов, карбонатов, т.е. суммы водорастворимых солей. Большую высоту капиллярного поднятия имеет мелкозернистый (глинистый) грунт, так как он обладает меньшими порами. Поскольку поднятие уровня грунтовых вод к поверхности определяется гранулометрическим составом почв, почвообразующих пород, можно, зная этот состав, прогнозировать их динамику.

Не допустить подъема грунтовых вод выше критических величин или снизить их уровень возможно:

- при наличии закрытой оросительной сети;
- создании эффективно действующей коллекторно-дренажной сети в местах, где этого требуют гидрогеологические и почвенно-мелиоративные условия;
- применении биологического дренажа;
- соблюдении непромывного режима орошения и недопущении переполивов при возделывании сельскохозяйственных культур.

■ 3.1.1. *Закрытая оросительная сеть*

Каналы и ороситель должны быть представлены трубопроводами из монолитного бетона, лотками и плитами с тщательно заделанными швами. В последние годы появились новые материалы для снижения фильтрации из каналов.

В первую очередь к ним следует отнести геосинтетические материалы: геомембраны, геотекстилы, геокомпозиты, георешетки, геосетки, бентоматы, габионы, которые в различных сочетаниях позволяют создать противofильтрационные конструкции и способы их

укладки, практически обеспечивающие повышение КПД каналов до 0,97-0,98.

Критерием для оценки и выбора противofильтрационных мероприятий служит слой воды, теряемый из канала через смоченный периметр в течение суток. Если из канала теряется слой воды более 30 см, то необходимо проведение противofильтрационных мероприятий, если 5-10 см – то канал работает удовлетворительно. При этом каналы или отдельные отрезки, имеющие слабофильтрующие группы, устойчивые к размыву и оползням, могут строиться «без одежды».

Распределительная сеть (проводящая) также должна быть из трубопроводов, которые прокладываются на глубине 0,6-1,2 м. Помимо полного отсутствия потерь на фильтрацию, такая оросительная сеть позволяет автоматизировать распределение воды по орошаемой площади, повысить коэффициент земельного использования, не мешать работе сельскохозяйственных машин.

Регулирующая сеть в закрытых оросительных системах также представлена подземными участковыми трубопроводами, переносными поливными шлангами (с водовыпусками в каждую поливную борозду) или разборными трубопроводами с гидрантами для забора воды дождевальными и другими поливными машинами.

Трубопроводы могут быть цементными, железобетонными, полимерными, стальными, металлобетонными, чугунными.

Таким образом, создание «эталонной» оросительной системы – это:

- противofильтрационные покрытия на каналах с применением современных материалов, позволяющих повысить КПД до 0,99;
- полное отсутствие технологических сбросов оросительной воды;
- полная автоматизация учета водоподачи и водораспределения;
- применение современной автоматизированной дождевальной техники с учетом поддержания оптимальной влажности почвы;
- внедрение дистанционного управления мелиоративными системами (Глонасс и др.);
- автоматизированное регулирование уровня грунтовых вод системами дренажа.

■ 3.1.2. Коллекторно-дренажная сеть

Коллекторно-дренажная сеть – часть оросительной системы, которая поддерживает необходимый уровень грунтовых вод, создает нисходящие токи в почве, перехватывает напорный (восходящий) поток грунтовых вод и отводит их с орошаемых земель.

Отвод грунтовых вод дренажем с орошаемых земель необходим, когда их уровень на участке, подлежащем орошению, изначально стоит высоко, вызывая заболачивание и засоление земель, в случае ожидания их подъема с началом орошения или когда грунтовые воды на участке поднимаются в результате орошения соседних участков.

Дренажи различаются продолжительностью действия, расположением на территории, конструкцией (типом).

По продолжительности действия различают дренажи постоянный и временный: постоянный проектируется на весь срок эксплуатации системы на среднегодовую интенсивность отвода подземных вод в год расчетной обеспеченности орошения.

В период освоения засоленных земель в течение одного-трех лет, когда проводятся капитальные промывки, дополнительно к постоянному дренажу требуется временный для ускорения отвода промывных вод.

В зависимости от вида дополнительного питания грунтовых вод расположение дренажа на орошаемой территории может быть разным, в связи с чем его разделяют на систематический и ограждающий.

Систематический дренаж строят на территориях, где подъем грунтовых вод вызван фильтрацией оросительных и поверхностных вод, располагается он равномерно по орошаемой территории.

Ограждающий дренаж служит для перехвата притока воды, поступающей по водоносному пласту с соседних земель. При наличии обоих видов питания грунтовых вод сочетают оба вида дренажа.

Существуют три типа дренажа: горизонтальный, вертикальный и комбинированный. Горизонтальный и вертикальный дренажи могут сочетаться и дополняться биологическим.

Система *горизонтального дренажа* состоит из дрен и коллекторов с гидротехническими сооружениями, предназначенными для искусственного отвода избыточных грунтовых вод за пределы орошаемой территории.

Параметры горизонтального дренажа (глубина, междренное расстояние, ширина по дну, величина заложения откосов, диаметр труб) зависят от гидрогеологических условий, фактической глубины и минерализации грунтовых вод, водно-физических свойств почвогрунта в зоне аэрации.

Глубокий дренаж (2,5-3,5 м) по сравнению с мелким (1-2 м) более эффективен, открытый горизонтальный дренаж – более простой. Глубина открытого канала изменяется в пределах 2,5-3,5 м и должна быть больше критической глубины грунтовых вод.

Недостатки открытой коллекторно-дренажной сети:

- каналы зарастают сорняками, их откосы оползают, глубина уменьшается;
- эксплуатационные расходы по содержанию каналов в рабочем состоянии составляют от 2 до 8 % строительной стоимости;
- большие трудности для работы сельскохозяйственной техники.

Для устранения этих недостатков строят закрытый горизонтальный дренаж. При его устройстве закладываются на определенной глубине и расстоянии гончарные, пластмассовые, асбестоцементные и другие трубы.

Междренные расстояния зависят от гранулометрического состава грунтов и коэффициента фильтрации.

Оросительные системы на юге России расположены в долинах степных рек, которые представлены наклонными равнинными террасами с осложненными водотоками. На них располагаются черноземы, сложенные суглинками, мощностью свыше 10 м с уровнем залегания грунтовых вод на глубине 3-5 м, реже 5-10 м, и минерализацией 1-3 и 3-5 г/дм³. Для таких условий были рассчитаны параметры дренажа с учетом закрытой оросительной сети. Для тяжелых суглинков с коэффициентом фильтрации (Кф) 0,3-0,4 м/сут, мощностью 6-8 м, подстилаемых глинами с Кф 0,05 м/сут до глубины 30-50 м, глубина заложения дрен должна составлять 3,0-3,5 м при междренном расстоянии 200-300 м.

Междренные расстояния 300-500 м рекомендованы для тяжелых суглинков с Кф 0,3 м/сут мощностью 20 м, подстилаемых песками с Кф 1,1 м/сут до глубины 25 м.

Для тяжелых суглинков с Кф 0,4 м/сут мощностью 15 м, подстилаемых песками с Кф 0,9 м/сут до глубины 20 м, рекомендуются междренные расстояния 500-600 м, а для суглинков средних Кф – 0,6 м/сут мощностью 15 м, подстилаемых песками с Кф 0,65 м/сут, – более 800 м.

В сложных гидрогеологических условиях вдоль открытых каналов устанавливаются через 100-400 м вертикальные скважины – усилители из асбестоцементных труб \varnothing 0,7-1,0 м, глубиной 20-150 м, входящих в водоносный пласт. Скважины закрепляются обсадными трубами с отверстиями.

Вода, поступающая в открытые дренажи, быстро уходит через эти скважины в водоносный песчаный пласт. Скважины оборудуют глубинными насосами, которые откачивают подземные воды и имеют гидравлическую связь с грунтовыми водами. При снижении напорности подземных вод происходит опускание грунтовых вод. В таких условиях между дренажами можно увеличивать расстояние в 1,2-1,4 раза.

Вертикальный дренаж по сравнению с горизонтальным имеет ряд следующих преимуществ:

- не теряется полезная орошаемая площадь (при горизонтальном дренаже она составляет 6-10%);
- обеспечивает понижение грунтовых вод на значительно большую глубину и с большей скоростью, чем горизонтальный;
- не происходит периодический подъем грунтовых вод, что способствует сохранению автоморфного процесса почвообразования;
- более совершенен, полностью механизирован, а его эксплуатация автотехнизирована.

В зависимости от фильтрационных свойств водоносной толщи, глубины скважины и дебита откачки одна скважина может понизить уровень грунтовых вод на расстоянии 200-1000 м.

Вертикальный дренаж применяют на массивах, где отсутствуют сплошные водоупорные прослойки, при наличии мощных крупнозернистых водоносных слоев и напорных грунтовых вод. Удельный

дебит на 1 м глубины откачки колеблется от 5 до 30 л/с. Скважины с малым удельным дебитом неэффективны.

Комбинированный дренаж – система горизонтальных (открытых или закрытых) дрен с вертикальными скважинами. Его применяют, когда один из дренажей не может обеспечить требуемый перехват подземных вод. Если горизонтальная дрена располагается в слабопроницаемых отложениях и работа ее неэффективна, то также применяют комбинированный дренаж.

Ограждающий дренаж в виде горизонтальной дрены размещают по границе притока грунтовых вод по линии наименьшей их глубины, врезаясь в водоносный пласт не менее чем на 0,5-1 м для получения достаточного перехватывающего действия. Глубина такой дрены составляет 5-6 м. Ее строительство очень сложное и дорогостоящее.

На орошаемых землях можно применять лучевой дренаж, представляющий собой шахтный колодец большого диаметра с горизонтальными лучами-дренами. Вода из колодца откачивается насосами. Данный вид дренажа применяется на участках, где покровные слабопроницаемые грунты имеют мощность более 5 м, а подстилающий водоносный пласт – малую мощность и водопроницаемость. В таких условиях использование других типов дренажа малоэффективно.

Лучевой дренаж экономически целесообразен при обслуживании одним колодцем 100-400 га и более, заменяя 10-20 скважин вертикального дренажа.

Вода, собираемая дренами любого типа, поступает в открытые коллекторы, реже – в трубчатые и отводится самотеком в естественные понижения, водотоки, водоемы. Сброс дренажных вод – нерешенная проблема в орошаемом земледелии.

■ 3.1.3. Биологический дренаж

Для устранения негативных почвенных процессов, возникающих при длительном орошении и невозможности проведения соответствующих мелиоративных мероприятий, применяется биологический дренаж (биодренаж).

Биодренаж – естественный растительный покров, состоящий из древесных пород и сельскохозяйственных культур, обладающих вы-

сокой транспирационной способностью и глубокой корневой системой (3-4 м). Они поглощают большое количество влаги, что способствует понижению уровня грунтовых вод.

Древесные растения, такие как ива и тополь, используются для насаждений вдоль межхозяйственных и внутрихозяйственных оросительных каналов. Они перехватывают корнями фильтрационные и грунтовые воды и расходуют их на транспирацию. Одно дерево ивы или тополя за вегетационный период расходует до 20-100 м³ воды.

В качестве биодренажа вместо лесонасаждений можно использовать плодовые насаждения (абрикос, вишня, черешня), которые ежегодно могут приносить дополнительный доход.

Роль биологического дренажа могут выполнять не только лесные и плодовые насаждения, но и сельскохозяйственные культуры: прежде всего люцерна, клевер, травосмеси, озимые зерновые и другие с мощной корневой системой.

В зависимости от возраста, глубины залегания грунтовых вод, гранулометрического состава почвы, густоты посева люцерны за вегетационный период потребляет 4-20 тыс. м³/га воды, при этом доля грунтовых вод – до 78%. Озимая пшеница, по данным В.И. Бобченко, забирает из второго метрового слоя более 1000 м³/га, а из третьего – около 600 м³/га. Люцерна может забирать влагу и с глубины 5 м. Такими же свойствами обладают донник, подсолнечник, кукуруза, сорго-суданковый гибрид.

Высокий эффект в понижении уровня грунтовых вод получается при совместном использовании лесонасаждений и сельскохозяйственных культур. Лесные культуры, потребляя фильтрующую поливную воду на продуктивное испарение, одновременно расходуют ее по всей корнеобитаемой толще без капиллярного поднятия к поверхности и без фильтрации ее в грунты зоны аэрации. Влага увлажняемого слоя, не превышающая влажности наименьшей влагоемкости, расходуется сельскохозяйственными культурами.

3.2. Почвенные мелиорации, устраняющие негативные процессы

Длительное орошение может привести к возникновению негативных почвенных процессов – осолонцеванию, дегумификации, денитрификации, ощелачиванию, засолению, уплотнению почв и др. По этой причине наблюдается все большее распространение таких измененных почв, не дающих высоких урожаев, и требуется проведение комплекса работ по воздействию на эти почвы для улучшения их свойств и продуктивности.

■ 3.2.1. Мелиоративные обработки

Одними из звеньев в комплексе мероприятий по мелиорации являются глубокие мелиоративные вспашки, включающие в себя мелиоративные обработки и глубокие рыхления. На солонцовых почвах апробированы следующие способы глубокой обработки: плантаж, безотвальное рыхление, вспашка с оборотом пласта с доуглублением, чизелевание, щелевание, кротование, трехъярусная обработка.

Глубокие вспашки выполняются сплошную, а кротование или щелевание, рыхление – сплошную или полосами. Обработка способом щелевания проводится непосредственно перед поливом или промывкой для более быстрого и глубокого увлажнения. Если на солонцах и засоленных почвах необходима подача мелиорантов в мелиорируемый слой, залегающий глубже 20-30 см, то применяется способ кротования.

Выбор способа обработки и орудия зависит в основном от генетических особенностей почв. Если они имеют мощный гумусовый горизонт, то применяют глубокую полосную обработку (плантаж) и другие приемы, обеспечивающие перемешивание горизонтов. На почвах с незначительной мощностью перегнойно-аккумулятивного слоя наиболее эффективно щелевание, кротование, почвоуглубление, обработка чизелем.

Глубокие обработки способствуют увеличению общей порозности, улучшению водного и воздушного режимов почвы, созданию условий для прохождения мелиоративного процесса. Мелиоративные

обработки применяются на почвах, где выявлено близкое залегание к поверхности (выше 40 см) природных солей кальция (карбонаты и гипс). Это способ улучшения солонцовых почв, в 0-40-сантиметровом слое которых имеются существенные естественные запасы (15-60 т/га) карбонатов кальция или гипса. В процессе проведения мелиоративных обработок (плантажной или ярусной) соли кальция вовлекаются в пахотный слой, и происходит химическая самомелиорация солонцовых почв.

Ярусная вспашка предусмотрена на глубоких и средних солонцах, при обработке которых можно сохранить плодородный гумусовый горизонт на поверхности. При этом солонцовый горизонт измельчается и перемешивается с подсолонцовым карбонатным или гипсоносным горизонтом В₂ и ВС.

Плантажную вспашку применяют на старопахотных, в основном на корковых и мелких солонцах, на которых в результате орошения и ранее проводимых обработок солонцовый и надсолонцовый горизонт перемешаны и 0-40-(0-50)-сантиметровый слой находится в неудовлетворительном состоянии. Отмечена эффективность проведения плантажной вспашки при наличии более 2% гипса в слое 0-40 см.

Не рекомендуется проводить плантажную вспашку на почвах с сильной степенью засоления. Данный вид обработки способствует мобилизации внутрипочвенных запасов солей кальция, обеспечивает хорошее крошение солонцового горизонта и создание однородного пахотного слоя.

Высокий эффект гипса установлен на солонцах нейтрального типа засоления. При сульфатном засолении активность обменных процессов снижается, а при содовом – самомелиорация нецелесообразна.

В зависимости от количества кальциевых солей, необходимых для вовлечения в пахотный слой с целью устранения обменного натрия, устанавливается глубина мелиоративных обработок. На солонцовых комплексах, где преобладают солонцы с глубоким залеганием карбонатов кальция или гипса либо при их отсутствии, рыхление проводят на такую глубину, чтобы разрыхлить весь уплотненный горизонт (45-50 см). Используются плуги с почвоуглубителями,

плоскорезы-глубококорыхлители, ярусные плуги со снятыми отвалами и промежуточными корпусами. Мелиоративные вспашки проводятся при достижении почвой влажности, соответствующей физической спелости (60-65% НВ).

Глубокое рыхление предусмотрено на обыкновенных и южных черноземах, темно-каштановых, луговых, лугово-каштановых и лугово-черноземных почвах и солонцах, обладающих различной степенью засоления и имеющих слитой горизонт мощностью 0,2-0,4 м и более, плотность сложения в слое 0,6 м более 1,45 т/м³ у малогумусных и 1,30 т/м³ у высокогумусных почв, глинистых частиц – более 50%, коэффициент фильтрации – 0,1 м/сут и менее.

Отмечено положительное влияние глубокого рыхления на показатели орошаемых солонцовых почв. Такой вид мелиоративной обработки южных черноземов, лугово-каштановых, светло-каштановых почв в комплексе с солончаковатыми, солончаковыми и глубоколончаковатыми солонцами значительно улучшает водно-физические свойства. Так, плотность сложения почвы в слое 0-60 см уменьшилась на 6,3%, наименьшая влагоемкость возросла на 2,24%, но отмечается, что проведение только такой обработки не повлияло на снижение солонцеватости.

Глубокое рыхление целесообразно проводить одновременно с предпосевными или весенними обработками при возделывании риса, многолетних трав и культур позднего сева на тяжелых глинистых почвах. Осенние обработки рекомендуются на почвах, требующих дополнительных агроприемов – химической мелиорации, промывок.

Для получения максимального эффекта от мелиоративной вспашки необходимо проводить ее качественно в соответствии с мелиоративными требованиями по глубине обработки, степени сохранения на поверхности надсолонцового горизонта и выноса на поверхность солонцового и карбонатного горизонтов, степени крошения обрабатываемого слоя и степени перемешивания карбонатного и солонцового горизонтов. На орошаемых землях рекомендуется применять их в комплексе с другими мероприятиями, направленными на восстановление плодородия орошаемых почв.

■ 3.2.2. Химическая мелиорация

Химическая мелиорация нацелена на коренное улучшение мало- и неплодородных земель, которые на территории России занимают большие площади. На юге страны проводится орошение, устраняются солонцеватость, щелочность и засоление почв. На севере, наоборот, осушаются переувлажненные земли и ведется борьба с вредной кислотностью почв.

Осолонцевание – процесс накопления поглощенного натрия в поглощающем комплексе почвы. Обычно природные солонцы встречаются в комплексе с зональными почвами – бурыми, черноземами, каштановыми, образуя пятна различных размеров. Около 20% солонцовых почв природного происхождения находятся в зоне черноземов, а основные их площади – в зонах каштановых и бурых полупустынных почв. Другая категория солонцовых почв возникла на плодородных черноземах и каштановых почвах в результате поливов слабоминерализованными водами сульфатно-натриевого состава. На солонцовых почвах также развиваются процессы ошелачивания, дегумификации, переуплотнения, которые можно устранить, используя химический способ мелиорации. При этом солонцовые почвы формируются с различным типом засоления: нейтральным, содовым и смешанным. Следует отметить, что при увеличении в ППК доли магния свойства почв еще более ухудшаются так же, как и натрия играет существенную роль в формировании солонцовых свойств. Кроме этого, в результате обменной реакции между поглощенным натрием и бикарбонатом кальция или угольной кислотой в почвенном растворе образуются углекислые соли натрия, которые, обладая гидролитической щелочностью, создают повышенную щелочность раствора. Это требует дифференцированного подхода к освоению солонцовых почв.

В зависимости от величины солонцеватости почвы подразделяются на следующие группы (см. прил. Д.6):

по химизму (типу) засоления:

- на содовые и содово-сульфатные (щелочные) лугового и лугово-степного типов, встречающиеся в основном в черноземной зоне;
- хлоридно-сульфатные и сульфатно-хлоридные (нейтральные), распространенные в зоне каштановых и бурых почв.

На солонцовых почвах нейтрального засоления главным способом их улучшения является гипсование, т.е. внесение в качестве мелиорирующего средства гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Данный прием устраняет щелочную реакцию солонцовых почв, а замена поглощенных магния и натрия кальцием сопровождается коагуляцией почвенных коллоидов, поэтому почва приобретает прочную комковатую структуру, улучшаются ее физические свойства, водопроницаемость и аэрация. Под влиянием гипсования оптимизируются не только физические, но и физико-химические и биологические свойства, повышается их плодородие. Они становятся пригодными для возделывания даже весьма требовательных культур. Для гипсования используется в основном глиногипс, сыромолотый гипс, фосфогипс.

Глиногипс – 70-90% гипса, до 11% карбоната кальция, примеси магния, натрия, калия, ряд микроэлементов: медь, марганец. Особенно эффективен на орошении. Положительное действие – пять-шесть лет.

Фосфогипс – крупнотоннажный отход производства двойного суперфосфата и преципитата. Очень тонкий порошок серого или белого цвета, содержащий 75-85% гипса, 0,5-0,6 – фосфорной кислоты, 5-6% глины, воду. Подсушивают и гранулируют в заводских условиях, чтобы обеспечить не более 15 % свободной влаги. Хорошо растворяется из-за наличия в нем кислоты.

Сыромолотый гипс получают путем размола природных залежей, 71-73% гипса, плохо растворяется в воде. Важна тоника размола. Согласно стандарту, все частицы гипса должны проходить через сито с отверстиями \varnothing 1 мм и не менее 70-80% – через сито с отверстиями \varnothing 0,25 мм. Влажность молотого гипса не должна превышать 8%, иначе он слеживается при хранении, превращается в глыбы и комки.

В почвах содового засоления растворимость кальциевых солей сильно понижена из-за щелочной реакции почвенного раствора, поэтому применение кальцийсодержащих мелиорантов на них малоэффективно. Наиболее часто для мелиорации таких почв используют отработанные серную кислоту и электролит травления стали. При кисловании содовых солонцеватых почв происходит нейтрализация

щелочности, карбонаты переходят в сульфаты и бикарбонаты кальция и магния. Образующийся тонкодисперсный гипс вытесняет обменный натрий из ППК, заменяя его кальцием.

Электролит травления стали – жидкий отход, получаемый после травления металлов смесью растворов серной и соляной кислот: серной кислоты – 5,4%, соляной – 0,41, железа – 0,8-1,0%. Такие отходы имеются на всех заводах, занимающихся травлением металлов, в частности, на Новочеркасском электровозостроительном заводе (НЭВЗ).

Отработанная серная кислота – отход нефтеперерабатывающих заводов. Содержит 84-86% серной кислоты и примеси нефти, которая необходима для подкисления компостов.

В качестве химических средств при мелиорации солонцовых почв можно использовать терриконовую породу (отход угледобывающей промышленности) и местные минеральные залежи – гипс, глиногипс, известняк, глаукониты, бентониты.

Наиболее часто применяемым мелиорантом является кальцийсодержащий фосфогипс: он не теряет первоначальную сыпучесть при увлажнении, замерзании и оттаивании, что позволяет складировать его в поле без укрытия.

Данный мелиорант по мелиорирующему действию близок к гипсу, но имеет кислую реакцию – рН 2,5-3,0. Наличие в нем кислот определяет его лучшую растворимость, чем гипса. При воздействии с почвенным поглощающим комплексом (ППК) кальций, содержащийся в фосфогипсе, вытесняет поглощенный натрий, который в виде сульфата натрия вымывается нисходящими токами воды. Следует отметить, что при использовании фосфогипса на солонцовых почвах выявлено не только его положительное влияние на урожайность культур вследствие улучшения качества почв и как фосфорного удобрения.

Исследования по применению фосфогипса в качестве мелиоранта для солонцов проведены в Ростовской области, Краснодарском и Ставропольском краях, Поволжье, Сибири, Казахстане, Алтае, на Украине и др.

Учеными РосНИИПМ отмечен эффект от химической мелиорации фосфогипсом уже на следующий год после внесения мели-

оранта. Отмечены положительные изменения водно-физических свойств: исчезает почвенная корка, улучшаются фильтрация и структура почв. При внесении расчетной дозы фосфогипса на мало- и средненатриевые солонцы их солонцеватость в первые два-три года снижается на 60-80%, засоление – в 1,5-2 раза, нормализуется щелочность в верхнем 40-60-сантиметровом слое, в 1,5-2 раза повышается содержание подвижных фосфатов в зависимости от дозы фосфогипса, внесенной в почву. Большое количество гипса и водорастворимого фосфора, поступающее с фосфогипсом, стабилизирует не только кальциевый режим, но и улучшает гумусное состояние мелиорируемой почвы. Уже в первые годы после внесения мелиоранта прибавка ячменя составляет 5-7 ц/га, а зеленой массы кукурузы, сорго и кормосмесей – до 80-150 ц/га.

При внесении фосфогипса отмечено улучшение качественных показателей гумуса солонцов до состояния, близкого уровню зональных почв. Это выражается в переходе типа гумуса из фульватно-гуматного в гуматный. Повышение в 1,5-4 раза урожая сельскохозяйственных культур способствовало увеличению содержания гумуса в почве в среднем за три года на 0,2-0,4%. Сочетание фосфогипса и навоза и их совместное внесение на орошаемые земли предотвращают процессы осолонцевания и ощелачивания почв.

Установлено положительное влияние такого сочетания на свойства орошаемых черноземов (южных), обладающих природной солонцеватостью. Сочетание 10 т/га Ф + 20 т/га Н и 5 т/га Ф + 40 т/га Н считается лучшим вследствие более активного внедрения кальция в ППК (на 31-33%) выше от контроля. При этом вытесняются не только натрий, но и магний, отмечаются накопление гуминовых кислот и уменьшение количества фульвокислот в составе гумуса.

Эффективность внесения фосфогипса доказана и при мелиорации лугово-степных солонцов в комплексе с южными черноземами. При внесении 10 т/га Ф + 20 т/га навоза наблюдалось снижение солонцеватости более чем в 2 раза, щелочности – до рН = 6,0, повышение содоустойчивости до 44 мг-экв/100 г только в слое 0-20 см и частично в слое 0-30 см. Глубже положительного действия мелиоранта не выявлено.

Исследования по влиянию химической мелиорации для устранения осолонцевания и ощелачивания обыкновенных черноземов в результате орошения более десяти лет водой с минерализацией 1,5-1,9 г/дм³ сульфатно-натриевого состава показали, что внесение гипса и фосфогипса – действенный способ восстановления их плодородия. Но более эффективным является внесение именно фосфогипса, вероятно, в силу способности резко изменять реакцию почвенного раствора.

Выявлен существенный эффект от применения фосфогипса при устранении солонцеватости почв при поливе минерализованными водами. При орошении водой с повышенным содержанием натрия и наличием свободного углерода CO₂ периодическое внесение небольших доз (до 5 т/га) фосфогипса позволит предупредить осолонцевание почв, что доказано исследованиями, проведенными на Багаевско-Садковской ОС Ростовской области.

На темно-каштановых почвах внесение фосфогипса способствовало улучшению структуры почвенного покрова. Отмечены положительные результаты его мелиорирующего воздействия на свойства луговых солонцов.

В лесостепной зоне Западной Сибири многонатриевые корковые солонцы также улучшают фосфогипсом. Однако исследования указывают на эффективность повторного гипсования уменьшенными дозами.

В условиях южного Казахстана, где в почвах протекают процессы магниевого осолонцевания и ощелачивания, фосфогипс является также наиболее эффективным и доступным мелиорантом. Внесение его в почву нормой 5-7 т/га позволяет не только снизить магний в ППК, но и повысить запасы подвижных форм фосфора в корнеобитаемом слое.

Солонцеватые почвы и почвы солонцовых комплексов относятся к малогумусным, поэтому целесообразным является внесение органического вещества (навоз крупного рогатого скота, птичий помет, сидераты, солома, растительные остатки и др.). Но при высокой щелочности почв органические удобрения (обладающие щелочной реакцией среды) вносятся только после ее снижения или в виде компостов. Компосты готовят путем перемешивания в определенном соот-

ношении кальцийсодержащего вещества и органического удобрения непосредственно в поле.

Для химической мелиорации в качестве альтернативных мелиорантов предлагаются удобрительно-мелиорирующие смеси и органико-минеральные компосты, приготовленные из отходов промышленности, сельского хозяйства, местных минеральных залежей – материалы, содержащие мелиорирующую и удобрительную основу. Наиболее эффективны смеси из терриконовой породы и электролита травления стали (отработанная серная кислота), из электролита травления стали и опилок; компосты из навоза крупного рогатого скота или птичьего помета и фосфогипса; компосты из навоза (птичий помет) и терриконовой породы, а также из навоза (птичий помет) и глауконита. Компосты, содержащие фосфогипс, в большей степени способствовали оптимизации физических свойств деградированного чернозема, чем глауконитосодержащие. Компосты с глауконитом также разуплотнили почву, улучшили её структуру и аэрацию к третьему году последствия как более медленнодействующие мелиоранты, но в меньшей степени, чем фосфогипсодержащие компосты.

Основным способом мелиорации содово-засоленных почв (щелочных) является кислование. Использование серной кислоты в качестве мелиоранта на содовых солонцах позволяет несколько снизить щелочность почвенного раствора, ускорить вытеснение обменного натрия из ППК, обеспечить переход труднорастворимых соединений в более доступные для растений – подвижные, а также улучшить физические свойства почвы в результате коагуляции гидрофильных коллоидов и уменьшения дисперсности почвы. Для форсирования процесса мелиорации необходимо проведение промывок на фоне дренажа для обеспечения оттока солей, образующихся в результате взаимодействия серной кислоты в почве. Рекомендуется применять не концентрированную, а отработанную серную кислоту (ОСК) – отход металлургической, нефтеперерабатывающей и некоторых видов химической промышленности.

Исследования, проводимые в РосНИИПМ в Ростовской области по кислованию почв, показали эффективность этого метода мелиорации на карбонатных солончаковых безгипсовых и глубокогипсовых

солонцах, подверженных в процессе рассоления (при орошении) ощелачиванию и вторичному осолонцеванию, а также нейтральных солонцах. Мелиорирование разбавленной серной кислотой (3-15%-ный раствор) или кислыми отходами промышленности способствовало быстрой мелиорации таких почв без разрушения минеральной части почвы и потерь гумуса.

Эффективность серной кислоты (84-88%) доказана для мелиорации содовых солонцов на Украине. Сравнительный анализ её действия (6 т/га) и фосфогипса (10 т/га) показал, что в рассматриваемых условиях воздействие серной кислоты в большей степени улучшило физико-химические свойства и способствовало увеличению урожайности культур, чем внесение фосфогипса. Так, урожайность зеленой массы кукурузы при использовании фосфогипса составляла 152 ц/га, серной кислоты – 409 ц/га, на контроле – 77 ц/га, а зеленой массы проса на второй год после внесения мелиорантов 240, 335 и 137 ц/га соответственно. Затраты на кислование солонцов окупаются дополнительной продукцией уже в первый год возделывания сельскохозяйственных культур.

Сравнение действия серной кислоты и гипса в эквивалентных нормах (соответственно 16 и 32 т/га) в многолетних опытах Омского сельскохозяйственного института на черноземных корковых многонариевых солонцах содового типа засоления показало более быстрое улучшение свойств почв, повышение водопроницаемости, снижение содержания солей именно при внесении кислоты. Но через пять-шесть лет отмечается последствие на этих вариантах – вторичное осолонцевание, что не выявлено при гипсовании и на восьмом году опыта. Положительные результаты были получены от внесения 16 т/га гипса (половина нормы) вместе с 8 т/га кислоты.

На содовых солонцах-солончаках Араратской равнины установлена возможность использования концентрированной серной кислоты в качестве мелиоранта, но при дифференцированном внесении в пределах чека из-за пестроты гранулометрического состава, химического состава растворимых солей и обменных катионов, последующих промывок. Это дает возможность равномерно мелиорировать чек, экономить расход мелиоранта, улучшить

свойства почвы – уменьшить щелочность и снизить содержание водорастворимого и обменного натрия до оптимальных параметров.

Альтернативой ОСК по мелиоративному воздействию на солонцовые почвы может служить применение сернокислого железа (железный купорос – $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). Данный мелиорант хорошо растворим в воде, вносится в почву весной или летом с последующей промывкой осенью. Но следует отметить, что внесение сернокислого железа в отличие от ОСК, снижает доступность подвижного фосфора из-за его химической фиксации. Данный мелиорант может также негативно повлиять на содержание подвижных форм гумуса в солонцовых почвах.

Для кислования почв выявлена эффективность применения разбавленной азотной кислоты. В полевых опытах Волгоградской сельскохозяйственной опытной станции на малонатриевых солонцах светло-каштановой подзоны использовали 4%-ный раствор азотной кислоты, приготовленный из 56%-ной технической кислоты. При внесении азотной кислоты отмечено снижение содержания обменного натрия в почве (в 2,5 раза), увеличение количества водпрочных агрегатов, повышение урожая. В среднем за четыре года прибавка урожая зерна составляла 2,1 ц/га, годовой экономический эффект – 14,7 руб/га.

В Ростовской области при мелиорации в условиях орошения карбонатных солонцов нейтрального типа засоления рекомендуют применять разбавленную азотную кислоту (3-15%-ные растворы). Испытания её на солонцах Казахстана показали близкую к гипсу мелиоративную эффективность.

Почвы при наличии ионов водорода в почвенном растворе и обменных ионов водорода и алюминия в почвенном поглощающем комплексе относятся к кислым. Распространены в нечерноземной зоне. По группировке почвы подразделяются на очень сильнокислые, сильнокислые, средне-, слабокислые и нейтральные. При наличии в почве марганца, железа, меди и цинка она будет кислой, а при наличии серы, молибдена, кальция и калия – щелочной. С каждым урожаем из почвы выносятся кальций, калий и магний, что делает ее кислее.

В кислой почве наблюдается кальциевое голодание, что сказывается на развитии растений. Кроме того, в растениях нарушаются процессы обмена с накоплением таких соединений, как нитриты, простые углеводы, органические кислоты вместо завершенных – белков, жиров, крахмала. В таких почвах ухудшается растворимость ряда микроэлементов, а главное – подавляется жизнедеятельность полезных микроорганизмов.

Цель химической мелиорации кислых почв – уменьшить в корнеобитаемом слое содержание водорода и алюминия. В качестве химических средств нейтрализации кислотности рекомендуются следующие мелиоранты: молотый известняк (известковая мука), доломитовая мука, известняковый туф, сланцевая или торфяная зола и др.

При известковании необходимо учитывать особенности возделываемых культур в севообороте.

Эффективность известкования зависит от степени кислотности почвы, особенностей возделывания культур, нормы и видов применяемых удобрений. По величине обменной кислотности pH_{KCl} определяют потребность почвы в известковании. При $pH < 4,5$ потребность в известковании сильная, при $pH 4,6-5,0$ – средняя, при $pH 5,1-5,5$ – слабая, более $pH 5,5$ – отсутствует [90].

Более точным способом нуждаемость почв в известковании устанавливается при учете степени насыщенности их основаниями. Если этот показатель составляет 50% и ниже – нуждаемость в известковании сильная, 50-70 – средняя, 70 и выше – слабая, более 80% – почва в известковании не нуждается.

Если для известкования применяют известковые удобрения, содержащие не $CaCO_3$, а $MgCO_3$ или $Ca(OH)_2$, то вычисленную норму известки умножают на коэффициент 0,84 для $MgCO_3$; 0,74 – для $Ca(OH)_2$ и 0,56 – для CaO [173]. Однако следует учитывать, что полная норма не для всех растений и не на всех почвах является оптимальной. На средне- и тяжелосуглинистых дерново-подзолистых почвах для ржи, озимой и яровой пшеницы, ячменя, овса, кукурузы, сахарной, кормовой и столовой свеклы, клевера, люцерны, зернобобовых, капусты, лука она равна полной норме, рассчитанной по H_T (гидролитической кислотности).

На малобуферных легких почвах норму извести необходимо снижать на 25-30% по сравнению с полной. Оптимальная норма для льна, подсолнечника, томата, картофеля, люпина, сераделлы – 1/2-2/3 полной нормы.

Норму извести также можно определить по величине рН с учетом гранулометрического состава. Полные нормы вносят сразу или в несколько приемов. При внесении за один прием достигается более быстрая и полная нейтрализация кислотности всего пахотного слоя на длительный срок.

Рекомендуется учитывать, что известь влияет на растворимость некоторых других веществ, например, калия и микроэлементов, поэтому на скудных почвах необходимо при известковании вносить микроэлементы: бор, марганец, серу, молибден, что влияет не только на повышение урожая сельскохозяйственных культур, но и их устойчивость против различных заболеваний.

В севооборотах с овощами и кормовыми культурами применяют все виды известковых удобрений. Вносятся они полной нормой за один прием. В овощных севооборотах известь вносят под капусту или корнеплоды, а в севооборотах с зерновыми и зернокармливыми необходимо учитывать наиболее чувствительные к кислотности растения и известковать сначала именно те поля, на которых планируется выращивание этих культур.

Выявлено негативное отношение льна и картофеля на известкование высокими нормами. Но при достаточном внесении органических и минеральных удобрений с повышенной нормой калия известкование полными нормами можно проводить и в севооборотах со льном и картофелем.

Современные подходы к известкованию кислых почв предполагают дифференцированное внесение известковых мелиорантов (например сыромолотая доломитовая мука с тониной помола менее 5 мм) с использованием машин, рассеиватели которых имеют возможность работать по системе точного земледелия с электронными картами полей, позволяющими учитывать пестроту почвенной кислотности.

■ 3.2.3. Комплексная мелиорация

Почвы в течение длительного орошения в той или иной мере изменяются и составляют сложные комплексы с зональными почвами. Поэтому их необходимо осваивать, воздействуя одновременно на все неблагоприятные свойства. Наиболее эффективным при этом является комплексная мелиорация, т.е. сочетание химической мелиорации и мелиоративных обработок.

Данный метод необходимо использовать на высокомагниево-сульфатно-хлоридных, хлоридно-сульфатных и сульфатных солонцах, у которых запасы гипса в слое 0-40 см недостаточны для вытеснения обменного натрия из солонцового горизонта, а также при мелиорации безгипсовых и глубокогипсовых солонцов с использованием запасов карбонатов кальция почвы. Внесение химических мелиорантов в сочетании с мелиоративной обработкой способствует изменению реакции почвенной среды ближе к нейтральной, что положительно влияет на растворимость карбонатов. В этих условиях посредством орошения из почвы выносятся нейтральные соли, включая вторичные, и значительная часть щелочных продуктов обменных реакций. Выбор следует остановить на применении кислых мелиорантов. Такие процессы на фоне мелиоративных обработок, разрушающих плотный солонцовый горизонт, способствуют повышению плодородия солонцов.

В Ростовской области комплексный метод мелиорации был применен в опытах, проведенных на южных террасовых черноземах в комплексе с солонцами (более 50% территории на Пролетарской рисовой оросительной системе). Внесение глиногипса в сочетании с навозом и проведение трехъярусных вспашек способствовало быстрому (уже через два года) полному рассолонцеванию верхнего слоя, уменьшению содержания обменного магния на 15-17% в слое 0-40 см, соответственному увеличению кальция. Органическое удобрение в виде навоза усилило мелиорирующий эффект глиногипса и после двух лет проведения исследований количество натрия в слое 0-40 см снизилось на 62-67% от суммы обменных оснований

по сравнению с исходным состоянием. Применение сочетаний фосфогипса с навозом на фоне глубокого рыхления на этих же почвах еще более улучшило почвенные показатели: в первый год освоения мелиорируемые почвы приобрели нейтральную реакцию, снизилась щелочность, ППК обогатился кальцием и уже на четвертый год последствий комплексной мелиорации признаков восстановления негативных процессов не обнаруживалось.

Комплекс с южными черноземами составляли лугово-степные солонцы, которые осваивались с применением трехъярусной обработки и внесением сочетаний навоза с фосфогипсом. В результате произошло снижение плотности сложения почвы до уровня свежеспаханной, коэффициент дисперсности сократился более чем в 2 раза. Отмечено существенное снижение солонцеватости (с 20-24% от ППК до 8-9), внесение органики способствовало восполнению потерь гумуса, которые происходят из-за длительного орошения и непосредственно в процессе мелиоративной обработки. Результаты исследований на солонцах черноземных в Ростовской области показали, что при комплексном применении мелиоративных приемов (глубокая мелиоративная обработка и химическая мелиорация с использованием фосфогипса в дозе не менее 10 т/га) наблюдается коренное улучшение физических свойств исследуемых солонцов: плотность сложения почвы снижается до уровня свежеспаханной (1,15-1,16 т/м³), а коэффициент дисперсности – более чем в 2 раза, что свидетельствует о глубоких качественных изменениях в структуре солонца.

Установлено положительное влияние на содержание гумуса в солонце черноземном и степень его гумусированности совместного внесения 10 т/га Ф + 20 т/га Н и 10 т/га Ф + 40 т/га Н с последующим проведением мелиоративной вспашки плужно-фрезерным орудием. Содержание гумуса за четыре года воздействия комплексной мелиорации увеличилось соответственно на 39 и 38 %, а по степени гумусированности почвы из степени «меньше минимального значения» перешли в степень «слабогумусированные почвы», что подтверждает трансформацию органического вещества в лучшую сторону.

Комплексная мелиорация позволяет увеличить мелиорируемый слой земель, деградировавших в результате поливов водой плохого качества, с 35-40 до 50-55 см. Результаты полевых исследований на основе опытов показали, что глубокое рыхление на фоне сочетаний мелиорантов с навозом в большей степени способствовало улучшению физических, химических и агрохимических свойств обыкновенных черноземов, чем химическая мелиорация.

Комплексный подход к мелиорации солонцов подтвердил свою высокую эффективность во многих регионах России. Исследованиями Почвенного института имени В.В. Докучаева для орошаемых условий доказана необходимость создания однородного по площади пахотного слоя солонцовых почв, которое достигается комплексом приемов: планировкой полей с сохранением гумусового слоя путем буртования, мелиоративной вспашкой (ярусная или плантажная), химической мелиорацией, внесением повышенных норм минеральных и органических удобрений, сидерацией полей.

Кроме того, некоторые ученые считают, что комплексная мелиорация является эффективным средством устранения последствий несовершенства плугов для плантажной и трехъярусной обработок из-за выноса на поверхность части материала солонцового горизонта. Для предотвращения появления почвенной корки и улучшения развития растений мелиоративную обработку целесообразно сочетать с последующим внесением небольших норм гипса. Её можно проводить в комплексе с другими мелиорантами, органо-минеральными компостами и смесями.

Таким образом, предложенные способы мелиорации для устранения негативных процессов, возникающих в длительно орошаемых почвах, следует применять дифференцированно в зависимости от показателей свойств почв (табл. 64).

Схема выбора приемов по показателям почвенного плодородия орошаемых земель

Условие освоения почвы	Почва	Показатели плодородия пахотного слоя (0-40 см)						Первоочередной прием по воспроизводству почвенного плодородия
		обменный Na, % от Σ	щелочность $\text{HCO}_3^- - \text{Ca} + \text{Na}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, мг-экв/100 г	плотность, т/м ³	водопрочность, %	гумус, %	Сг.к:Сф.к.	
Зона обыкновенных (предкавказских) черноземов. Надпойменная терраса р. Дон. Сумма температур более 10°C – 3000-3200°C. Годовая сумма осадков 420-500 мм. ГТК – 0,65-0,75. Багаевско-Садковская ОС. Минерализация поливной воды – 0,4-0,5 г/дм ³ , гидрокарбонатно-кальциевая. Орошение более 30 лет. Кормовые или зерно-кормовые севообороты	Черноземы обыкновенные (предкавказские), мощные и среднемошные, мицеллярно-карбонатные, глубокогипсовые, тяжело- и средне-суглинистые	1-5	> 0,7	1,3-1,35	30-40	3,2-3,5	2-1	Химическая мелиорация с расчетом доз мелиорантов по порогу коагуляции. Мелиоранты – лучше органоминеральные компосты или удобрительно-мелиорирующие смеси (один раз в четыре-пять лет). Дозы компостов и смесей 20–40 т/га, дозы мелиорантов – 10-15 т/га гипса, фосфогипса – 5-7 т/га. Внесение 40-60 т/га навоза-сырца, глубокая вспашка или глубокое рыхление (один раз в три-четыре года) с посевом многолетних трав. Соблюдение севооборотов с насыщением их до 35-40% многолетних трав. Применение сидеральных удобрений (яровой рапс, донник белый, амарант, горчица). Проведение обычной вспашки, ежегодно меняя ее глубину на 5-7 см.

Условие освоения почвы	Почва	Показатели плодородия пахотного слоя (0-40 см)						Первоочередной прием по воспроизводству почвенного плодородия
		обменный Na, % от Σ	щелочность $\text{HCO}_3^- - \text{Ca} + \text{Na}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, мг-экв/100 г	плотность, т/м ³	водопрочность, %	гумус, %	С.кк. : С.ф.к.-	
								Запахивание измельченной соломы или внесение компоста из измельченной соломы с добавлением азота, фосфора; применение органоминеральной системы удобрений. Расчет минеральных удобрений проводить на запланированный урожай с учетом запасов питательных веществ в почве. Соблюдение поливных режимов. Допускается снижение норм до 20%
Зона обыкновенных (североприазовских) черноземов. Североприазовская эрозийно-аккумулятивная наклонная равнина. Сумма температур более 10°C – 3200-3400°C. Годовая сумма осадков – 420-500 мм.	Черноземы обыкновенные (североприазовские), мощные и среднемошные, глыбокарбонатные, глубокогипсовые, солонцеватые, тяжело- и среднесуглинистые,	6-10	0,7-1,6	1,30-1,40	10-20	3,0-3,2	1-0,5	Химическая мелиорация с расчетом доз мелиорантов по содержанию Na в ППК и щелочности. Мелиоранты – фосфогипс, органоминеральные компосты и удобрительно-мелиорирующие смеси. Дозы фосфогипса – 10-20 т/га, компостов и смесей – 20-40 т/га (один раз в четыре-пять лет). Глубокая вспашка или рыление (один раз в три-четыре года) с посевом многолетних трав.

ГТК – 0,7-0,8. Миусская ОС. Минерализация поливной воды – 1,4-1,8 г/дм ³ сульфатно-натриевого состава. Орошение более 20 лет. Кормовые и зерно-кормовые севообороты	мало- и среднегумусные							Приемы по поддержанию почвенного плодородия такие же, как и в предкавказских черноземах
Зона южных черноземов. Надпойменная терраса р. Дон. Полузасушливая зона, коэффициент увлажнения 0,33-0,44. Сумма температур более 10°С – 3000-3200°С	Южные черноземы, средне- и маломощные, малогумусные, глубококарбонатные, глубокогипсовые, тяжело- и среднесуглинистые, мало- и среднегумусные	5-10	> 0,7	1,30-1,32	20-30	2,8-3,0	1-0,5	Химическая мелиорация. Поскольку южные черноземы располагаются в комплексе с солонцами, то при содержании их более 25% сначала мелиорируют солонцы дозами, рассчитанными по содержанию натрия в ППК и щелочности за вычетом доз мелиорантов для черноземов, а затем в целом комплексный массив дозой для черноземов. При содержании в комплексе солонцов менее 25% мелиорируют весь массив. Для этого отдельно рассчитывают дозу для солонцов и черноземов берут общую дозу с учетом соотношения почвенных разностей в комплексном покрове
Годовая сумма осадков – 372-408 мм. ГТК – 0,60-0,70. Нижнедонская ОС. Минерализация поливной воды – 0,5-0,6 г/дм ³ , гидрокарбонатно-кальциевая.	Солонцы полугидроморфные – лугово-степные, хлоридно-сульфатные, солончатые, высоко- и глубококарбонатные,	15-25	0,7-1,6	1,35-1,40	10-20	1,8-2,2	1-0,5	Мелиоранты – глиногипс, фосфогипс, органические компосты. Дозы – от 10 т/га фосфогипса до 40 т/га компостов. Периодичность проведения химической мелиорации – пять-шесть лет. Для разуплотнения через год провести глубокое рыхление, повторив его через три-четыре года.

Условие освоения почвы	Почва	Показатели плодородия пахотного слоя (0-40 см)						Первоочередной прием по воспроизводству почвенного плодородия
		обменный Na, % от Σ	щелочность $\text{HCO}_3^- - \text{Ca} + \text{Na}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, мг-экв/100 г	плотность, т/м ³	водопрочность, %	гумус, %	С _{г.к.} :С _{ф.к.}	
Орошение более 30 лет. Кормовые, зерно-кормовые севообороты	глубокогипсовые, малогумусные							При наличии высококарбонатных солонцов после химической мелиорации целесообразно провести мелиоративную вспашку. В дальнейшем осуществлять все общепринятые приемы по поддержанию почвенного плодородия. Строгое соблюдение поливов расчетной нормой, допуская ее снижение до 20%
Зона каштановых почв. Пойменная терраса р. Сал. Очень засушливая зона, коэффициент увлажнения 0,3-0,4. Сумма температур более 10°C – 3400-3500°C. Годовая сумма осадков – 320-400 мм. ГТК – 0,55-0,65	Каштановые, хлоридно-сульфатные или сульфатные, глубоко- или высококарбонатные, глубокогипсовые, среднесуглинистые, малогумусные	3-5	7	1,30-1,35	30-40	2,0-2,2	1-0,5	Каштановые почвы, как и южные черноземы, расположены в комплексе с солонцами, поэтому химическая мелиорация проводится теми же методами и мелиорантами. Но учитывая, что солонцы каштановой зоны имеют карбонатные горизонты в верхней части профиля, их можно мелиорировать, подавая отработанную серную кислоту непосредственно в карбонатный слой.

								В результате химической мелиорации появляется вновь образованный гипс, который посредством вспашки перемешивается с солонцовым горизонтом и мелиорируется
Верхне-Сальская ОС. Минерализация поливной воды 0,4-0,5 г/дм ³ , гидрокарбонатнокальциевая. Орошение более 20 лет. Кормовые и зерно-кормовые севообороты	Солонцы степные, хлоридно-сульфатные или сульфатные, глубоко- и высококарбонатные, глубокогипсовые, среднесуглинистые, малогумусные	10-15	0,7-1,6	1,35-1,40	10-20	1,8-2,0	1,0-0,5	Особое внимание на этих землях следует уделять борьбе с уплотнением путем проведения периодически глубокого рыхления и обогащения почв органическим веществом. К перечисленным выше мероприятиям в этой зоне целесообразно добавить внесение органоминеральных компостов, приготовленных на основе овечьего навоза и кальцийсодержащих мелиорантов (гипс, глиногипс, фосфогипс) в отношении от 1:1 до 3:1. Мероприятия по поддержанию почвенного плодородия такие же, как и в зоне южных черноземов

■ 3.2.4. Фитомелиорация

Одним из способов повышения плодородия солонцов и солонцеватых почв является фитомелиорация. В качестве фитомелиорантов высеваются солонце- и солеустойчивые культуры, позволяющие не только получить урожай, но и повысить плодородие почв.

В силу своих физиологических особенностей, растения по-разному реагируют на наличие солей, щелочность, кислотность, плотность, влажность и другие свойства почв и погодные условия. Культуры-фитомелиоранты отличаются повышенной устойчивостью к неблагоприятным факторам среды.

Некоторые растения способны поглощать NaCl из засоленных почв и тем самым улучшать их режим. Например, выращивание амаранта в течение двух-трех лет на засоленных почвах в результате орошения способствовало их восстановлению и возможности возделывания пшеницы. В табл. 65 представлены культуры, обладающие различной соле- и солонцеустойчивостью.

Таблица 65

Соле- и солонцеустойчивость сельскохозяйственных культур

Культура	Солонцеустойчивость	Солеустойчивость
Донник белый и желтый	Сильная	Сильная
Пырей бескорневищный и сизый	--	Средняя
Волоснец сибирский	--	--
Свекла столовая и сахарная	--	Сильная
Райграс	-	--
Баклажан	-	Сильная – средняя
Горчица	Сильная	Сильная
Ячмень	--	Средняя
Подсолнечник	Средняя	Сильная
Овес	--	Средняя
Просо, могар	--	--
Люцерна	--	--
Озимая рожь	-	--

Культура	Солонцеустойчивость	Солеустойчивость
Томат	–	–//–
Капуста	–	–//–
Пшеница	Слабая	–//–
Суданская трава	Средняя	Слабая – сильная
Эспарцет	Слабая	Слабая
Кукуруза	–//–	–//–
Горох	–//–	–//–
Огурец	–//–	–//–
Лук, картофель	–	–//–
Фасоль	Слабая	–//–
Сорго сахарное и веничное	–//–	Слабая – сильная

Растения, обладающие слабой солеустойчивостью, при содержании водорастворимых солей в слое 0-50 см до 0,2% не снижают урожайности. При увеличении солей до 0,30% теряется до 25% урожая, а при 0,50% – половина.

Для среднесолеустойчивых культур засоление до 0,3% не оказывает существенного влияния на урожайность, при 0,6% – теряется до 25% урожая, а при 0,9% – половина.

Сильносолеустойчивые культуры практически не реагируют на засоление почв до 0,4%, при 0,5%-ном содержании солей теряется до 25% урожая, а при 1,2% – половина. Эти параметры можно использовать для почв с нейтральным засолением, при содовом и смешанном засолении они еще ниже.

Негативное действие солей проявляется в период прорастания семян и на ранних стадиях развития растений. В этот период особое значение имеет создание благоприятных условий для растений с использованием дополнительных приемов (поливы, посевы под покров).

Изменения степени соле- и солонцеустойчивости растений значительно зависит не только от культуры, но и от сортов и уровня агротехники. Высокий агрофон способствует повышению устойчивости растений к неблагоприятным условиям.

Сидераты, а именно, горчица, люцерна, пшеница, ячмень, способны связывать и удалять солевые примеси. Во время их роста

корневые выделения частично деминерализуют почву, а некоторые вредные соли они используют для роста надземной массы, с которой и удаляются с поля. После сидератов на месте перегнивших корней остается сеть подземных канальцев, по которым соли вымываются в глубокие слои почвы. Чтобы препятствовать засолению, следует на орошаемых землях включать их в севооборот и выращивать без полива, эффективны также для рассоления почв донник и волоснец.

Перспективными растениями, применяемыми в качестве биомелиорантов, являются галофиты: сведа дуголистная и заостренная, лебеда серая, климакоптера мясистая, марь белая, бассия иссополистная, солерос, кохия веничная, солодка голая и уральская, полынь солончаковая. Рассоляющий эффект галофитов заключается в следующем: в метровом слое сильнозасоленных среднесуглинистых почв полупустынь содержится 48 т/га солей. При фитомассе надземной части 18-20 т/га галофиты выносят из почвы 8-10 т/га солей в год. Поскольку они затеняют почву, препятствуя подтягиванию солей, эффект такой зеленой мульчи составляет 2,5 т/га солей. В целом, процесс выноса солей из почвы достигает 10,5-12,5 т/га в год, или 22-26% ежегодно от общих запасов солей в метровом слое.

При подборе культур-фитомелиорантов и их возделывании следует выполнить ряд условий:

- на засоленных почвах влажность в корнеобитаемом слое поддерживать на 5-10% выше, чем на незасоленных;
- семенной материал получать с засоленных и солонцовых почв;
- основные и дополнительные мероприятия должны способствовать снижению засоления, солонцеватости и плотности почв;
- с целью снижения подтягивания солей в корнеобитаемый слой при испарении дневная поверхность засоленных почв должна быть максимально затенена;
- при отсутствии растительного покрова верхний слой почвы должен поддерживаться в рыхлом состоянии;
- для более длительного прикрытия поверхности почвы растениями в севооборот следует включать озимые, поукосные или пожнивные культуры;
- соблюдать высокую агротехнику и своевременно выполнять все агроприемы.

С учетом сельскохозяйственной специализации севооборотов и биологических особенностей культур-фитомелиорантов для орошаемых земель рекомендуются следующие культуры:

- для кормовых и зерновых севооборотов – озимые пшеница и рожь, ячмень, сорго-суданковый гибрид, подсолнечник, люцерна синегибридная, суданская трава, донник белый и желтый на сенаж или зеленый корм;
- для рисовых севооборотов – рис, люцерна синегибридная, гречиха, ячмень, донник белый или желтый как сидерат.

3.3. Почвозащитные мероприятия для борьбы с ирригационной эрозией

При несоблюдении технологии орошения длительно орошаемых земель могут ухудшаться показатели почвенных процессов, в том числе изменение водно-физических, воздушных, тепловых, питательных, фитосанитарных свойств почвы, что снижает плодородие почвы и урожайность сельскохозяйственных культур, усиливает ирригационную эрозию.

По морфологическим признакам эрозионных форм различают поверхностную эрозию, или смыв почвы; линейную эрозию, или размыв почвы. Граница перехода поверхностной эрозии в линейную считается, если следы эрозии на поле исчезают в результате обычной обработки почвы – это поверхностная эрозия, если нет – линейная.

С количественной стороны эрозию почв характеризуют интенсивностью смыва, выражаемой в т/га в год либо мощностью утраченного слоя почвы в единицу времени (мм/год). В этих же единицах измеряют и скорость почвообразования. О степени опасности эрозии можно судить, сопоставив интенсивность смыва почвы со скоростью почвообразовательного процесса. Если интенсивность эрозии меньше скорости почвообразования, то такую эрозию принято считать нормальной. Если интенсивность потерь почвы больше скорости почвообразования, то ее считают ускоренной.

Ирригационная эрозия почвы на орошаемых землях проявляется в процессе орошения сельскохозяйственных культур в основном

при поверхностных способах полива (по бороздам, полосам) и в меньшей степени – при дождевании и поливе системами капельного орошения. Основными факторами, вызывающими эрозию почвы, являются:

- при поливе дождеванием:
 - интенсивность дождя, размер и скорость падения капель;
 - водопроницаемость почвы (показатели в первый час полива);
 - противоэрозионная стойкость почвы к размыву;
 - агробиоценозы и проективное покрытие почвы растениями;
 - уклоны поверхности;
- при поверхностных поливах (по бороздам):
 - расход воды в борозду;
 - форма и величина уклона;
 - водопроницаемость;
 - длина поливного участка;
 - устойчивость почвы к размыву.

Ирригационная эрозия накладывается на естественную, что значительно увеличивает интенсивность потерь верхнего наиболее плодородного слоя почвы. Как и другие виды эрозии, ирригационная во многом зависит от сочетания ряда антропогенных и природных факторов, определяющими среди которых являются несоответствие между техникой и способом полива с одной стороны, и наличием уклонов – с другой.

Ирригационная эрозия проявляется в виде плоскостного смыва верхнего наиболее плодородного слоя почвы и в виде глубинных размывов временной оросительной сети. В местах многолетней ее нарезки из-за постоянного размыва могут возникнуть овраги, способные полностью вывести из строя орошаемое поле.

Смыв почвы, вызываемый атмосферными осадками, обычно не превышает допустимого уровня (2-3 т/га в год), в то время как за один влагозарядковый или вегетационный полив может достигнуть 4-6 т/га.

Ущерб от ирригационной эрозии разнообразен: уменьшается мощность гумусового горизонта; вымываются питательные вещества, семена; непроизводительно расходуется вода для орошения; заиляются и загрязняются удобрениями, пестицидами водоприемни-

ки; размываются каналы, дороги; возникают овраги ирригационного происхождения; ухудшается количество сельскохозяйственной продукции, на 15-20% снижается ее урожайность. В наибольшей степени ирригационная эрозия проявляется на водораздельном и террасовом типах агроландшафта.

К другим факторам, вызывающим ирригационную эрозию, относятся низкая водопроницаемость почвы и их невысокая противозерозионная устойчивость. Эродированные почвы на орошаемых участках характеризуются обесструктуренностью, высокой плотностью, низкой водопроницаемостью и влагоемкостью.

Для снижения и предотвращения ирригационной эрозии почвы на орошаемых землях специалисты сельхозпредприятий должны учитывать перечисленные выше факторы и уметь управлять технологиями орошения для предотвращения эрозии почвы. Ирригационная эрозия, т.е. эрозия почвы при орошении, делится на подвиды в зависимости от способа орошения: эрозия при поливе напуском по бороздам, по полосам, по чекам; при дождевании.

Бороздковый полив применяют при орошении кукурузы, картофеля, овощных и других культур, возделываемых в широкорядных посевах (посадках). Ширина междурядий на посевах этих культур составляет от 0,6 до 0,9 м, что позволяет нарезать поливные борозды и поливать по ним. Ширина водного потока в поливной борозде – до 0,2 м. В пересчете на единицу времени это гораздо больше, чем при дождевой эрозии или эрозии во время снеготаяния. Объясняется это тем, что при поливе по бороздам количество воды, взаимодействующей с почвой в единицу времени, гораздо больше, чем при дождях или при снеготаянии, и потери почвы за один полив могут достигать 100 т/га.

Полив по полосам применяют при орошении культур сплошного сева: трав и зерновых культур. Ширина полос обычно кратна ширине посевного агрегата. Водный поток распределяется по всей ширине и создает небольшой напор воды, а также сплошной посев снижает скорость потоков, и ирригационная эрозия выражена слабее, чем при поливе по бороздам.

При поливе по чекам ирригационная эрозия выражена еще слабее. Объясняется это тем, что уклон чеков очень мал, поэтому сни-

жается скорость водного потока и связанная с ней величина смыва почвы.

Дождевание – один из самых распространенных видов орошения. Его используют при орошении практически всех сельскохозяйственных культур. При дождевании эрозия проявляется в тех случаях, когда скорость впитывания почвы ниже интенсивности осадков или объем подаваемой воды превышает достоковые поливные нормы, когда поливная вода уже не успевает впитываться в насыщенную влагой почву и вызывает ирригационную эрозию.

По классической формуле А.Н. Костякова интенсивность дождя всегда должна быть ниже впитывающей способности почвы. Допустимый смыв почвы при эрозии определяется по рекомендациям Г.П. Сурмача (см. табл. 4).

Для оценки интенсивности потерь почвы при эрозии Н.К. Шиколой, А.Г. Рожковым и П.С. Трегубовым разработана классификация (см. табл. 5).

В связи с ужесточением требований к охране почвы от эрозии М.Н. Заславский предложил проводить оценку интенсивности эрозии по классификации, приведенной в табл. 66.

Таблица 66

Оценка интенсивности эрозии

Показатели	Потеря почвы в год при плотности сложения почвы 1 т/м ³	
	масса, т/га	слой почвы, мм
Незначительный смыв	до 0,5	до 0,05
Слабый смыв	0,5-1	0,05-0,1
Средний смыв	1-5	0,1-0,5
Сильный смыв	5-10	0,5-1
Очень сильный смыв	> 10	> 1

Почвы длительно орошаемых земель чаще всего претерпевают воздействие повышенного увлажнения и изменили свои водно-физические и химические свойства, поэтому при назначении поливных норм необходимо учитывать не только уклоны поверхности участка, вид возделываемых культур, минерализацию поливной и грунтовой воды, глубину грунтовых вод, но и не реже одного раза в пять лет исследовать водопроницаемость и агрегатный состав

почвы и вносить соответствующие корректировки в поливные нормы, чтобы избежать ирригационного стока и безвозвратного смыва верхнего плодородного слоя.

При поливе дождеванием важным фактором снижения эрозии является правильное определение дождевой поливной нормы, когда учитывается не только водопроницаемость, водоудерживающая способность, агрофон участка, но и интенсивность и структура дождя. Предельно допустимая поливная норма определяется по зависимости

$$m_{\text{дост.}} = A \cdot 0,33^d \cdot 0,316^p, \quad (11)$$

где $m_{\text{дост}}$ – допустимая поливная норма;

A – поправочный коэффициент на гранулометрический состав: 636,8 – для песка; 475,4 – суглинка легкого; 330,14 – среднего; 223,7 – суглинка тяжелого; 173,2 – глины легкой; 123 – средней; 93,16 – для глины тяжелой;

d – средний диаметр капель, мм;

p – средняя интенсивность дождя, мм/мин.

Предотвращению ирригационной эрозии способствуют и почвозащитные мероприятия, проводимые на агроландшафтах. Ученые РосНИИПИМ предлагают следующие основные элементы компенсационных мероприятий:

- противоэрозионная организация территории;
- агротехнические приемы;
- агролесомелиорация.

В качестве противоэрозионной организации территории необходимо орошаемые земли строить на участках с выровненным рельефом и небольшими уклонами поверхности.

Специальные агротехнические приемы для снижения ирригационной эрозии по назначению делятся на несколько групп:

- направленные на создание противоэрозионного микрорельефа на поверхности пашни (лункование, прерывистое, а также извилистое по горизонталям фигурное бороздование, создание микролимнов, микрообвалование простое и фигурное, ячейкование);
- повышающие водопроницаемость почв (щелевание, кротование, почвоуглубление, обработка чизелем, глубокое полосное рыхление);

- придающие поверхности пашни устойчивую поверхность (микроулисная обработка, мульчирование, обработка пашни полимера-ми, сохранение на поверхности почвы пожнивных остатков).

Приведенные выше агротехнические приемы нацелены на осу-ществление почвозащитных мероприятий и технологий, снижающих ирригационную эрозию путем:

- подбора и возделывания почвозащитных культур (сплошной сев и многолетние травы);

- разработки системы обработки почвы с чередованием различ-ной глубины обработки поверхности, обеспечивающей создание рыхлой, способной увеличивать скорость впитывания поливной воды и повышать досточковые нормы полива;

- полива на больших уклонах только дождеванием или системами капельного орошения;

- использования на уклонах (более 0,01) контурных/полосных посевов поперек склона чередующихся культур из пропашных и сплошного посева шириной по 40-60 м;

- повышения плодородия почвы – в первую очередь содержание гумуса, способствующего улучшению структуры и агрегатного со-става длительно орошаемых земель, повышению влагоемкости поч-вы и устойчивости к ирригационной эрозии.

Поправочные компенсационные коэффициенты от применения агротехнических мероприятий, по данным РосНИИПМ, приведены в табл. 67. Компенсационные агротехнические приемы способству-ют снижению стока и увеличению на 15-20% досточковой поливной нормы, предотвращают ирригационную эрозию почвы при нарушении технологии орошения (увеличение поливной нормы сверх рас-четной).

Определенную роль в уменьшении ирригационной эрозии игра-ют мелиоративные защитные лесные насаждения. Они разделяют агротерритории на изолированные участки (поля севооборота), на которых размещаются, например, дождевальная техника, системы капельного полива. Защитные лесные насаждения обеспечивают ре-гулирование микроклимата: снижение скорости ветра, потерь воды на испарение и испарение с уже политых полей, температуры на 3-5°C; повышение влажности воздуха.

**Поправочные компенсационные коэффициенты
агротехнических мероприятий**

Компенсационное мероприятие	$K_{\text{агр}}$
Отвальная обработка на глубину 20-22 см	1,0
Глубокая вспашка на глубину 27-30 см	0,90
Глубокая вспашка на глубину 27-30 см + почвоуглубление на 10-15 см	0,80-0,90
Глубокая безотвальная (чизельная) обработка на глубину 32-40 см	0,90
Безотвальная (плоскорезная) обработка на глубину 20-22 см	1,15
Обвалование зяби через 2,5-3 м при вспашке	0,85
Создание нанорельефа на зяби и посевах озимых (лункование, бороздование и пр.)	0,85
Щелевание озимых культур и многолетних трав	0,80
Полосное размещение уплотненной и рыхлой пашни (ширина полос 40–60 м)	0,80

Снижению ирригационного стока и смыва почвы в поверхностные водные объекты способствуют стокорегулирующие лесные насаждения по границам полей. Они задерживают возникший ирригационный сток воды и наносов почвы с орошаемого поля в междурядьях защитных насаждений, которые совмещают с простейшими гидротехническими сооружениями – валами и канавами. Канавы устраивают в нижнем междурядье насаждений глубиной не менее глубины промерзания почвы (обычно от 0,7 до 1,5 м). Обвалование проводят по нижней опушке насаждений, а откосы выполаживают с заложением 1:10-1:15.

В отличие от других видов эрозии многие факторы ирригационной эрозии могут быть изменены целенаправленной антропогенной деятельностью, включая интенсивность дождевания, расход воды в поливную борозду, длину поливного участка, длительность полива, водопроницаемость и противоэрозионную устойчивость почв, уклон и форму уклона. Регулируя эти факторы, можно управлять процессами эрозии, добиваясь их полного прекращения при поливе дождеванием или снижения потерь почвы до допустимого уровня при поливе по бороздам.

4. КОМПЛЕКС МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОХРАНЕНИЮ И ПОВЫШЕНИЮ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

4.1. Технологии орошения

Выбор технологии орошения определяется следующими показателями:

- скорость впитывания воды в почву;
- степень естественной дренированности территории;
- уровень залегания грунтовых вод (УГВ);
- уровень минерализации грунтовых вод;
- степень засоления почв;
- плодородие почв (бонитировочный балл);
- уклон поверхности орошаемого массива;
- качество оросительной воды (класс воды по С.Я. Бездниной).

Для выбора технологий орошения необходимо установить качественные значения типовых показателей по трехбалльной системе: низкий, средний, высокий. Количественные значения типовых качественных показателей сгруппированы в табл. 68.

При проектировании орошаемых участков, имея по материалам изысканий количественные значения типовых качественных показателей, устанавливают набор необходимых операций, определяющих технологию орошения, а по впитывающей способности почв, максимальному уклону местности и величине максимальной поливной нормы подбирают технику полива. Если впитывающая способность почв характеризуется средним и высоким значениями, то предпочтение отдается дождевальной технике: при низкой впитывающей способности – поверхностным способам полива, и если по тем или

иным причинам их невозможно применить, то используется дождевание на фоне мелиоративных мероприятий, обеспечивающих повышение впитывающей способности почв (рыхление, щелчевание и др.) и не допускающих ирригационной эрозии.

Таблица 68

Количественные значения типовых качественных показателей выбора технологии орошения

Показатели	Показатели (качественное значение)		
	низкий	средний	высокий
	критериальное значение показателя (количественное)		
Впитывающая способность почв в первый час, см	< 3,0	3,0-7,0	7,0-10,0
Уклон поверхности орошаемого массива	< 0,005	0,001-0,005	< 0,001
Степень естественной дренированности в год, м ³ /га	500–1500	1500-3000	> 3000
Уровень залегания грунтовых вод, м	< 2,0	2,0-3,0	> 3,0
Степень минерализации грунтовых вод, г/л	> 5,0	3,0-5,0	< 3,0
Степень засоления почв, %	> 1,0	1,0-0,5	< 0,5
Плодородие почв (бонитировочный балл), баллы	< 80	80-100	> 100
Качество оросительной воды (по С.Я. Бездниной), класс	III	II	I

Степень естественной дренированности территории определяет необходимость применения дренажа или комплекса противофильтрационных мероприятий. При средней и высокой дренированности территории и оросительных нормах до 3000 м³/га систематический дренаж не применяется. Возможно использование выборочного дренажа в местах разгрузки грунтовых потоков. При низкой естественной дренированности во всех случаях требуется устройство систематического и выборочного дренажа, даже если показатель залегания грунтовых вод высокий (превышает 3 м). Уровень залегания грунтовых вод и степень их минерализации определяют необходимость устройства дренажа и величину поливной нормы. При близ-

ком залегании УГВ (менее 3 м) устройство дренажа обязательно. При среднем и высоком показателях залегания УГВ необходимость устройства дренажа определяется степенью естественной дренированности территории.

Степень минерализации грунтовых вод определяет предельно допустимый УГВ и максимальное значение поливной нормы (режим орошения). При низкой степени минерализации грунтовых вод (менее 3,0 г/л) возможно смыкание оросительной воды с грунтовыми водами, при средней (3-5 г/л) и большой минерализации (более 5 г/л) смыкание недопустимо, требуются устройство дренажа и жесткое нормирование поливных норм.

Степень засоления почв определяет выбор мелиоративных мероприятий, предупреждающих деградацию и снижение плодородия почв. При низкой степени их засоления (менее 0,5%) и орошении пресной водой можно обойтись такими агроприемами, как внесение органических удобрений, при средней (0,5-1,0%) – предусмотреть мелиоративную обработку и проведение фитомелиораций. С ростом степени засоленности (более 1%), наряду с мелиоративной обработкой и проведением фитомелиораций, требуются химмелиорация, а при наличии дренажа – промывки.

Низкое значение бонитировочного балла (менее 80) орошаемых почв вызывает необходимость выполнения комплекса агро-мелиоративных мероприятий, таких как фитомелиорация, внесение оптимальных норм органических и минеральных удобрений. При средних значениях бонитировочного балла (80-100) следует предусмотреть комплекс агро-мелиоративных мероприятий путем проведения фитомелиораций и внесения умеренных доз органических и минеральных удобрений, повышающих продуктивность орошаемых земель до уровня проектных значений. Орошаемые земли с уровнем бонитировочного балла 100 и более требуют внесения органических и минеральных удобрений, покрывающих вынос питательных веществ вместе с урожаем сельскохозяйственных культур и предупреждающих снижение плодородия почв.

Качество оросительной воды оказывает сильное влияние на протекание почвенных процессов, изменение их водно-физических свойств и урожайность сельскохозяйственных культур. Для оценки

качества оросительной воды в мелиорации используют классификацию, представленную в прил. М как наиболее полно отражающую механизм воздействия оросительной воды на почвенные процессы, и в зависимости от класса воды предусмотрен комплекс мероприятий, снижающих ее негативное воздействие.

4.2. Приемы, способствующие накоплению гумуса и питательных элементов

В условиях орошения регулировать содержание гумуса и его состав возможно только при биологической мелиорации. Предлагаются три класса биологических средств. Из этих средств, применяемых в земледелии, наиболее широкое распространение имеет класс органических удобрений, в котором преобладают удобрения на основе навоза и птичьего помета. Биомелиоративное влияние органических удобрений проявляется в том, что они способствуют накоплению в почве гумуса, при их длительном применении улучшаются многие свойства почвы: увеличивается запас питательных веществ; снижается кислотность; повышаются содержание поглощенных оснований, поглощательная способность и буферность, влагоемкость, скважность и водопроницаемость; почва обогащается микрофлорой; усиливается ее биологическая активность, улучшается агрегатный состав – она меньше уплотняется. Большое значение органические удобрения имеют как источник микроэлементов, биостимуляторов, диоксида углерода и др.

В применении качественных и экологически безопасных органических удобрений нуждаются в первую очередь мелиорируемые земли, обладающие высокой потенциальной продуктивностью возделываемых культур за счет регулируемого водно-воздушного режима почв. Однако биомелиоративные функции, например органических и минеральных удобрений, не бесконечны. Следует привлекать другие виды мелиораций, например биотические, включающие в себя подбор культур согласно свойствам почв. Эффект биотической мелиорации в большинстве экспериментов аналогичен эффекту от химической мелиорации, но по затратам более выгодный. К недо-

статкам этого способа следует отнести его медленное воздействие по сравнению с другими способами. Очень важно для обогащения почвы свежим органическим веществом и повышения содержания гумуса насыщать севообороты многолетними травами и пожнивными культурами. Именно такие севообороты за 7-8-польную ротацию создают положительный баланс гумуса.

Пропашные культуры (кукуруза на силос и зерно) оставляют после себя немного (1,7-4,6 т/га) растительных остатков, и содержание в них азота невысокое. Но сами они очень требовательны к питательному режиму почвы, возделывание их сопровождается интенсивным разложением органического вещества, т.е. они способствуют усилению минерализации почвенного гумуса.

Зерновые культуры, надземная масса которых полностью используется в пищу человека или идет на корм животным, – наиболее ограниченные поставщики органического вещества в почву.

Многолетние травы благодаря задернению, влияющему на баланс органического вещества в почве, максимально приближаются к естественным фитоценозам, а бобовые, кроме того, за счет симбиотической азотфиксации вовлекают в круговорот дополнительное количество азота, и после их отмирания почва обогащается доступными для последующих культур его формами.

Исследования показали, что четырехлетнее возделывание люцерны в орошаемом клине является необходимым условием сохранения и восстановления водно-физических свойств, обогащения почвы органическими остатками и повышения обеспеченности её азотом. Мелиорирующий эффект люцерны объясняется следующими ее достоинствами:

- весной быстрее других культур покрывает почву сплошным травяным покровом;
- быстро отрастает после укосов, что обеспечивает хорошее затенение почвы в течение вегетации;
- обладает мощной корневой системой и высокой транспирационной способностью, что препятствует подъему грунтовых вод;
- при густом травостое способствует очищению полей от сорняков.

В орошаемой зоне предпочтение должно быть отдано зернокормовым севооборотам, например, 1-3 – люцерна на корм; 4 – ози-

мая пшеница + пожнивно смесь гороха и овса; 5 – горох на зерно; 6 – зеленый горошек + кукуруза в смеси с соей на силос; 7 – кукуруза на зерно; 8 – озимая пшеница + люцерна.

Хорошо зарекомендовали себя также севообороты:

I. Кормовой (промежуточные культуры – 57,2%):

- 1) злако-бобовая смесь с подсевом люцерны;
- 2) люцерна второго года жизни;
- 3) люцерна третьего года жизни;
- 4) люцерна четвертого года жизни на укос, поукосно – сложная кормосмесь;
- 5) злако-бобовая смесь с подсевом суданки;
- 6) рапсо-ячменная смесь, поукосно – сложная кормосмесь;
- 7) озимая пшеница, пожнивно – горохо-подсолнечная смесь.

II. Кормовой севооборот (промежуточные культуры – 28,6 %):

- 1) ячмень с подсевом люцерны;
- 2) люцерна второго года жизни;
- 3) люцерна третьего года жизни;
- 4) люцерна четвертого года жизни на укос, поукосно – кукуруза на зеленый корм;
- 5) озимая рожь на зеленый корм, поукосно – сложная кормосмесь;
- 6) соя;
- 7) кукуруза на зерно.

III. Зерно-кормовой (люцерна-кукурузный):

- 1) ячмень с подсевом люцерны;
- 2) люцерна второго года жизни;
- 3) люцерна третьего года жизни;
- 4) люцерна четвертого года жизни с подсевом суданки;
- 5) кукуруза на зерно;
- 6) кукуруза на зерно:
минеральные удобрения;
навоз – 60 т/га;
навоз – 100 т/га;
- 7) кукуруза на зерно (последствие навоза):
минеральные удобрения;
навоз – 60 т/га;
навоз – 100 т/га.
- 8) кукуруза на зеленую массу:
минеральные удобрения;

навоз – 60 т/га;
навоз – 100 т/га.

IV. Зернокармальной севооборот:

- 1) ячмень с подсевом люцерны;
- 2) люцерна второго года жизни;
- 3) люцерна третьего года жизни;
- 4) люцерна четвертого года жизни второго укоса;
- 5) озимая пшеница, пожнивно – злако-бобовая смесь;
- 6) кукуруза на зерно;
- 7) соя (последствие навоза):
 - минеральные удобрения;
 - навоз – 60 т/га;
 - навоз – 100 т/га;
 - солома: ячмень, озимая пшеница;
- 8) кукуруза:
 - минеральные удобрения;
 - навоз – 60 т/га;
 - навоз – 100 т/га.

В этих севооборотах особую роль сыграло возделывание в первые три года люцерны, которая улучшила водно-физические свойства почв при орошении и обогатила почву азотом.

Все севообороты осваивались на двух фонах обработок почв – обычная вспашка и плоскорезная обработка и с внесением после пяти лет ротации севооборота 60 и 100 т/га перепревшего навоза.

Во II севообороте в течение семилетней ротации физические свойства почв ухудшились, особенно при плоскорезной обработке. Видимо, промежуточных культур (28,6%) недостаточно для разрыхления почв. Увеличение этих культур до 57,2% в зернокармальной севообороте стабилизировало физическое состояние почв. Внесение навоза даже в дозе 60 т/га в III и IV севооборотах при обычной вспашке способствовало улучшению физического состояния почв, чего не наблюдалось при плоскорезной обработке.

При ротации этих севооборотов не произошло ухудшения физико-химических свойств почв, а именно почвы не подверглись засолению, солонцеватости, ошелачиванию, а внесение органики обеспечило положительный баланс гумуса (табл. 69, 70).

Таблица 69

Баланс гумуса за ротацию севооборотов

Севооборот	Поступило в почву растительных остатков, т/га	Образование гумуса из растительных остатков, т/га	Минерализация гумуса за ротацию, т/га	Баланс гумуса (+, -), т/га	Количество органических удобрений, необходимых для бездефицитного баланса, т/га
1. Кормовой (промежуточных культур – 57,2%)	<u>101,5</u>	<u>15,7</u>	<u>9,4</u>	<u>+6,3</u>	–
	82,5	14,5	9,0	+5,8	–
2. Кормовой (промежуточных культур – 28,6%)	<u>80,2</u>	<u>14,4</u>	<u>11,8</u>	<u>+2,6</u>	–
	66,2	11,9	11,9	0	–
3. Зернокормовой (люцерно-кукурузный): минеральные удобрения	<u>74,3</u>	<u>13,4</u>	<u>12,5</u>	<u>+0,9</u>	–
	58,2	10,4	12,3	-1,9	14
навоз – 60 т/га	<u>80,3</u>	<u>22,8</u>	<u>13,8</u>	<u>+9,6</u>	–
	64,4	19,7	13,2	+6,5	–
4. Зернокормовой: минеральные удобрения	<u>65,5</u>	<u>11,8</u>	<u>11,8</u>	<u>0</u>	–
	50,3	9,0	11,6	-2,6	19
навоз – 60 т/га	<u>73,5</u>	<u>21,5</u>	<u>13,4</u>	<u>+8,1</u>	–
	52,4	17,7	11,7	+6,0	–

Примечание. В числителе значение для обычной вспашки, знаменателе – для дифференцированной обработки (обычная вспашка под люцерну с подъемом пласта и плоскорезная обработка с пятого года на глубину от 10-12 до 14-16 см).

Как видно из табл. 69, 70, внесение только минеральных удобрений не способствует накоплению гумуса, а плоскорезная обработка, видимо, снижает процесс гумификации.

На орошаемых землях с целью охраны окружающей среды рационально использовать минеральные удобрения в дозах, рассчитанных на запланированный урожай с учетом содержания питательных веществ в почвах. Однако было доказано, что минеральные удобрения, вносимые в расчетной дозе в системе севооборотов, поддерживают оптимальный уровень питания, но его не остается на последующий год. Только внесение навоза в дозах не менее 60 т/га обеспечивает к осени определенный запас подвижного фосфора и обменного калия. Разложение навоза в почве и переход содержащихся в нем питательных веществ в доступную для растений форму происходят постепенно, и последствие прослеживается четыре-пять лет. В первый год из него используется 20-40% азота и фосфора и до 60% калия. Чтобы поддержать питательный режим почв и бездефицитный баланс гумуса, требуются огромные запасы минеральных удобрений, которые практически недоступны, и навоза, которого в хозяйствах нет.

При отсутствии органических удобрений следует применять сидеральные культуры. Это растения, которые выращивают до определенной фазы развития и заделывают их зеленую массу в почву для повышения содержания органического вещества. Зеленое удобрение имеет особенно большую ценность в тех случаях, когда по каким-либо причинам нет возможности запасти навоз в достаточных количествах.

В качестве зеленого удобрения используют бобовые и небобовые культуры, а чаще всего их смеси. Растениям дают вырасти, развить корневую систему и зеленую массу, затем их или скашивают, или целиком заделывают в почву. Скошенную массу либо используют на компост, либо покрывают ею поверхность почвы в качестве мульчи, либо заделывают в почву. В почве корневая система и листовая масса разлагается, обогащая ее органическим веществом и азотом. Использование сидеральных культур способствует улучшению водного и воздушного режимов почвы за счет рыхлящего и структурирующего действия на почву корневой системы растений. В этом

отношении ведущая роль принадлежит злаковому компоненту смеси. Злаковые растения имеют широко разветвленную, мочковатую корневую систему, которая разбивает почву на мелкие комочки. Такое действие зеленого удобрения особенно полезно на тяжелых уплотненных почвах, в которые плохо проникает вода. На легких почвах положительное влияние зеленого удобрения заключается в увеличении водоудерживающей способности за счет обогащения их органическим веществом, а также растения защищают почву от выветривания и минерализации органического вещества, снижают вымывание питательных веществ в глубокие слои и удерживают их в корнеобитаемом горизонте (см. прил. В). В табл. 71 представлены сведения о том, какой эффект дают различные сидеральные культуры.

Таблица 71

Назначение различных видов культур для сидерации

Эффект	Культура
Фиксация азота из воздуха	Все бобовые
Связывание азота в почве, предотвращение минерализации и вымывания	Все крестоцветные и злаковые
Образование большого количества органического вещества при осеннем посеве	Озимый рапс, озимая пшеница
Высвобождение труднорастворимого фосфора	Бобовые, крестоцветные
Уменьшение вымывания минеральных элементов	Все крестоцветные, особенно рапс и масличная редька
Разрыхление нижних слоев почвы корнями	Люпин, кормовые бобы, масличная редька, горчица
Подавление нематод	Все бобовые, райграсс однолетний, фацелия, подсолнечник
Для позднего сбора меда пчелами	Фацелия, горчица, клевер, подсолнечник, кормовые бобы
<i>Защита от эрозии, подавление сорняков</i>	
Ранний посев до начала августа	Кормовые бобы, клевер, люпин, масличная редька, райграсс однолетний, рапс яровой
Поздний посев до начала сентября	Горчица, фацелия

Культуры, используемые в качестве сидеральных, выполняют и фитосанитарную роль. Они могут подавлять рост сорняков, но чтобы оно само не стало сорняком, необходимо скашивать или заделывать его до образования семян. Некоторые виды зеленого удобрения способствуют очищению почвы от вредителей и болезней, например, плотный посев горчицы значительно уменьшает количество проволочника в почве.

Чтобы получить пользу от зеленого удобрения и избежать связанных с его применением ошибок, требуется решить, какое действие необходимо получить, какая культура в определенных условиях может дать такое действие, когда лучше ее посеять и заделать в почву и др.

Необходимо учитывать, что действие зеленого удобрения сильно зависит от возраста растений. Молодые и свежие растения богаты азотом, быстро разлагаются в почве и быстро выделяют его. После их заделки высевать основную культуру можно уже через три-четыре недели.

Когда растения образовали жесткий стебель, они разлагаются медленнее, так как содержат трудноразлагаемые органические вещества, которые могут увеличить запас стабильного органического вещества почвы, составляющего основу ее плодородия, а также высвободить доступные компоненты фосфорных соединений. При этом следует учитывать, что зрелые растительные ткани богаты углеродом и обеднены азотом. Микроорганизмам, разлагающим их, для жизнедеятельности не хватает азота, и этот недостаток они компенсируют за счет азота из почвы.

Высвобождение труднорастворимого фосфора означает то, что фосфор входит в состав почвенных минералов, но в форме, труднодоступной для питания растений. Корни растений выделяют органические кислоты, которые, взаимодействуя с почвенными минералами, переводят фосфор в растворимое состояние. После заделки в почву и разложения растительных остатков верхний слой почвы обогащается содержащимися в них органическими соединениями фосфора, которые под действием микроорганизмов трансформируются в доступную для растений форму.

С учетом этих положений наиболее оптимальным сроком заделки считается период бутонизации, когда стебель растения еще не заде-

ревенел. Время и глубину заделки выбирают с таким расчетом, чтобы зеленая масса быстро и легко разложилась. Глубина заделки на легких почвах – 12-15 см, на тяжелых – 6-8 см. Важным мероприятием является правильный подбор культур, которые следует использовать в качестве сидератов. В этом вопросе следует руководствоваться данными обследования опытного участка с установленными агрохимическими и физическими данными. Технология возделывания таких культур должна обеспечивать не только их высокую продуктивность, но и оказывать благоприятное воздействие на свойства почв – это исходный показатель как при выборе сидеральных культур, так и уточнении технологий их возделывания.

При технологии дифференцированного применения сидеральных культур используют самостоятельные и уплотненные, сплошные и кулисные, подсевные и пожнивные посевы сидератов.

Самостоятельные посевы сидератов занимают отдельное поле севооборота один сезон, такие посевы являются сидеральными или занятыми парами. Но могут занимать поле и два-четыре года подряд, если проводятся мероприятия, окультуривающие почвы, а также занимать всё поле или часть его и более короткое время. Например, однолетние растения следует размещать после уборки основной культуры севооборота по пару перед посевом озимой культуры. Такой посев сидерата называется промежуточным, или вставочным.

Сидераты можно использовать не на всем поле, а только на его части. Посев культур проводится в виде полос, при этом следует чередовать полосы различной ширины, занятые и не занятые сидератами. При таком способе зеленая масса сидератов применяется как удобрение на соседней полосе. Кулисное возделывание сидератов используют обычно в междурядьях садов и виноградников и на склонах, размещая кулисы поперек склона для предотвращения водной эрозии. В этом случае можно рекомендовать многолетние сидераты.

Уплотненные посевы сидератов представляют собой совместное выращивание основной культуры и сидерата. Причем сидераты можно размещать в междурядьях основной культуры или под ее покровом. Этот прием позволяет получать значительное количество зеленой массы сидератов во время роста и созревания основной культуры, сразу после уборки которой сидеральное удобрение запахивают. В уплотненных посевах важно исключить взаимное угнетение

сидерата и основной культуры. С этой целью культуры подбирают так, чтобы их корневые системы проникали на разную глубину и не создавали конкуренции друг другу.

В зависимости от времени посева сидерата (до или после уборки основной культуры) различают подсевную или пожнивную культуру сидератов. При подсевной культуре сидераты подсевают под предшествующую основную культуру. Сидеральная культура развивается под покровом основной культуры, тем самым сокращается время ее возделывания. Этот способ следует использовать в районах, где период между уборкой предшественника и посевом последующей удобряемой культуры слишком короткий, чтобы вырастить достаточное количество зеленой массы, а также в том случае, когда климатические условия неблагоприятны для развития сидерата в начале вегетации.

В районах с теплой, влажной и длинной осенью возделывают пожнивную культуру сидератов. Их используют для удобрения сахарной свеклы, кормовых корнеплодов, кукурузы, пшеницы.

Следует различать три основные формы зеленого удобрения: полное, укосное, отавное.

Полное зеленое удобрение предполагает запашку всей массы растений на месте развития.

Укосное зеленое удобрение получают, выращивая зеленую массу на другом участке, которую после скашивания перевозят на поле, которое требуется удобрить, и запахивают. Таким образом, возможно выращивание многолетних трав, которые удобряют зеленой массой сидерата с соседнего поля севооборота. В садах укосную массу сидератов, полученную в междурядьях, применяют для удобрения приствольных кругов. По удобрительному действию она не уступает соответствующей дозе навоза, её можно использовать и в компостах, послойно укладывая в штабеля с соломой, речным или прудовым илом, фекалиями и компостируя обычным способом.

Отавное зеленое удобрение получают после скашивания зеленой массы трав на зеленый корм, запахивая при этом корневые и стерневые остатки с отрастающей отавой.

Технология заделки зеленой массы сидератов зависит от урожайности культур. Посевы с высокой биомассой перед основной обработкой предварительно скашивают и измельчают дисковыми

боронами. Возможна заделка сидератов плугами, оборудованными металлическим щитом перед отвалом для сгребания зеленой массы в борозду. Глубина заделки – 15-20 см на тяжелых и 12-15 см на легких почвах.

Первый простейший способ заделки зеленой органической массы сидеральных культур заключается в том, что перед плугом ставят брус, чтобы приминать зеленую массу, тогда она полностью и качественно засыпается почвой, второй способ – измельчение массы путем перекрестного дискования с дальнейшей запашкой, третий – самый качественный и эффективный – сначала масса измельчается, а затем равномерно разбрасывается на поверхность почвы. В этом случае она лучше и легче заделывается в почву за счет проведения вспашки или дискования. Предпосевная обработка почвы тоже может проводиться любым культиватором или комбинированным агрегатом.

Для накопления органики следует систематически применять зеленые удобрения. Эффективность 1 т сидератов за ротацию севооборота эквивалентна 1 т подстилочного навоза. Многолетние травы накапливают 1,0-1,5 т/га органического вещества в год, а при высоких урожаях – до 6-10 т/га. В отдельных случаях проблемы с навозом можно решить дополнительным внесением на поля соломы зерновых культур. С каждой 1 т измельченной соломы, стержней и корней вносится до 800 кг органического вещества, 15 кг азота, 8 кг фосфора, 30 кг калия, микроэлементы. Солому надо измельчать не только перед ее запашкой в поле, но и при использовании в качестве подстилки, тогда она лучше поглощает мочу и при хранении меньше теряет азота и органического вещества. Приготовленный из измельченной соломы полуперепревший навоз более равномерно распределяется по полю при разбрасывании и хорошо заделывается в почву. В солоmistый навоз целесообразно добавлять азотные удобрения – на 1 т до 15 кг азота. Органические удобрения (навоз, птичий помет) целесообразно сочетать с кальцийсодержащими мелиорантами (фосфогипсом, терриконовой породой, глауконитом). Мелиоранты способствуют лучшему использованию удобрений, повышают коэффициент гумификации, снижают подвижность гуматов, улучшая последствие удобрений. Прямое воздействие на консервативную часть гумуса с целью повышения содержания и запасов гуматов и гумина,

изменения группового состава гумуса более сложно. Для этого необходимо изменить или общие условия гумификации, или использовать хорошо гумифицированные органические удобрения, а именно – гуминовые препараты, углегуматы, наиболее перспективны удобрительно-мелиорирующие компосты и смеси.

Таким образом, севообороты – основное звено в воспроизводстве органического вещества и питательных элементов, а следовательно, плодородия орошаемых земель. Чтобы они выполняли свою роль, необходимо при чередовании культур учитывать механизм образования органического вещества за счет поступающих растительных и пожнивно-корневых остатков. Достигается это регулированием соотношения злаковых и бобовых компонентов в севообороте. Поступление органического вещества в почву можно увеличивать с помощью сидератов, используя их как специальные посевы, так и как промежуточные культуры на сидерат в севообороте.

В севооборотах необходимо также размещать культуры с различной глубиной залегания корневой системы, чтобы увеличивать мощность гумусового слоя.

В севооборотах, расположенные на почвах, обладающих негативными свойствами (засоление, солонцеватость, щелочность, уплотнение и др.), следует вводить культуры-фитомелиоранты (см. подраздел 3.2.4).

4.3. Уровни увлажнения почв и режимы орошения сельскохозяйственных культур

В последние годы высказывалось мнение о целесообразности недополивов черноземов с целью сохранения плодородия. Исследования РосНИИПМ показали, что даже за четырех-пятилетний срок орошения допустимыми расчетными поливными нормами сохраняется плодородие почв. Отмечено лишь снижение гумуса в обыкновенном черноземе на неорошаемом участке (рис. 5) и, кроме того, уплотнение почв и повышение коэффициента дисперсности при завышении поливных норм (табл. 72) из-за увеличения илистой фракции при определении гранулометрического состава, особенно

в варианте с оросительной нормой 1,3 т. Ее возрастание – в пределах 20% по сравнению с исходными данными и контролем. За счет увеличения плотности сложения почв ухудшается порозность, приобретая неудовлетворительное для пахотного слоя состояние (менее 50%).

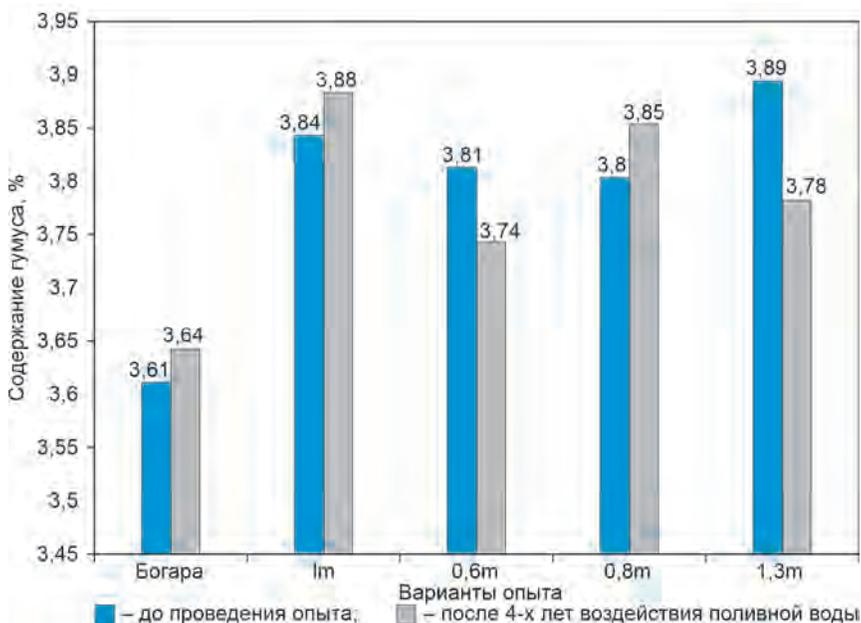


Рис. 5. Изменение содержания общего гумуса на черноземах обыкновенных при поливах пресной водой при разных уровнях увлажнения

Из физико-химических свойств особенно проявляется солонцеватость, а в некоторых случаях и слабая щелочность. Из табл. 73 видно, что это характерно для земель, которые поливаются слабоминерализованной водой сульфатно-натриевого состава – черноземы обыкновенные, и для черноземов южных, которые орошаются водой хорошего качества, но обладают природной солонцеватостью и имеют в почвенном поглощающем комплексе низкое содержание кальция.

Таблица 72

**Влияние различных уровней увлажнения
на физические свойства черноземов в слое 0-60 см**

Вариант опыта	Физическая глина при гранулометрическом анализе > 0,01 мм, %	Ил гранулометри- ческий < 0,001 мм, %	Ил микро- агрегатный, %	Плотность сложения почвы, т/м ³	Кoeffи- циент дис- персности	Порозность, %
<i>Черноземы обыкновенные, орошаемые пресной водой, первый год освоения</i>						
Богара	59,6	35,4	1,8	1,31	5	49
1 м – расчетная норма	60,1	37,9	2,1	1,23	8	54
0,6 м	58,8	33,2	2,0	1,27	6	52
0,8 м	57,0	33,1	1,8	1,23	5	54
1,3 м	58,7	34,6	2,1	1,26	6	52
<i>Четвертый год освоения</i>						
Богара	62,9	34,5	2,4	1,35	7	48
1 м – расчетная норма	63,8	34,4	1,8	1,28	6	53
0,6 м	62,0	32,9	2,1	1,32	6	50
0,8 м	62,6	31,7	2,0	1,30	6	51
1,3 м	64,8	42,7	2,9	1,38	10	49
<i>Черноземы обыкновенные, орошаемые слабоминерализованной водой, первый год освоения</i>						
Богара	61,7	36,9	2,5	1,22	7	50
1 м – расчетная норма	60,0	39,2	4,5	1,35	11	48
0,6 м	59,8	38,8	3,5	1,32	9	49
0,8 м	60,3	38,5	3,9	1,34	10	48
1,3 м	58,5	39,0	4,6	1,37	12	47

Вариант опыта	Физическая глина при гранулометрическом анализе > 0,01 мм, %	Ил гранулометрический < 0,001 мм, %	Ил микроагрегатный, %	Плотность сложения почвы, т/м ³	Коэффициент дисперсности	Порозность, %
<i>Четвертый год освоения</i>						
Богара	60,5	35,3	2,7	1,25	8	49
1 м – расчетная норма	58,7	38,9	4,6	1,38	12	47
0,6 м	59,3	36,9	3,8	1,33	10	48
0,8 м	60,1	38,5	4,2	1,36	11	47
1,3 м	58,7	46,9	5,1	1,40	14	45
<i>Черноземы южные, орошаемые пресной водой, первый год освоения</i>						
Богара	63,4	33,8	1,7	1,34	5	47
1 м – расчетная норма	63,9	36,4	2,3	1,27	6	52
0,6 м	64,5	37,1	3,1	1,29	8	50
0,8 м	59,6	36,4	3,0	1,27	8	52
1,3 м	64,8	36,5	3,4	1,28	9	53
<i>Четвертый год освоения</i>						
Богара	60,2	34,7	1,9	1,35	6	48
1 м – расчетная норма	61,6	34,0	2,7	1,30	10	53
0,6 м	58,5	35,6	2,8	1,32	8	54
0,8 м	60,6	34,0	2,7	1,34	8	54
1,3 м	62,5	44,0	2,6	1,39	11	47

**Влияние уровней увлажнения
на изменение физико-химических свойств в слое 0-100 см**

Вариант опыта	Годы	Сумма солей, %	Токсичные соли, %	Щелочность		∑ ППК, ммоль (экв.)/100 г	% от ∑ ППК		
				pH	$\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{Mg}^{2+}$, ммоль(экв)/100 г		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
<i>Черноземы обыкновенные, орошаемые пресной водой</i>									
Богара	1	0,10	0,05	7,7	0,65	24,55	81	18	1
	4	0,07	0,04	7,3	0,58	22,58	78	21	1
1 м – расчетная норма	1	0,06	0,03	7,0	0,37	26,71	79	19	2
	4	0,12	0,07	7,5	0,45	21,65	78	20	2
0,6 м	1	0,12	0,06	7,3	0,47	26,02	79	18	3
	4	0,07	0,04	7,3	0,38	22,27	77	21	2
0,8 м	1	0,08	0,07	7,3	0,40	25,26	82	15	3
	4	0,11	0,06	7,3	0,47	21,88	80	18	2
1,3 м	1	0,16	0,15	7,3	0,58	25,64	72	24	4
	4	0,07	0,05	7,3	0,42	21,06	71	25	4
<i>Черноземы обыкновенные, орошаемые слабоминерализованной водой</i>									
Богара	1	0,09	0,06	7,8	0,65	29,5	83	16	1
	4	0,10	0,06	7,9	0,68	28,9	81	17	2
1 м – расчетная норма	1	0,140	0,08	8,6	0,89	27,5	73	20	7
	4	0,158	0,103	8,9	0,97	26,1	71	22	8
0,6 м	1	0,138	0,07	8,1	0,87	27,8	73	21	6
	4	0,140	0,08	8,3	0,90	28,1	72	21	7

Вариант опыта	Годы	Сумма солей, %	Токсичные соли, %	Щелочность		Σ ППК, ммоль (экв.) / 100 г	% от Σ ППК		
				рН	HCO ₃ ⁻ - Ca ²⁺ + Na ⁺ + Mg ²⁺ , ммоль(экв)/100 г		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
0,8 м	1	0,140	0,07	8,5	0,95	26,9	73	19	8
	4	0,152	0,08	8,7	0,98	26,5	72	21	7
1,3 м	1	0,143	0,08	8,3	0,87	28,1	73	20	7
	4	0,174	0,09	8,9	1,15	23,9	69	22	9
<i>Черноземы южные, орошаемые пресной водой</i>									
Богара	1	0,07	0,09	7,7	0,45	23,1	72	25	3
	4	0,05	0,04	7,6	0,43	24,5	71	26	3
1 м – расчетная норма	1	0,06	0,02	7,5	0,57	25,6	71	23	4
	4	0,08	0,05	7,6	0,49	24,9	73	24	3
0,6 м	1	0,07	0,03	7,5	0,42	25,8	72	25	3
	4	0,07	0,04	7,6	0,40	24,7	71	25	4
0,8 м	1	0,07	0,03	7,5	0,61	26,4	74	23	3
	4	0,08	0,04	7,5	0,47	25,8	74	23	3
1,3 м	1	0,06	0,03	7,6	0,75	24,2	73	24	3
	4	0,07	0,04	7,1	0,70	25,5	72	24	4

Рассматривая непосредственно воздействие различных уровней увлажнения на черноземы, отмечается на всех их видах за четырехлетний период незначительное изменение свойств при снижении оросительных норм на 40 и 20%. Но увеличение их на 30% уже способствует возрастанию обменного натрия в ППК и снижению обменного кальция даже при поливах водой гидрокарбонатно-кальциевого состава.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что оптимальной поливной нормой для сохранения плодородия почв является расчетная норма. Анализ данных показал, что можно рекомендовать снижение поливной нормы на 20-30%, так как при этом сохраняется плодородие почв, не снижается урожайность сельскохозяйственных культур по сравнению с расчетной поливной нормой, увеличивается выход дополнительной продукции на 100 м³/га (табл. 74).

Таблица 74

Влияние уровней увлажнения на урожайность сельскохозяйственных культур и расход оросительной воды

Вариант	Урожайность, т/г	Прибавка, т/га	Оросительная норма, м ³ /га	Расход оросительной воды на 1 т прибавки, м ³	Выход дополнительной продукции на 100 м ³ /га, т/га
<i>Чернозем обыкновенный, кукуруза на зерно, первый год освоения</i>					
Богара	4,85	–	–	–	–
1 м – расчетная норма	8,85	4,80	1850	385	0,259
0,6 м	6,90	2,05	700	341	0,293
0,8 м	7,68	3,03	1280	422	0,237
1,3 м	8,90	4,85	2490	513	0,195
<i>Соя на зерно, четвертый год освоения</i>					
Богара	2,38	–	–	–	–
1 м – расчетная норма	3,25	0,87	1860	2140	0,047
0,6 м	2,68	0,30	1080	3600	0,028
0,8 м	3,15	0,77	1440	1870	0,053
1,3 м	3,03	0,65	2340	3600	0,028

Вариант	Урожай- ность, т/г	Прибавка, т/га	Ороси- тельная норма, м ³ /га	Расход оро- сительной воды на 1 т прибавки, м ³	Выход дополнитель- ной продукции на 100 м ³ /га, т/га
<i>Чернозем обыкновенный, озимая пшеница, первый год освоения</i>					
Богара	3,23	–	–	–	–
1 м – рас- четная норма	3,50	0,27	430	1592	0,063
0,6 м	3,53	0,30	260	867	0,115
0,8 м	3,70	0,47	350	745	0,134
1,3 м	2,87	–	520	–	–
<i>Кукуруза на силос, второй год освоения</i>					
Богара	20,3	–	–	–	–
1 м – рас- четная норма	33,0	12,7	500	39,3	2,54
0,6 м	25,7	5,4	300	55,6	1,80
0,8 м	29,5	9,2	400	43,5	2,30

Режим орошения устанавливает сроки и нормы поливов в расчете на год определенной влагообеспеченности. Но прежде чем спроектировать режим орошения, необходимо знать биологические оптимальные нормы водопотребности сельскохозяйственных культур или оросительные. Разработаны они для всех орошаемых регионов с учетом климатических, почвенно-мелиоративных условий, а также особенностей выращиваемых культур. С этих позиций режим орошения устанавливается таким, который требует культура. В то же время оптимум влажности почвы для каждой культуры разный (табл. 75). Эти особенности культур следует учитывать как при выборе видов и способов полива, а так и назначении сроков их проведения.

Режимы орошения включают в себя различные виды поливов: влагозарядковые, предпосевные, вегетационные. Влагозарядковые поливы, которые используются в течение всего вегетационного периода, необходимы для создания влаги. В первую очередь они требуются для озимых (пшеница, ячмень, рожь), а также для культур

с продолжительным вегетационным периодом. К ним относятся яровые (ячмень, пшеница), кукуруза, многолетние травы. Для этих культур влагозарядковые поливы особенно эффективны с сухим маем и июнем. Они должны сочетаться с вегетационными поливами.

Таблица 75

Оптимум влажности почвы для различных культур

Содержание воды в почве, % от полевой влагоемкости				
100	100-80	80-70	70-60	< 60
Рис	Мандарин Фейхоа Чай Мята перечная Огурец	Картофель Гречиха Смородина Горох Капуста Клевер Овес Кукуруза Соя Конопля	Свекла Люцерна Пшеница Рожь Ячмень Хлопчатник Подсолнечник Виноград	Тамарикс Люцерна Маш Просо Сорго Горчица Лен

Для культур со слабой корневой системой, глубина проникновения которой не превышает 80-100 см, решающее значение имеют вегетационные поливы. Прежде всего они необходимы для овощных культур (огурец, капуста, томат и др.).

Предпосевные поливы проводятся для всех культур, если невозможно получить всходы, т.е. в годы с засушливой весной. Из множества разработанных методов установления сроков полива наиболее теоретически обоснованным является метод по фазам и периодам роста растений, т.е. по выявлению критического периода в потреблении влаги.

Усиленная потребность в воде у сельскохозяйственных культур проявляется в основном в начальные периоды, когда происходит максимальное развитие листовой, корневой или зерновой массы. Каждая культура имеет свой критический период. Недостаток влаги в этот период может привести к гибели растений. Эти периоды, или критические фазы развития сельскохозяйственных культур, представлены в табл. 76.

Критические фазы развития сельскохозяйственных культур

Озимые	Выход в трубку-налив зерна
Кукуруза	За 10 дней до выметывания, 20 дней после массового выметывания
Зернобобовые	Бутонизация-цветение
Корнеплоды	Развитие листьев, формирование и рост корней
Картофель	Бутонизация, массовое клубнеобразование

Критические фазы особенно четко проявляются у таких культур, как озимая пшеница, ячмень, кукуруза, соя, сорго. По зонам увлажнения они протекают в разные сроки.

В основе управления плодородием орошаемого агроландшафта лежит режим орошения сельскохозяйственных культур, который не только является лимитирующим фактором и гарантом получения запланированного урожая, но и выступает в качестве определяющего фактора сохранения плодородия почв в конкретных природно-климатических условиях.

Дополнительное увлажнение и неизбежно сопровождающие его инфильтрационные потери влаги изменяют водный режим территории на локальном и региональном уровнях. На территории оросительной системы и в прилегающей зоне происходит подъем уровня грунтовых вод, сопровождаемый изменением солевого режима. Многочисленные работы И.П. Айдарова, Н.И. Парфеновой, Д.М. Каца и других, многолетние исследования ученых РосНИИПМ, ВолжНИИГиМ отражают зональные особенности орошаемых почв и указывают на необходимость снижения оросительных норм при проведении системы агротехнических и агролесотехнических мелиораций в 1,5-2,5 раза по сравнению с ранее рекомендованными. Таким образом, одним из первоочередных мероприятий по восстановлению и сохранению плодородия почв на существующих оросительных системах должно стать изменение режима орошения, которое позволит улучшить гидрологические и почвенно-мелиоративные условия орошаемых земель.

Система требований и ограничений воздействий на почвенное плодородие системы поливов, предназначенная для использования

в разработке автоматизированной технологии управления поливами, предусматривает:

- обеспечение благоприятного водного и пищевого режимов пахотного горизонта почвы;
- предотвращение ухудшения мелиоративной обстановки: подъема уровня грунтовых вод, засоления, осолонцевания, снижения содержания гумуса в региональных почвах;
- предупреждение разрушения агроструктуры пахотного горизонта почв и их уплотнения, загрязнения почвогрунта, грунтовых вод и водоисточников нитратами, тяжелыми металлами, радионуклидами и пестицидами;
- избежание неблагоприятного изменения рН почвенного раствора.

Экологически обоснованный режим орошения сельскохозяйственных культур должен обеспечивать повышение производительности земледелия, получение агроэколого-экономически целесообразного количества продукции растениеводства высокого качества, сохранение и повышение (по возможности) почвенного плодородия, рациональное использование водных ресурсов, отвечающее требованиям сохранения благоприятной мелиоративной обстановки орошаемой и прилегающей к ней территории.

В условиях платного водопользования установление научно обоснованных оросительных и поливных норм в орошаемом земледелии является одним из основополагающих факторов, определяющих рентабельность возделывания той или иной сельскохозяйственной культуры. Неконтролируемость поливных норм может привести к резкому ухудшению мелиоративного состояния и плодородия почв. С этой точки зрения необходимо применение дифференцированных режимов орошения с учетом биологических особенностей сельскохозяйственных культур, почвенных и гидрологических условий. Нарушение сроков полива в критические периоды вегетации сельскохозяйственных культур резко снижает их продуктивность и качество урожая и в последующих поливах приводит к непроизводительной трате воды на орошение.

При установлении экологически безопасных норм водопотребности при орошении необходимо учитывать следующие факторы:

- агроландшафтные особенности территории;
- биологические особенности вида орошаемой сельскохозяйственной культуры и возделываемого сорта (продолжительность вегетационного периода, интенсивность нарастания и спада суммарного испарения), влияние объема водоснабжения на количество и качество продукции и др.;
- вид и назначение продукции, для получения которой возделывается культура, определяющие продолжительность оросительного периода, и требующийся уровень водообеспечения растений;
- климатические условия и метеорологическая обстановка конкретных лет, от которых зависят эвапотранспирация и степень обеспечения ее естественными осадками;
- почвы орошаемых полей, пестрота почвенного покрова по водно-физическим свойствам почв;
- гидрогеологические условия (водопроницаемость зоны аэрации, глубина залегания и минерализация грунтовых вод);
- макро-, мезо- и микрорельеф полей, определяющие эрозионно допустимую норму полива, потери на поверхностный сток, величину фильтрационных потерь;
- технические характеристики оросительной сети, способы и техника полива, определяющие потери воды на фильтрацию, испарение, технические сбросы и др.;
- качественный уровень оперативного планирования орошения и управления им, от чего зависят уровень и эффективность использования водных ресурсов.

Полив сельскохозяйственных культур должен проводиться без стока за пределы поливного участка. Достоковая норма и продолжительность полива до образования луж зависят от интенсивности дождя и впитывающей способности почвы.

Пестрота увлажнения, переполив, недополив будут исключены в том случае, если характеристики дождя будут обеспечивать полную его впитываемость, а его средняя интенсивность – соответствовать средней скорости впитывания воды почвой.

Величина достоковой поливной нормы должна рассчитываться на основе показателей коэффициента инфильтрации почвогрунта и показателей качества дождя используемой для полива дождевальной

техники. Эта же поливная норма является методической основой оценки для определения влияния превышения поливной нормы до стоковой на потенциальную опасность усиления эрозионных процессов в зависимости от рельефа, степени покрытости поверхности почвы растительностью.

Таким образом, к основным требованиям экологически целесообразного поливного режима сельскохозяйственных культур относятся:

- дифференциация нижнего предела увлажнения посевов по фазам и поддержание его в необходимом диапазоне (85-60% НВ) в корнеобитаемом слое в соответствии с изменяющейся в период вегетации потребностью растений во влаге, гранулометрическим составом и плодородием почв, мелиоративным состоянием территории и погодными условиями агроклиматического района;

- соблюдение принципа поддержания поливами наиболее высокого уровня увлажнения посевов (до 80-85% НВ) в «критические» периоды развития растений лишь в засушливые годы, в годы умеренного атмосферного увлажнения или влажные – в пределах 65-75% НВ;

- строгое распределение водоподачи в вегетационный период культур с учетом испаряющей способности приземного слоя (засушливости периода), недопущение длительного переувлажнения верхних слоев почвы и потерь влаги за пределы корнеобитаемого горизонта (в большей степени проявляется в начале и конце вегетации), оптимизация объема поданной оросительной воды в середине периода, совпадающего с наибольшей потребностью растений в воде;

- обоснование системы поливов на посевах с расчетом использования исходных запасов влаги из почвы растениями не менее 15-25% величины суммарного испарения, что без существенного снижения урожайности позволяет уменьшить оросительные нормы и предотвратить формирование промывного режима на поле;

- применение на посевах сельскохозяйственных культур невысоких норм полива на гумусированных почвах тяжелого гранулометрического состава – в пределах 250-350 м³/га в начале вегетации и не более 400-450 м³/га в середине периода, что значительно сокращает поверхностный сток и уменьшает вероятность перераспределения

влаги в пониженные элементы рельефа, служащие источником питания грунтовых вод при длительном орошении;

- ограничение поливных норм до 200-350 м³/га и сведение количества их подачи к минимуму на участках с глубиной залегания грунтовых вод не менее 3 м от поверхности, полное исключение поливов на полях с УГВ 1-2 м;

- исключение влагозарядковых поливов на черноземных почвах, а при необходимости (в засушливый период) замена их предпосевными поливами невысокой нормой (например, под озимую пшеницу или весной под кукурузу), рассчитанными лишь на увлажнение пахотного слоя почвы до 80-85% НВ.

Следует переходить на циклический вид орошения, сочетающий орошаемые и неорошаемые режимы, позволяющие сократить водные нагрузки на почвы и сохранить их плодородие.

4.4. Агротехнические мероприятия

■ 4.4.1. Обработка почв

Применение традиционных приемов обработки почвы на орошаемых землях не способствует сохранению почвенного плодородия. В связи с этим необходимо периодически использовать другие приемы, чтобы не допускать отрицательного влияния. Поэтому обработка почвы в условиях орошения имеет особенности, связанные с ее уплотнением, снижением водо- и воздухопроницаемости, биологической активности. Кроме того, при поливах почва расплывается, в результате чего образуется почвенная корка, препятствующая прорастанию семян. В этом случае необходимо применение рыхлящих почвообрабатывающих орудий.

На орошаемых землях участки должны быть спланированы, так как переувлажнение почв и любой застой воды в понижениях приводят к формированию различной физической спелости, что осложняет обработку почвы, продвижение дождевальных и других агрегатов.

Основная обработка почвы при орошении определяется ее влажностью, наличием сорняков, способом и видом полива (предпахотный, влагозарядковый и др.).

При зяблевой обработке пересохшей почвы недостаток влаги для создания физической спелости восполняется предпахотным поливом. При этом создаются условия для прорастания семян сорняков, всходы которых устраняются лущением, культивацией или боронованием.

С особой тщательностью на орошаемых землях проводится предпосевная обработка почв, так как на поверхности необходимо создавать мелкокомковатую структуру, выравнивать ее и уничтожать сорняки. На орошаемых землях под культуры ранних сроков посева ранневесеннее боронование заменяют культивацией при наступлении физической спелости почвы. Под культуры поздних сроков посева проводят две культивации с боронованием: первая – на глубину 10-12 см, а вторая – на глубину посева семян. Для лучшего выравнивания поверхности почвы культивации целесообразно проводить поперек или под углом к направлению вспашки.

Глубина культивации определяется способом полива и степенью уплотненности почвы. При влагозарядковых поливах на сильноуплотненных почвах необходимо глубокое рыхление чизель-культиватором. При поливах по бороздам и полосам предпосевная обработка должна быть увеличена на 3-4 см против стандартной глубины вспашки.

Послепосевная обработка почвы на орошаемых участках проводится для устранения почвенной корки и создания рыхлой почвы. Для этого применяют легкие зубовые или сетчатые бороны, ротационные мотыги.

Основной особенностью обработки почвы в условиях орошения является соблюдение принципа разноглубинности – чередование глубокой вспашки с мелкой. Этот же принцип сохраняется и при проведении междурядных обработок.

Для снижения отрицательного влияния орошения на свойства почвы периодически следует применять глубокое безотвальное рыхление, щелевание, фрезерование.

Щелевание способствует увеличению скорости впитывания дождевых и оросительных вод в 2,0-2,5 (при обработке на 0,25-0,30 м)

и 3,5-4,0 раза (при обработке на 0,35-0,40 м), равномерному увлажнению поля, устранению возможности возникновения почвенной корки, снижению водопотребления сельскохозяйственных культур на 17-25%.

Фрезерование дает возможность довести плотность почвы в пахотном горизонте до оптимальных параметров – 1,0-1,1 т/м³, снизить засоренность посевов (посадок) более чем в 2 раза и коэффициенты водопотребления сельскохозяйственных культур на 16-31%.

Глубокое безотвальное рыхление позволяет уменьшить плотность сложения почвы в слое 0,5 м на 9-11%, увеличить общую порозность в подпахотном горизонте на 9%, повысить температуру почвы в ранневесенний период на 0,9-1,4°C, ускорить полевые работы в весенний период.

Эти приемы направлены на разуплотнение почв, снижение плотности сложения, увеличение порозности и скорости фильтрации. Поэтому при орошении на фоне общепринятой технологии выращивания сельскохозяйственных культур необходимо сделать акцент на применение названных агроулучшающих приемов.

■ 4.4.2. Удобрения

В условиях орошения возрастает роль удобрений, так как рост урожайности сельскохозяйственных культур приводит к потере элементов питания из почвы. Увеличение доз минеральных удобрений для получения больших урожаев очень часто вызывает загрязнение не только окружающей среды, но и производимой сельскохозяйственной продукцией.

В связи с этим на орошении следует отдавать предпочтение биологизированной системе удобрений – органической – это навоз крупного рогатого скота, птичий помет, солома, сидераты, применение которых позволяет уменьшить внесение минеральных удобрений, получить конкурентоспособную продукцию, повысить плодородие почв.

У каждой сельскохозяйственной культуры есть свои критические периоды в развитии при нехватке элементов питания, что остро вы-

ражается в недоборе урожая. Поэтому следует учитывать периодичность питания растений, которая является теоретическим обоснованием дифференцированного внесения планируемых доз удобрений (прил. Р, С).

Важное условие для развития растений – одновременное наличие в почве воды, воздуха и питательных веществ. Наиболее интенсивно растение поглощает питательные вещества из того слоя почвы, который достаточно хорошо увлажнен и куда легко поступает воздух. Проведение мероприятий по внесению оптимального количества питательных веществ в почву соответствует тому, что дозы удобрений в большей степени заделываются на ту глубину, где растение может наиболее легко их усвоить. Все элементы минерального питания поступают в растения через корневую систему, поэтому удобрения следует помещать в горизонт наибольшей развитости корневой системы. Способ внесения удобрений определяется временем внесения, способом распределения по полю и глубиной их заделки в почву.

В зависимости от времени внесения и целевого назначения удобрения делят на основные, припосевные и подкормки. Способы внесения минеральных удобрений следует разделять на сплошной и дифференцированный. Сроки внесения удобрений не следует ограничивать временными рамками, они должны корректироваться в зависимости от потребностей культуры и назначения проводимого мероприятия (подкормка или основное внесение). Выражаются эти мероприятия проведением различных приемов внесения питательных веществ относительно начала фаз вегетации.

Выбор способа внесения элементов питания решает вопросы:

- создания условий максимальной доступности питательных веществ для растений;
- обеспечения растений элементами питания на всех стадиях развития, особенно в критические периоды;
- сокращения возможных потерь элементов питания на фильтрацию в горизонты ниже корнеобитаемого слоя.

Основное удобрение следует вносить до проведения посевных работ с последующей заделкой или во время посева или посад-

ки сельскохозяйственной культуры. Его равномерно распределяют по поверхности поля сеялками или разбрасывателями. Определяя глубину заделки основного удобрения, следует учитывать его подвижность в почве, гранулометрический состав, динамику поступления питательных веществ в растение (табл. 77).

Таблица 77

**Динамика поступления питательных веществ в растение
(% от внесенной дозы удобрений)**

Фаза роста	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
<i>Озимая пшеница</i>			
Осенний период и ранняя весна	49	35	40
Начало колошения	70	65	65
Цветение	90	90	90
Начало созревания	95	95	99
Полная спелость	99	99	80
<i>Ячмень</i>			
Начало колошения	70	55	70
Цветение	95	74	99
Полная спелость	99	99	60
<i>Овес</i>			
Выбрасывание метелки	50	35	55
Цветение	80	70	99
Начало созревания	90	80	88
Полная спелость	99	99	80
<i>Кукуруза</i>			
Выход в трубку	20	10	10
Начало цветения	35	15	30
Полное цветение	60	15	50
Образование початков	99	60	95
Созревание	99	99	99
<i>Картофель</i>			
Бутонизация	20	20	25
Цветение	40	70	75
Через месяц после цветения	90	99	99
Созревание	99	75	80

Передвижение питательных веществ различных удобрений происходит неодинаково. Наиболее подвижен азот нитратов, менее – аммонийный азот, еще меньше – калий. Фосфор почти не передвигается в почве, а остается в месте внесения. Глубокая заделка нитратных удобрений может привести к удалению азота от наиболее активной части корневой системы из-за вымывания. Наилучший способ применения фосфорных и калийных удобрений – запахивание на глубину 25-30 см. Не рекомендуется внесение фосфорных и калийных удобрений на поверхность почвы с вегетирующими растениями, если нельзя провести глубокую обработку всего участка. Исключения составляют многолетние травы.

На тяжелых почвах основное удобрение лучше всего применять осенью с заделкой в пахотный слой. В таком случае основная масса распределится в слое 5-20 см. Удобрять пропашные культуры (картофель, свекла, кукуруза и др.) можно таким же способом.

На легких почвах осенью можно вносить все фосфорные удобрения, а из калийных – сырые и смешанные 40%-ные соли. Большая часть содержащегося в них хлора, отрицательно действующего на многие культуры, вымывается до весны в нижние слои почвы. Другие калийные и все азотные удобрения на легких почвах вносить осенью не рекомендуется. Совместимость минеральных удобрений представлена в табл. 78.

Припосевное внесение удобрений в небольших количествах рекомендуется при посеве семян, посадке клубней, рассады. Назначение припосевного внесения удобрений – обеспечить будущие молодые растения легкодоступными питательными элементами в первый период роста, когда растения чувствительны как к избытку, так и к недостатку питательных веществ, поэтому мониторинг состояния почвенного плодородия является обязательным мероприятием при планировании посевных работ.

Совместимость минеральных удобрений

Удобрение	Аммиачная селитра	Сульфат аммония	Мочевина	Суперфосфат простой	Суперфосфат двойной	Преципитат	Фосфоритовая мука	Аммофос. Диаммоний-фосфат	Калийная соль, 40%
Аммиачная селитра	М	П	Н	Н	П	П	П	П	П
Сульфат аммония	П	М	П	М	М	М	М	М	П
Мочевина	Н	П	М	Н	П	П	П	П	П
Суперфосфат простой	Н	М	Н	М	М	М	М	М	П
Суперфосфат двойной	П	М	П	М	М	М	М	М	П
Преципитат	П	М	П	М	М	М	М	М	П
Фосфоритовая мука	П	М	П	М	М	М	М	М	П
Аммофос. Диаммоний-фосфат	П	М	П	М	М	М	М	М	П
Калийная соль, 40 %	П	П	П	П	П	П	П	П	М

Примечание. м – смешивать можно; н – смешивать нельзя; п – смешивать можно непосредственно перед внесением.

На основании полученных данных рекомендуется не сплошное внесение полной дозы, а дифференцированный подход. Для зерновых культур лучше внести пониженную дозу удобрений, а недостаток внести с подкормкой, чем сразу использовать полную дозу, которую в течение вегетационного периода придется уточнить для проведения подкормок. Припосевное внесение удобрений лучше всего проводить комбинированными сеялками, которые заделывают питательные элементы на 2,5-5 см ниже заделки семенного материала. Подкормку следует использовать как дополнительный прием, позволяющий лучше обеспечить растения определенным элементом питания во время их роста. Для этого следует использовать хорошо растворимые в воде минеральные удобрения, содержащие питательные вещества, необходимые растениям именно в данный период.

Эффективна подкормка кукурузы, озимых зерновых культур, многолетних трав, картофеля, овощей. Чаще всего растения подкармливают азотом. Подкормка фосфорными и калийными удобрениями целесообразна при орошении или если эти удобрения не были внесены во время предпосевной обработки почвы.

Азотные удобрения под пропашные культуры вносят весной при вспашке или предпосевной культивации почвы. Сульфат аммония на суглинистых почвах можно вносить осенью. Чтобы получить высокие урожаи овощей и кукурузы достаточно, кроме основного удобрения, провести одну раннюю подкормку азотными удобрениями. Азот оказывает положительное действие и на урожай зерновых культур, особенно озимых. Если под озимые вносить навоз или сидераты, то дозы азотных удобрений следует уменьшить. Азотные удобрения под озимые культуры (особенно на подзолистых и серых лесных почвах) лучше всего вносить поровну в два приема: во время предпосевной культивации и весной в подкормку. При более высоких дозах азота (100-120 кг/га) целесообразно его часть (30-40 кг) дать во вторую подкормку – в период колошения. Этот прием повышает содержание белка в зерне на 1,5-2%.

Из фосфорных удобрений наиболее доступна фосфоритная мука. Возможность широкого ее применения в сельском хозяйстве обусловлена большими запасами фосфоритов, месторождения которых имеются во многих местах нашей страны.

Из-за малого содержания фосфора, растворимого в воде, фосфоритную муку не используют для внесения в рядки и поверхностной подкормки культур. Ее применяют как основное фосфорное удобрение для моркови, томатов, сахарной и столовой свеклы, льна, конопля, кукурузы, гречихи, гороха, кормовых бобов, люпина и других культур и вносят до посева при глубокой заделке в кислые почвы.

Под озимые культуры фосфоритную муку вносят после уборки парозанимающей культуры, при зяблевой вспашке или весенней перепашке почвы как в чистом виде, так и в смеси с органическими и другими минеральными удобрениями – сульфатом аммония и калийными солями. При использовании в чистом виде переход фосфорных солей в доступную для растений форму происходит под действием кислотности почвы.

Действие фосфоритной муки на урожайность культур мало уступает действию суперфосфата при правильном использовании ее в таких же дозах (по фосфору), как и суперфосфата.

Припосевное внесение суперфосфата сразу после появления ростков провоцирует растения к развитию и укреплению корневой системы, повышает их сопротивляемость неблагоприятным погодным условиям, болезням и вредителям. Для этого пригодны только водорастворимые фосфорные удобрения. Труднорастворимые фосфаты – фосфоритную муку, фосфатшлаки, обесфторенные фосфаты использовать для этих целей не следует. Припосевное внесение суперфосфата под озимые культуры положительно влияет на их зимостойкость.

При орошении первостепенное значение имеет глубина заделки основной дозы фосфорного удобрения, так как в почве происходит незначительное передвижение ионов фосфорной кислоты. В условиях водных мелиораций фосфат-ионы перемещаются не более чем на 5 см, без орошения на тяжелых почвах – на 0,5-1,5 см. Мелко заделанные в почву удобрения будут перемешаны с пахотным слоем при очередной перепашке. Но этот прием окажет положительное действие лишь на последующие культуры, а не на те, под которые внесены фосфорные удобрения.

Глубина вспашки почвы под какую-либо культуру определяется и глубиной заделки основного удобрения. Если основного фосфор-

ного удобрения было внесено недостаточно, то при выращивании пропашных культур фосфор можно внести в виде подкормки и во время междурядных обработок, заделывая в почву на 10-16 см.

Калийные удобрения без азотных и фосфорных не дают экономически оправданной прибавки урожая. В то же время калийные соли необходимы растениям. Только применение смеси азотных, фосфорных удобрений вместе с калийными обеспечивает высокий урожай картофеля, кукурузы, сахарной свеклы и овощей – культур, требовательных к наличию калия в почве. Калийное удобрение в чистом виде с большим эффектом может использоваться лишь на песчаных, переувлажненных или пойменных почвах, увлажненных лугах. Однако и здесь их действие повышается, если одновременно вносят и фосфорные удобрения. На таких почвах все удобрения вносят весной, на суглинистых почвах все виды калийных удобрений лучше вносить под вспашку.

Действие сложных удобрений и смесей из простых удобрений при одинаковой дозе внесения азота, фосфора и калия примерно одинаково. Преимущество сложных удобрений состоит в том, что их не надо измельчать и смешивать. Выпускаются они в виде гранул, их физические свойства (сыпучесть, высеваемость) значительно лучше, чем физические свойства смесей из простых удобрений. Однако следует учитывать, что состав сложных удобрений и соотношение в них азота, фосфора и калия определены технологией производства и не всегда оптимальны для различных культур и вида почвы.

Одним из сложных удобрений является нитрофоска. Вносят ее только на почвы, где выявлен одновременный дефицит всех элементов питания. Наиболее целесообразно сложные удобрения с одинаковым содержанием азота, фосфора и калия применять в качестве основного под картофель, кукурузу, столовые корнеплоды, сахарную свеклу.

Расчет и внесение оптимальных доз минеральных удобрений в соответствии с потребностями растений и свойствами является одним из наиболее важных вопросов агротехники (рис. 6).

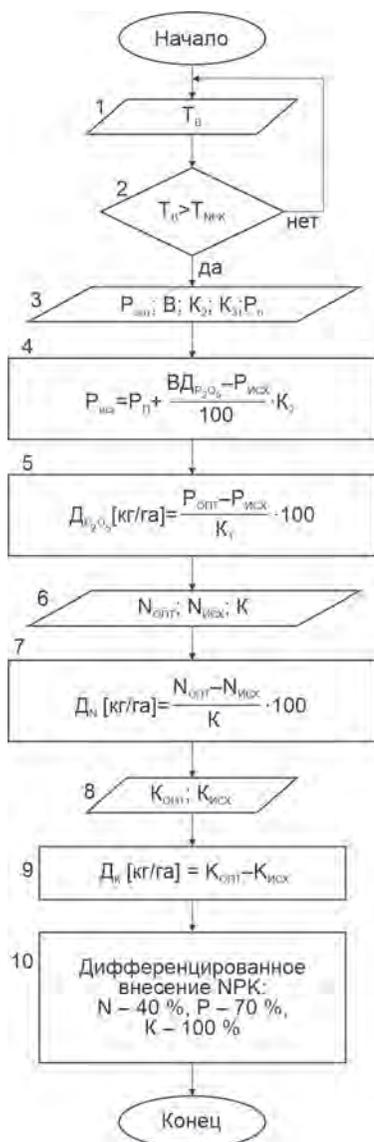


Рис. 6. Алгоритм для дифференцированного расчета и внесения доз минеральных удобрений

Количество потребленных растениями питательных веществ из почвы и из внесенного удобрения определяют по величине их выноса с урожаем (см. прил. С). Для определения количества вынесенных питательных веществ необходимо ориентироваться на период максимального их содержания в растениях. Этот период приходится на начальную фазу созревания.

Согласно рис. 6, T_B – срок вспашки; T_{NPK} – срок внесения удобрений; P_{OPT} – оптимальное содержание P_2O_5 в почве, мг/кг; $P_{ИСХ}$ – исходное содержание P_2O_5 в почве, мг/кг; K_1 – увеличение содержания P_2O_5 в почве осенью, мг/кг; $BD_{P_2O_5}$ – доза P_2O_5 , внесенная под первую культуру, кг/га; B – вынос P_2O_5 урожаем первой культуры, кг/га; K_2 – содержание остаточного фосфора удобрений, мг/кг; P_{II} – содержание P_2O_5 в почве (до внесения P_2O_5 под первую культуру), мг/га; D_N – доза нитратного азота натрия, кг/га; N_{OPT} – оптимальное содержание нитратного азота в слое 0-100 см весной, кг/га; $N_{ИСХ}$ – содержание нитратного азота осенью после уборки предшественника, кг/га; K – увеличение запасов нитратного азота в слое 0-100 см от 100 кг/га азота удобрений, вносимых дробно, кг/га; D_K – доза обменного калия, кг/га; $K_{ИСХ}$ – исходное содержание обменного калия в почве, кг/га; K_{OPT} – оптимальное содержание обменного калия в почве, кг/га.

При определении доз и норм удобрений необходимо также исходить из наличия в почве подвижных форм питательных веществ. Даже в пределах одного агроценоза содержание питательных элементов неодинаково. Поэтому так важно в условиях ресурсосбережения использовать дифференцированные технологии внесения удобрений, а также проводить постоянный мониторинг плодородия почвы, наличия в ней питательных веществ и уточнять запланированные дозы удобрений.

Для расчета уточненной дозы удобрения, помимо величины общего потребления питательных веществ планируемым урожаем и величины содержания в почве питательных веществ в доступной форме, требуется знать коэффициент использования питательного вещества почвы и коэффициент использования питательного вещества удобрения. Эти коэффициенты изменяются в зависимости от многих условий – возделываемой культуры, состояния почвы, при-

менения сопутствующих удобрений, режимов орошения и др. Поэтому можно использовать приближенные коэффициенты, дифференцированные по группам культур.

Необходимо учесть, что количество питательных веществ, содержащихся в почве, влияет на величину коэффициента их использования: чем больше питательных веществ содержит почва, в том числе с поступившими в нее удобрениями, тем ниже этот коэффициент. Определение процента использования растениями питательных веществ почвы осложняется тем, что азотные и фосфорные удобрения способствуют лучшему использованию калия из почвы, а азотные и калийные удобрения повышают использование фосфора из почвы. Коэффициент использования растениями питательных веществ удобрений должен также быть дифференцирован в зависимости от возделываемой культуры и агротехнических условий применения удобрений. Этот коэффициент также изменяется в зависимости от количественного содержания того или иного питательного вещества в почве.

При расчетном методе установления доз удобрений могут не применяться следующие усредненные показатели коэффициентов использования различными культурами их (табл. 79).

Таблица 79

Коэффициент использования удобрений, %

Культура	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Овес, ячмень, пшеница	60-70	10-15	20-30
Картофель	50-70	10-15	20-30
Капуста	40-50	20-25	60-70
Многолетние травы	20-25	15-20	20-25
Лен	40-50	10-20	20-30

Технология применения удобрений включает в себя все работы, связанные с их производством (органические удобрения), транспортировкой, хранением, подготовкой к внесению и внесением. Важнейшим показателем оценки выполнения работ является соблюдение рекомендуемой нормы внесения удобрений. При осуществлении технологии дифференцированного внесения удобрений допускается

поддержание неравномерности использования минеральных удобрений до 25%, а органических – до 30%. В итоге от качества выполнения всех технологических операций по применению удобрений зависят урожайность и эффективность системы питания всего агроценоза.

Применение органических и минеральных удобрений – основной способ повышения продуктивности сельскохозяйственных угодий. Внесение навоза и сидератов является повторным использованием питательных веществ, которые ранее уже участвовали в создании урожая.

Наряду с тем, что органические вещества являются не только источником питания для сельскохозяйственных культур, их внесение повышает содержание углекислого газа. Для формирования урожая зерновых культур ежедневно требуется около 100 кг/га CO_2 , а для получения урожайности картофеля и овощных культур 40-50 т/га – 200-300 кг/га. При внесении в почву 30-40 т навоза в период его интенсивного разложения количество ежедневно выделяемого CO_2 по сравнению с неудобренным участком возрастает на 100-200 кг/га.

Внесение органических удобрений – одна из наиболее важных ступеней в интенсивном сельскохозяйственном товаропроизводстве для повышения почвенного плодородия. При использовании удобрений улучшаются физико-химические показатели почвы и подвижность в ней микроэлементов, возрастают емкость поглощения и степень насыщенности почвы основаниями, повышается буферность. Внесение органических удобрений вместе с минеральными создает благоприятные условия для выращивания высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Однако их можно получать и при внесении только минеральных или органических удобрений. При правильном их сочетании устраняются специфические недостатки обоих видов удобрений.

Следует учитывать, что минеральные удобрения – быстродействующие. Содержащиеся в них питательные вещества могут усваиваться растениями с момента внесения в почву. С помощью минеральных удобрений легче проследить динамику потребности растений в питании в зависимости от периода вегетации. Однако интенсив-

ное использование может привести к высокой концентрированности их в почве, что негативно сказывается на формировании урожая и ухудшает качество получаемой продукции. Вероятность подобных ситуаций велика на легких почвах при внесении высоких доз минеральных удобрений. Такие культуры, как огурец и кукуруза очень чувствительны к повышенной концентрации почвенного раствора, особенно в первый период вегетации. Для них совместное внесение органических и минеральных удобрений имеет явное преимущество перед внесением только минеральных.

Основной способ применения подстилочного навоза – внесение его под вспашку и заделка во влажный слой почвы. Доза вносимого навоза должна рассчитываться в зависимости от степени его разложения, культуры, которая будет произрастать после его внесения, почвенных и климатических условий.

На повышенные дозы навоза отзывчивы пропашные культуры. Для культур, используемых на зеленый корм, силос, овощные культуры, картофель и другие корнеплоды, дозы должны быть больше на 10-15%, чем при стандартном расчете на планируемую урожайность. При расчете для зерновых культур вносимая доза должна равняться расчетной. Для формирования высокопродуктивного агроценоза при использовании органических удобрений в севооборот следует включать наиболее отзывчивые культуры на внесение органики. К таким культурам относятся кукуруза, огурец, картофель, свекла, озимые. Другие культуры преимущественно являются требовательными к оперативному поступлению питательных веществ в критические периоды и, соответственно, под них необходимо вносить минеральные удобрения. Для бездефицитного баланса гумуса и органического вещества в севооборотах с одним-двумя полями многолетних трав ежегодно требуется в среднем 8-10 т/га навоза на суглинистых почвах и 15-20 т/га – на легких.

Требования к степени разложения навоза зависят от ряда условий. В засушливых районах предпочтение отдается перепревшему навозу, а осенью можно вносить свежий. Культуры с более коротким вегетационным периодом лучше развиваются при применении более разложившегося навоза, в то время как поздно убираемые культуры и озимые зерновые хорошо используют и менее разложившийся.

Эффективность навоза при технологии дифференцированного внесения во многом зависит от того, насколько полно он перекрывает пестроту агроценоза.

Глубина заделки навоза под вспашку должна проводиться на глубину 15-30 см в зависимости от конкретных условий. Незапаханный навоз теряет весь аммиачный азот в первые несколько дней. С глубиной заделки связаны скорость разложения навоза в почве и степень использования его питательных веществ первой удобряемой культурой. При мелкой заделке органических удобрений во влажной почве его разложение протекает интенсивнее. Глубокая заделка, особенно в переувлажненную почву, затрудняет этот процесс вследствие слабой аэрации. При недостатке влаги в почве (в засушливых районах) мелкая заделка ухудшает условия разложения навоза и ведет к более сильному иссушению почвы.

На тяжелых почвах требуется относительно более мелкая заделка навоза, на легких – более глубокая. В засушливых районах или в сухую почву его запахивают глубже, чем в хорошо увлажненную в районах, обеспеченных влагой.

Навоз, особенно внесенный высокими дозами, обладает сильным прямым действием и длительным последствием. Как правило, прибавки урожая за ряд лет последствия удобрения бывают выше, чем от его прямого действия. Если у прибавок урожая от навоза принять за 100%, то доля от его последствия составляет 60-80%. Длительность последствия навоза зависит от гранулометрического состава почвы. Так, на глинистых и суглинистых почвах оптимальные дозы навоза оказывают заметное действие на урожай иногда в течение всей ротации 7-8-польного севооборота. На песчаных почвах вследствие более быстрого разложения удобрения его последствие менее продолжительно – два-три года.

Вносить бесподстилочный навоз на поля можно по следующим технологическим схемам:

- хранилище – трубопровод – полевое хранилище – дождевальная установка (или цистерна-разбрасыватель) – поле;
- хранилище – трубопровод – дождевальная установка (или цистерна-разбрасыватель) – поле;
- хранилище – цистерна-разбрасыватель – поле;

- разделение навоза на твердую и жидкую фракции.

Существуют и другие схемы внесения бесподстилочного навоза на поля. Запахивают его с измельченной соломой, оставленной на поле после уборки.

При дождевании навоз предварительно разбавляют в 8-10 раз водой в смесительной камере в вегетационный период и в 2-3 раза – во вневегетационный. Строительство оросительной сети для внесения только бесподстилочного навоза без сочетания орошения посевов чистой водой экономически невыгодно.

Бесподстилочный навоз можно применять не только в качестве основного удобрения (т.е. до посева или посадки), но как подкормку. При внесении бесподстилочного навоза крупного рогатого скота (КРС) в подкормку применяется технология смешивания трех частей навоза с 97 частями воды и посредством ПЖУ-2000 рабочий раствор вносят на поле.

В связи с тем, что бесподстилочный навоз может иметь различную влажность, правильнее будет рассчитывать не дозы внесения жидких органических удобрений, а дозы азота, которые требуется внести на планируемую урожайность. При этом следует учитывать, что повышенные дозы аммонийного азота могут привести к загрязнению грунтовых вод и накоплению нитратов в растениеводческой продукции свыше предельно допустимого количества. Потребность растений в азоте за счет бесподстилочного навоза должна удовлетворяться примерно на 70-75%.

Вносить бесподстилочный навоз не рекомендуется с использованием цистерн-разбрасывателей для подкормки озимых и яровых зерновых культур и под первый укос многолетних трав первого года пользования ввиду возможного сильного механического повреждение посевов, а также образования навозной корки. В данном случае лучше проводить дождевание посевов жидкой фракцией бесподстилочного навоза. На пастбищах жидкую фракцию навоза можно использовать в течение всего периода вегетации, но не позднее чем за 21 день до стравливания (по санитарным требованиям). По санитарно-гигиеническим соображениям не разрешается применять бесподстилочный навоз под овощные культуры в период их вегетации.

Выбор техники зависит от площади хозяйства, севооборота, технологии выращивания сельскохозяйственных культур. Технику для проведения работ с удобрениями можно разделить на несколько групп:

- для подготовки удобрений, их погрузки и транспортировки;
- внесения жидких минеральных удобрений;
- для внесения твердых сыпучих минеральных удобрений;
- для внесения жидких органических удобрений.

Машины для подготовки удобрений, погрузки, транспортировки применяются в основном в том составе, который имеется в хозяйстве, и рекомендовать определенную технику для проведения данных мероприятий некорректно. В качестве примера для размельчения и просеивания туков следует отметить ИСУ-4 и его аналоги. Данный агрегат на дне бункера имеет выгрузные скребки, фрезы и ножи около рабочего органа и решетки. Слежавшиеся глыбы удобрений дробятся фрезой до фракций размером менее 1 см. Фракции, удовлетворяющие размеру, просеиваются через решетку. С днища они подаются к ротору. После дробления удобрения грузят в сеялки и разбрасыватели, такие как РМС-6, СТТ-10, СЗТМ-4Н, МХА-7, КСА-3 (центробежные и автомобильные).

Для транспортировки жидкого аммиака и аммиачной воды используют емкости, загружаемые в кузов грузового транспорта, для внесения в грунт – прицепные подкормщики ПЖУ-4500, ПЖУ-2000, АВА-8, АБА-0,5 и их аналоги. Данное оборудование соединяется с культиватором, глубокорыхлителем, чизельным плугом. Внесение необходимой дозы осуществляется изменением давления подаваемого рабочего раствора. Подобная техника может быть оснащена всасывающими и напорными фильтрами и мешалками. Посредством культиваторов и чизельных плугов жидкие минеральные удобрения вносятся на необходимую глубину.

Для внесения твердых минеральных удобрений рекомендуются сеялки типа РТТ и ее аналоги. Они предназначены для работы с порошками и гранулами. Производительность – до 1100 кг/га. Если необходимо перевозить минеральные туки с последующим их внесением, то используют РУМ-8 с шириной разбрасывания до 20 м.

Машины для внесения органических удобрений, как и техника, предназначенная для внесения и транспортировки минеральных удобрений, представлены в широком ассортименте. Примеры наиболее распространенных агрегатов:

- РОУ-5 – для разбрасывания навоза, торфа и компоста. Грузоподъемность – до 5 т, ширина разброса – 6 м;

- ПРТ-10 с возможностью дозировки туков. Грузоподъемность – 10 т, разброс – до 6 м;

- РУН-15Б – распределяет по полям органику, предварительно разложенную кучами в шахматном порядке. Объем разброса на 1 га – 15-60 т навоза или иных органических удобрений и веществ;

- МЛГ-1 – для заделки органических удобрений.

Существуют также устройства для распределения жидких подкормок: жиже-разбрасыватель РЖТ-8 и его аналоги. Объем цистерны – до 8 т. Аналогичную конструкцию и схему работы агрегатов имеют РЖТ-4,-16, МЖТ, ПЖТ. Техника комплектуется распределительным вакуумным и напорно-переключающим устройствами.

5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ И ВОСПРОИЗВОДСТВУ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ

5.1. Экономическая и экологическая эффективность агромелиоративных мероприятий

В мире происходит выбытие земель из сельскохозяйственного оборота, в связи с чем в мелиорации нуждается большинство почв. Россия – страна в наибольшей степени обеспечена земельными ресурсами, но в то же время только 13% этих ресурсов используется в сельском хозяйстве, а на долю самых ценных земель (пашни) приходится только 8%. Поэтому необходимо рационально использовать их и постоянно повышать производительность. Для сравнительного анализа экономической эффективности различных приемов химической мелиорации солонцовых почв использован метод расчета годового экономического эффекта на 1 га промелиорированной площади по формуле

$$\mathcal{E}_z = \mathcal{E}_i - EK, \quad (12)$$

где \mathcal{E}_i – стоимость дополнительной продукции, руб/га;

E – нормативный коэффициент, равный 0,15;

K – капитальные затраты, руб/га.

Коэффициент экономической эффективности капитальных затрат $\mathcal{E}_{к.з.}$ рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E}_{к.з.} = \frac{\Delta\Pi}{K}, \quad (13)$$

где $\Delta\Pi$ – прирост годовой прибыли, руб/га;

K – капитальные затраты, руб/га.

Окупаемость – отношение капитальных затрат к годовому экономическому эффекту в годах.

Сравнительный анализ эффективности почвенных мелиораций с различными мелиорантами и сочетаниями с навозом проведен по методике расчета экономической эффективности от применения нормативно-методической документации в области мелиорации бюджетными учреждениями, подведомственными Минсельхозу России.

В большинстве методик критериями эффективности являются объем полученной дополнительной продукции и чистый доход. Однобокость подхода к оценке комплексных мероприятий не позволяет считать экологический эффект, в частности почвенного плодородия.

Интегральным показателем, характеризующим экологическую функцию почвы, является гумусное состояние. От него зависят как водно-физические, так и физико-химические и биологические свойства почв. Чтобы оценить почвенное плодородие в денежном выражении, взята формула расчета стоимости плодородной почвенной массы прироста за год в среднемноголетнем ряду на площади мелиорации:

$$C_{\text{ПОТ}} = \Pi(C_z - C_y), \quad (14)$$

где $C_{\text{ПОТ}}$ – стоимость плодородной почвенной массы, наращенной за год на площади мелиорации;

Π – площадь мелиорации нетто, га;

C_z – стоимость гумуса, наращенного за год на каждом гектаре площади мелиорации:

$$C_z = \frac{10000 \cdot K_k \cdot M \cdot \Gamma \cdot \Pi_{\text{Oy}}}{100 \cdot K_o \cdot E} = \frac{100 \cdot K_k \cdot M \cdot \Gamma \cdot \Pi_{\text{Oy}}}{K_o \cdot E}, \quad (15)$$

где C_y – стоимость накопленных за год азота, фосфора и калия на каждом гектаре площади мелиорации:

$$C_y = \frac{10000 \cdot K_m \cdot M \cdot 1,15(A \cdot \Pi_a + \Phi \cdot \Pi_\phi + K \cdot \Pi_k)}{100} = \quad (16)$$
$$= 115 \cdot K_m \cdot M(A \cdot \Pi_a + \Phi \cdot \Pi_\phi + K \cdot \Pi_k),$$

где K_k – коэффициент, учитывающий качество гумуса плодородной почвенной массы, который определяется по соотношению гуминовых и фульвокислот (показатели K_k по типам почв приведены в прил. Т, табл. Т.1);

M – мощность плодородного слоя почвы, наращиваемого за год в среднемноголетнем ряду, см;

G – содержание гумуса в плодородном слое почвы, %;

C_{oy} – стоимость органических удобрений с учетом приобретения, транспорта, складирования, внесения и НДС, руб/т;

K_o – коэффициент перевода вносимых органических удобрений в подстилочный навоз (см. прил. Т, табл. Т.1);

E – образование гумуса из подстилочного навоза, % (см. прил. Т, табл. Т.2);

K_m – объемная масса плодородного слоя почвы (1,1-1,2 т/м³);

A, Φ, K – количество соответственно азота, фосфора и калия, которые содержатся в 1 т плодородной почвенной массы в переводе в действующее вещество, кг;

C_a, C_ϕ, C_k – стоимость азотных, фосфорных и калийных удобрений с учетом приобретения, транспорта, складирования, внесения и НДС, руб/т;

10000 – перевод 1 га в м²;

1000 – перевод 1 кг в тонны;

100 – перевод 1 см в метры;

1,15 – коэффициент, учитывающий стоимость микроэлементов, содержащихся в плодородной почвенной массе.

Показатели G, A, Φ, K принимаются по данным результатов почвенных исследований земель, подлежащих мелиорации и промелиорированных.

Показатель M принимается на основе рекомендаций специализированных научно-исследовательских организаций.

Так как последствие химической мелиорации на свойства почв и, соответственно, урожайность возделываемых культур продолжается 6-8 лет, то затраты на ее проведение рассматриваются как капитальные.

■ 5.1.1. Химическая и комплексная мелиорации

Солонцовые почвы юга России представлены двумя категориями:

- обладающие природной солонцеватостью – располагаются в комплексе, в котором среди зональных почв встречаются пятна солонцов;
- вторично осолонцованные в результате выщелачивания кальция из почвенного поглощающего комплекса (ППК) и замены его натрием.

Такие явления особенно присущи массивам, орошаемым не только слабоминерализованной водой сульфатно-натриевого состава, но и при поливах большими оросительными нормами пресной водой, содействующей вымыванию кальция.

И те и другие почвы нуждаются в химической и комплексной мелиорациях, которые приоритетны в условиях орошения. Об этом свидетельствует прогноз проведения агромелиоративных мероприятий на различных типах почв методом линейной интерполяции (прил. У). Солонцеватость провоцирует возникновение таких негативных явлений, как уплотнение и потеря гумуса, поэтому земли, подверженные проявлению при орошении негативных почвенных процессов, нуждаются в коренной мелиорации, требующей больших капитальных затрат. Затраты на проведение химической и комплексной мелиорации в черноземной зоне представлены в табл. 80, экономический эффект – в табл. 81.

Затраты на хранение, перевозку и внесение удобрений и мелиорантов в почву рассчитывают по соответствующим региональным нормативам, скорректированным на индекс роста цен или по существующим расценкам за выполнение данного вида работ.

Большая часть затрат на выполнение остальных элементов технологий химической и комплексной мелиораций выбиралась непосредственно из технологических карт.

Таблица 80

Технологическая схема к стоимости затрат 1 га химической и комплексной мелиорации почв комплексного покрова в черноземной зоне (капитальные затраты, руб/га)

Элемент технологии	Ф – 10 т/га	Н – 40 т/га	Ф – 10 т/га + + Н – 40 т/га	Ф – 10 т/га + + Н – 20 т/га	Ф – 5 т/га + + Н – 40 т/га	Ф – 5 т/га + + Н – 20 т/га	Гл. – 10 т/га + + Н – 20 т/га
Стоимость мелиоранта (погрузка) 1 т	1150	8000	9150	5150	8575	4575	7650
Доставка мелиоранта	8550	1900	10450	9400	6175	5225	4150
Эксплуатационная планировка	7309	730,9	730,9	730,9	730,9	730,9	730,9
Приготовление и внесение мелиоранта	6500	2580	9080	7790	5830	4540	7790
Полив дождеванием	600	600	600	60	600	600	600
Вспашки	800	800	800	800	800	800	800
Влагозарядка	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700
Химическая мелиорация	20030	16310	32511	26171	26320	18171	23421
Комплексная мелиорация (химическая мелиорация + мелиоративные вспашки)	20470	16750	32951	26611	27560	18611	23861

**Экономический эффект приемов химической и комплексной мелиораций почв
комплексного покрова в черноземной зоне**

Способ мелиорации	Капитальные затраты, тыс. руб/га	Дополнительная продукция, т з. ед/га в среднем за четыре года	Стоимость продукции в среднем за четыре года, тыс. руб/га	Годовой экономический эффект, тыс. руб/га	Окупаемость капитальных затрат, годы	Э _{к.з.}
<i>Черноземы. Химическая мелиорация</i>						
Ф – 10 т/га	20,03	0,85	12,75	9,75	2,0	0,64
Н – 40 т/га	16,31	0,34	5,10	2,65	6,1	0,31
Ф – 10 т/га + Н – 20 т/га	26,17	1,35	20,25	16,32	1,6	0,77
Ф – 10 т/га + Н – 40 т/га	32,51	1,42	21,30	16,43	2,0	0,66
Ф – 5 т/га + Н – 40 т/га	24,41	0,88	13,20	9,54	2,6	0,54
<i>Комплексная мелиорация (с мелиоративной вспашкой)</i>						
Ф – 10 т/га	20,47	0,96	14,40	11,33	1,8	0,70
Н – 40 т/га	16,75	0,38	5,70	3,19	5,3	0,34
Ф – 10 т/га + Н – 20 т/га	26,61	1,39	20,85	16,86	1,6	0,78
Ф – 10 т/га + Н – 40 т/га	32,95	1,51	22,65	17,71	1,9	0,53
Ф – 5 т/га + Н – 40 т/га	24,85	0,97	14,55	10,82	2,3	0,58
<i>Солонцы лугово-степные. Химическая мелиорация</i>						
Ф – 10 т/га	20,03	0,70	10,58	7,58	2,6	0,53
Н – 40 т/га	16,31	0,31	4,65	9,20	7,4	0,29
Ф – 10 т/га + Н – 20 т/га	26,17	1,16	17,42	13,49	1,9	0,67
Ф – 10 т/га + Н – 40 т/га	32,51	1,21	18,11	13,24	2,5	0,56
Ф – 5 т/га + Н – 40 т/га	26,32	0,63	9,50	5,55	4,7	0,36
<i>Комплексная мелиорация (с мелиоративной вспашкой)</i>						
Ф – 10 т/га	20,47	0,85	12,82	9,75	2,1	0,62
Н – 40 т/га	16,75	0,37	5,53	3,02	6,0	0,33
Ф – 10 т/га + Н – 20 т/га	26,61	1,17	17,93	13,94	1,9	0,52
Ф – 10 т/га + Н – 40 т/га	32,95	1,31	19,71	14,77	2,2	0,58
Ф – 5 т/га + Н – 40 т/га	27,56	0,85	12,81	14,75	1,9	0,46

Цены на продукцию соответствующих культур устанавливались по региональным расценкам аналитического центра «СовЭкон». Особенно большие расходы связаны с доставкой мелиорантов, их приготовлением и внесением в почву. Несмотря на это, проведение химической мелиорации и комплексной, дополнительно включающей в себя мелиоративную вспашку, очень важно с точки зрения возврата плодородия землям, частично или полностью потерявшим его, а также необходимости получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

Исходя из экономической целесообразности и учитывая влияние на свойства почв, наиболее экономичным на почвах с комплексным покровом в черноземной зоне является внесение сочетаний фосфогипса (Ф) 10 т/га и навоза (Н) 40 т/га и Ф – 10 т/га и навоза – 20 т/га как на обычной, так и мелиоративной вспашке. Данные сочетания на черноземах по экономической эффективности практически одинаковые, поэтому предпочтение следует отдать варианту с меньшими капитальными затратами и быстрой окупаемостью, а именно Ф – 10 т/га + Н – 20 т/га с мелиоративной вспашкой, так как она обеспечивает больший мелиорирующий эффект.

На солонцах, несмотря на проведение химической мелиорации такими же способами, дополнительной продукции получено на 13-15% меньше, чем на зональных почвах.

По годовому эффекту и сроку окупаемости выделяются также варианты с внесением сочетаний Ф – 10 т/га + Н – 20 т/га и Ф – 10 т/га + Н – 40 т/га. На таких почвах недопустимо внесение навоза в чистом виде. Его следует применять только в сочетании с кальцийсодержащими мелиорантами (фосфогипсом).

Внесение 5 т/га фосфогипса даже в сочетании с навозом не способствует снижению солонцеватости почв и получению достаточной дополнительной продукции для окупаемости вложенных капитальных затрат, особенно на солонцах. Коэффициент экономической эффективности затрат получен на варианте Ф – 10 т/га + Н – 20 т/га выше, чем на других вариантах, как на черноземах южных, так и солонцах, при этом быстрее окупаются капитальные затраты.

Для мелиорации черноземов обыкновенных деградированных использовался привезенный фосфогипс в чистом виде и в сочетании

с навозом, а также местная гипсосодержащая минеральная залежь – глауконит.

Капитальные затраты на проведение химической мелиорации этими мелиорантами и их сочетанием с навозом представлены в табл. 58. Несмотря на то, что глауконит – мелиорант местного значения и доставка 10 т/га обходится в 2 раза дешевле, чем фосфогипса, в целом расходы на химическую мелиорацию этим мелиорантом довольно велики (23421 руб/га) – его стоимость, как и глиногипса, принадлежащего к природным залежам, значительно выше, чем фосфогипса – отхода промышленности, требующего утилизации.

С точки зрения экономической эффективности вариант с глауконитом 10 т/га + Н – 20 т/га является наихудшим после варианта с внесением 40 т/га навоза в чистом виде (табл. 82). Наилучшими вариантами, как и на почвах с комплексным покровом, являются $\Phi - 10$ т/га + Н – 40 т/га и $\Phi - 5$ т/га + Н – 40 т/га. Это подтверждают данные сравнительного анализа по приведенным затратам, которые определяются суммированием текущих затрат на возделывание сельскохозяйственных культур и капитальных затрат, приведенных к годовой размерности (табл. 83).

Из табл. 83 видно, что дополнительная прибыль на варианте с 10 т/га Φ составила 13795 руб/га, на варианте $\Phi - 5$ т/га + Н – 40 т/га – 22602 руб/га, на варианте Гл. – 10 т/га + $\Phi - 20$ т/га – 10287 руб/га. Вложения капитальных затрат эффективны при коэффициенте их экономической эффективности, равном единице. По этому показателю, как и по окупаемости капитальных затрат, наиболее эффективен вариант с $\Phi - 5$ т/га + Н – 40 т/га (0,86).

Экологический эффект проявился в увеличении почвенного плодородия, основными показателями которого являются общие запасы гумуса и питательных элементов до и после проведения химической мелиорации. Из табл. 84 видно, что наименьшая стоимость полученного плодородного слоя за год получена на варианте с внесением чистого навоза 40 т/га – всего 1559 руб/га. В то же время на наилучших вариантах по экономической эффективности она составила: $\Phi - 10$ т/га + Н – 40 т/га – 7110 руб/га; $\Phi - 5$ т/га + Н – 40 т/га – 5196 руб/га; Гл. – 10 т/га + Н – 20 т/га – 5034 руб/га.

Таблица 82

**Экономическая эффективность химической мелиорации
и навозом черноземов обыкновенных деградированных**

Вариант опыта	Капитальные затраты, тыс. руб/га	Урожайность сельскохозяйственных культур, т з. е/га								Стоимость дополнительной продукции в среднем за четыре года, тыс. руб/га	Годовой экономический эффект, тыс. руб/га	Окупаемость капитальных затрат, лет	Э _{к.з.}
		озимая пшеница		кукуруза				соя на зерно					
				на зеленую массу		на зерно							
		У	П	У	П	У	П	У	П				
Контроль	–	3,20	–	3,86	–	3,10		2,93	–	–	–	–	
Ф – 10 т/га	20,03	4,32	1,12	5,13	1,27	4,20	1,1	3,94	1,01	16,88	13,88	1,5	0,86
Н – 40 т/га	16,31	3,64	0,44	4,45	0,59	3,60	0,50	3,42	0,49	7,58	5,13	3,2	0,46
Ф – 10 т/га + + Н – 40 т/га	36,34	4,97	1,77	5,94	2,08	4,84	1,74	4,59	1,66	27,19	21,74	1,7	0,75
Ф – 5 т/га + + Н – 40 т/га	26,32	4,48	1,28	5,52	1,66	5,92	2,82	4,25	1,32	26,55	22,60	1,2	1,0
Гл. – 10 т/га + + Н – 20 т/га	23,42	4,09	0,89	4,94	1,08	3,91	0,81	3,81	0,88	13,73	10,22	2,3	0,59

Примечание. У – урожайность, т корм. ед/га; П – прибавка, т корм. ед/га.

**Сравнительная экономическая эффективность
химических мелиораций на черноземах обыкновенных,
орошаемых слабоминерализованной водой**

Показатели	Без мелиорации	После мелиорации		
		Ф – 10 т/га	Ф – 5 т/га + Н – 40 т/га	Гл. – 10 т/га + Н – 20 т/га
Капитальные затраты, руб/га	0	20030	26320	23420
Приведенные затраты на возделывание культур, руб/га:				
озимая пшеница	18000	21005	21948	21513
кукуруза на зеленую массу	11300	14305	15248	14813
кукуруза на зерно	21000	24005	24948	24513
соя на зерно	22650	25655	26598	26163
Средние за четыре года	18237,5	21242,5	22185,5	21750,5
Урожайность, т з. е/га:				
озимая пшеница	3,20	4,32	4,48	4,09
кукуруза на зеленую массу	3,86	5,13	5,52	4,94
кукуруза на зерно	3,10	4,20	5,92	3,91
соя на зерно	2,93	3,90	4,25	3,81
Средняя за четыре года	3,27	4,39	5,04	4,19
Стоимость продукции, средняя за четыре года, руб/га	49050	65850	75600	62850
Условный чистый доход в год, руб/га	30812,5	44607,5	53414,5	41099,5
Дополнительная прибыль, обусловленная химической мелиорацией, руб/га	–	13795	22602	10287
Рентабельность проведения химической мелиорации, %	–	69	86	44
Коэффициент экономической эффективности капитальных вложений	–	0,69	0,86	0,44
Срок окупаемости капитальных вложений, год	–	1,5	1,2	2,3

**Расчет стоимости почвенного плодородия 0-40-сантиметрового слоя
чернозема обыкновенного и эколого-экономическая эффективность
при химической мелиорации (в среднем за четыре года)**

Вариант опыта	До мелиорации		После мелиорации		Стоимость органики за год, руб/га	После мелиорации		Стоимость НРК за год, руб/га	Стоимость плодород- ной почвенной массы за год, руб/га	ЭЭ _{х.м.} , руб/га
	запасы гумуса, т/га	запасы НРК, кг/га	запасы гумуса, т/га	от мелиорации		запасы НРК, кг/га	от мелиорации			
Ф – 10 т/га	158	1272	185	27	1674	2012,2	740,2	2776	4450	18330
Н – 40 т/га	158	1272	167	9	558	1538,9	266,9	1001	1559	6689
Ф – 10 т/га + + Н – 40 т/га	158	1272	195	37	2194	2557,4	1284,4	4816	7110	28850
Ф – 5 т/га + Н – 40 т/га	158	1272	189	31	1922	2145,1	873,1	3274	5196	27796
Гл. – 10 т/га + Н – 20 т/га	158	1272	184	26	1612	2184,5	912,5	3422	5034	15254

Рассчитана также эколого-экономическая эффективность проведения агротехнических приемов, т.е. химической мелиорации ($\text{ЭЭ}_{\text{Х.М.}}$), которая включает в себя экономический эффект и эффект экологический за год. Она составила на вариантах с чистым Ф – 10 т/га – 18330 руб/га, Ф – 10 т/га + Н – 40 т/га – 28850 руб/га, Ф – 5 т/га + Н – 40 т/га – 27796 руб/га в год, а на варианте с местным мелиорантом (Гл. – 10 т/га + Н – 20 т/га) – 15254 руб/га.

Расчет $\text{ЭЭ}_{\text{Х.М.}}$ еще раз подтвердил нецелесообразность применения навоза в чистом виде. На это указывают и расчеты полученной выгоды, осуществленной по методическим рекомендациям (табл. 85).

Таблица 85

**Полученная выгода от химической мелиорации
с различными сочетаниями мелиоранта и органики
в среднем за четыре года**

Вариант опыта	Урожайность сои, т з. е/га	Выручка, тыс. руб/га	Приведенные затраты, тыс. руб/га	Чистый доход, тыс. руб/га	Выгода, тыс. руб/га
Ф – 10 т/га	3,94	59,10	25,66	33,44	12,15
Н – 40 т/га	3,42	51,30	25,10	26,20	4,91
Ф – 10 т/га + Н – 40 т/га	4,59	68,85	28,11	40,74	19,45
Ф – 5 т/га + Н – 40 т/га	4,25	63,75	26,61	37,14	15,85
Гл. – 10 т/га + Н – 20 т/га	3,81	57,15	26,17	30,98	9,69
Контроль	2,93	43,95	22,66	21,29	–

На варианте Ф – 10 т/га + Н – 40 т/га и Ф – 5 т/га + Н – 40 т/га выгода составила 19,45 и 15,85 тыс. руб/га, с местной гипсосодержащей залежью глауконитом – в 2 раза меньше, а на варианте с чистым фосфогипсом (40 т/га) – 12,15 тыс. руб/га.

Экономическая эффективность применения удобрительно-мелиорирующих компостов на деградированном черноземе обыкновенном представлена в табл. 86.

В каштановой зоне Ростовской области в радиусе 50 км расположены гипсоносные карьеры, поэтому проведен сравнительный анализ экономической эффективности глиногипса (Гг) из этих карьеров

и фосфогипса, доставленного из Белореченска. Технологическая схема к стоимости химической мелиорации в каштановой зоне представлена в табл. 87.

Таблица 86

**Экономическая эффективность применения мелиорантов
и удобрительно-мелиорирующих компостов
для химической мелиорации черноземов обыкновенных**

Вариант опыта	Доза, т/га	Затраты на мелиорацию, тыс. руб/га	Годовой экономический эффект, тыс. руб/га	Окупаемость капитальных затрат, годы
Контроль	0	0	–	–
Птичий помет	16	4,37	23,04	0,2
Фосфогипс	10	20,20	55,4	0,4
Глауконит	13	8,35	45,1	0,2
Пп + Ф (1:1)	19	20,52	65,3	0,3
Пп + Гл (1:1)	25	10,32	52,2	0,2
Пп + Ф + Гл (1:1:1)	17	15,89	70,0	0,2

Таблица 87

**Технологическая схема к стоимости химической мелиорации
в каштановой зоне**

Способ мелиорации	Фосфогипс			Глиногипс		
	10 т/га	5 т/га	15 т/га	12 т/га	6 т/га	18 т/га
Стоимость мелиоранта (погрузка)	1150	575	1725	4380	2190	6570
Доставка мелиоранта	12800	6400	19200	3840	1920	5760
Эксплуатационные планировки	730,9	730,9	730,9	730,9	730,9	730,9
Приготовление и внесение мелиоранта	6500	3250	9700	6432	3216	9648
Полив дождеванием	600	600	600	600	600	600
Влагозарядка	1700	1700	1700	1700	1700	1700

При мелиорации фосфогипсом большая часть затрат расходуется на его доставку (53%), а при мелиорации глиногипсом – на его стоимость и доставку. Стоимость фосфогипса определяется только его погрузкой как отхода промышленности, который следует

утилизировать. В цену глиногипса входит не только погрузка, но и его стоимость в пределах 250 руб/т как природной залежи. Несмотря на это, капитальные затраты при мелиорации глиногипсом на 21-25% ниже, чем фосфогипсом. Однако на каштановой почве при мелиорации фосфогипсом дополнительной продукции получается на 50-55% больше по сравнению с глиногипсом, а на солонце ее больше на 55-87% (табл. 88). В связи с этим при мелиорации фосфогипсом дозой 10 т/га на каштановой почве годовой эффект составил 20,81 тыс. руб., а при дозе 15 т/га Φ – 20,63 тыс. руб. При таком эффекте капитальные затраты окупаются соответственно за 1,2-1,7 года. На солонцах годовой эффект при фосфогипсовании дозой 10 т/га составил 15,26 тыс. руб/га, при дозе 15 т/га – 15,08 тыс. руб/га, что на 68 и 64% выше, чем при гипсовании дозами 12 и 18 т/га.

Таблица 88

Экономический эффект приемов химической мелиорации почв комплексного покрова в каштановой зоне

Способ мелиорации	Капитальные затраты, тыс. руб/га	Дополнительная продукция, т з. е/га	Стоимость дополнительной продукции, тыс. руб/га	Годовой экономический эффект, тыс. руб/га	Окупаемость капитальных затрат, лет
		в среднем за четыре года			
<i>Химическая мелиорация</i>					
Φ – 5 т/га	14,06	0,87	13,05	10,94	1,3
Φ – 10 т/га	24,28	1,63	24,45	20,81	1,2
Φ – 15 т/га	34,46	1,72	25,80	20,63	1,7
ГГ – 6 т/га	11,15	0,39	5,85	4,18	2,7
ГГ – 12 т/га	18,48	1,07	16,0	13,23	1,4
ГГ – 18 т/га	25,81	1,14	17,10	13,23	2,0
<i>Солонец</i>					
Φ – 5 т/га	14,06	0,71	10,65	8,54	1,6
Φ – 10 т/га	24,28	1,26	18,90	15,26	1,6
Φ – 15 т/га	34,46	1,35	20,25	15,08	2,3
ГГ – 6 т/га	11,15	0,38	5,70	4,03	2,8
ГГ – 12 т/га	18,48	0,79	11,85	9,08	2,0
ГГ – 18 т/га	25,81	0,87	13,05	9,18	2,8

Учитывая полученный годовой эффект и окупаемость капитальных затрат, предпочтение следует отдать способу мелиорации с внесением 10 т/га фосфогипса. При невозможности доставки фосфогипса можно проводить химическую мелиорацию гипсованием дозой 10 т/га. Дозы 5 т/га фосфогипса и 6 т/га глиногипса на солонцовых почвах каштановой зоны по экономическим показателям нецелесообразны.

■ 5.1.2. Уровни увлажнения почв и возделываемых культур

Практика показала, что при построении режимов орошения сельскохозяйственных культур должны учитываться не только потребности растений в воде, но и экологические требования окружающей среды, в том числе почв, которые для сохранения естественных процессов почвообразования требуют гораздо меньше влаги, чем растения.

Расчет экономической эффективности при разных уровнях увлажнения в среднем за четыре года представлен в табл. 89. Данные показывают, что на всех черноземах показатели по экономической эффективности практически одинаковые на вариантах 1 м и 0,8 м.

Таблица 89

Экономическая эффективность при различных уровнях увлажнения почв в среднем за четыре года

Вариант опыта	Затраты на возделывание культур с учетом поливов, тыс. руб/га	Стоимость урожая, тыс. руб/га	Чистый доход, тыс. руб/га	Себестоимость 1 т урожая, тыс. руб/га	Окупаемость, годы
<i>Черноземы обыкновенные, орошаемые пресной водой</i>					
Богара	20,75	62,40	41,65	4,99	0,50
1 м	23,23	104,25	81,08	3,34	0,29
0,6 м	22,23	82,50	60,21	4,04	0,37
0,8 м	22,73	100,95	78,22	3,38	0,29
1,3 м	23,96	88,35	64,39	4,07	0,37

Вариант опыта	Затраты на возделывание культур с учетом поливов, тыс. руб/га	Стоимость урожая, тыс. руб/га	Чистый доход, тыс. руб/га	Себестоимость 1 т урожая, тыс. руб/га	Окупаемость, годы
<i>Черноземы обыкновенные, орошаемые слабоминерализованной водой</i>					
Богара	20,75	50,70	29,95	6,14	0,69
1 м	23,23	78,90	55,67	4,42	0,42
0,6 м	22,23	61,35	39,12	5,44	0,57
0,8 м	22,73	77,10	54,37	4,45	0,42
1,3 м	23,96	65,10	41,14	5,52	0,58
<i>Черноземы южные, орошаемые пресной водой</i>					
Богара	20,75	60,75	40,00	5,12	0,52
1 м	23,23	102,0	78,77	3,42	0,29
0,6 м	22,23	77,10	54,87	4,32	0,41
0,8 м	22,73	99,30	76,57	3,43	0,30
1,3 м	23,96	83,25	59,29	4,32	0,40

Так, стоимость урожая на черноземах обыкновенных, орошаемых пресной водой, составила на варианте с 1 м – 104,25 тыс. руб/га, а на варианте 0,8 м – 100,95 тыс. руб/га. На черноземах обыкновенных, орошаемых слабоминерализованной водой, соответственно – 78,90 и 77,10 тыс. руб/га, а на южных, орошаемых пресной водой – 102,0 и 99,3 тыс. руб/га. Аналогичные результаты получены по чистому доходу, себестоимости и окупаемости затрат урожая.

Эффект плодородия почв чаще всего связывают с изменением содержания гумуса и питательных элементов в результате проведения тех или иных мероприятий. Экологический эффект почвенного плодородия черноземов в зависимости от воздействия различных водных нагрузок при четырехлетнем возделывании сельскохозяйственных культур (озимая пшеница, кукуруза на зерно, соя, кукуруза на зерно) представлен в табл. 90.

Таблица 90

Экологический эффект по почвенному плодородию и эколого-экономический эффект при разных уровнях увлажнения черноземов

Вариант опыта	Гумус				Питательный элемент (NPK)				Экологический эффект, руб. в год	Эколого-экономический эффект, руб/га
	запас, т/га		наращенный за год, т/га	стоимость за год, руб/га	запас, кг/га		накопленный за год, т/га	стоимость за год, руб/га		
	до орошения	после четырех лет			до орошения	после четырех лет орошения				
<i>Черноземы обыкновенные, орошаемые пресной водой</i>										
Контроль (без орошения)	189,2	188,5	-0,20	-50	1820	2023	0,05	750	700	42350
1 м	186,4	198,1	2,93	727	1732	2184	0,11	1650	2377	83457
0,6 м	183,4	183,0	-0,1	-25	1851	2137	0,07	1050	1025	61295
0,8 м	188,3	201,7	3,35	831	1862	2330	0,12	1800	2631	80851
1,3 м	191,8	180,5	-2,82	-699	1815	2023	0,06	900	201	64591
<i>Черноземы обыкновенные, орошаемые слабоминерализованной водой</i>										
Контроль (без орошения)	156,0	158,1	0,53	131	2111	2350	0,06	900	1031	30981
1 м	156,5	165,9	2,35	583	2090	2626	0,13	1950	2533	58203
0,6 м	159,6	162,2	0,65	161	2106	2496	0,09	1350	1511	40631
0,8 м	159,1	168,0	2,23	553	2106	2595	0,12	1800	2353	56723
1,3 м	158,1	155,0	-0,78	0	2111	2470	0,09	1350	1350	42490
<i>Черноземы южные, орошаемые пресной водой</i>										
Контроль (без орошения)	144,6	141,4	-0,80	-198	2569	2602	0,01	150	-48	39952
1 м	137,8	147,2	2,35	583	2454	3018	0,14	2100	2683	81453
0,6 м	144,0	147,1	0,78	194	2517	2720	0,05	750	944	55814
0,8 м	139,9	146,1	1,55	385	2496	3015	0,13	1950	2335	78905
1,3 м	145,1	143,0	-0,53	-131	2470	2692	0,06	900	769	60059

Наибольшее содержание гумуса, наращенного за год при поливах черноземов обыкновенных пресной водой, наблюдалось на вариантах 1 м и 0,8 м и составило соответственно 2,93 и 3,35 т/га. При средней цене за 1 т органики 248 руб. стоимость почвы за один год по гумусу на варианте 1 м равнялась 797 руб., а на варианте 0,8 м – 831 руб. На контроле и вариантах 0,6 и 1,3 м наращивание гумуса не наблюдалось и даже отмечалась его убыль, выраженная в рублях, соответственно – 50, – 25, – 699 руб/га. Особенно выделился по этому показателю вариант с увеличением водной нагрузки на 30 % (1,3 м), где превалировали анаэробные процессы, которые сдерживали гумификацию.

Накопление питательных элементов также зависело от уровня увлажнения черноземов. В наименьшей степени они накапливались за год на неорошаемом варианте (0,05 т/га); на варианте с недостатком влаги (0,6 м) – 0,07 т/га и на вариантах 1 м и 0,8 м по накоплению питательных элементов (NPK) идентичны – составили 0,11 и 0,12 т/га.

В целом экологический эффект складывается из стоимости наращенного гумуса за год при различных уровнях увлажнения черноземов и стоимости накопленных за год NPK. На черноземе обыкновенном, орошаемом пресной водой, на варианте 1 м он составил 2377 руб/га, а на варианте 0,8 м – 2631 руб/га. На варианте со снижением оросительной нормы на 20% создаются лучшие условия для протекания естественных процессов почвообразования.

Наибольший эколого-экономический эффект, полученный сложением годового экономического и экологического эффектов, получен также на вариантах 1 м и 0,8 м – соответственно 83457 и 80851 руб/га.

Аналогичные закономерности получены и в опытах по изучению уровней увлажнения на черноземах обыкновенных, орошаемых слабоминерализованной водой и черноземах южных, орошаемых пресной водой. Экологические эффекты определялись исходными запасами гумуса и питательных элементов, а также теми воздействиями на почвы, которые оказывают различные уровни увлажнения.

В целом, лучшими по эколого-экономическому эффекту являются, как и на черноземах обыкновенных, орошаемых прес-

ной водой, варианты 1 м и 0,8 м. Он соответственно составил на черноземах обыкновенных, орошаемых слабоминерализованной водой, – 58203 и 56723 руб/га, а на черноземах южных – 81453 и 78905 руб/га.

Таким образом, расчеты экономической эффективности по уровням увлажнения черноземов показали допустимость снижения оросительной нормы на 20 %, так как чистый доход снижается лишь на 3-4 % по сравнению с расчетной нормой полива (1 м). Экологический эффект даже увеличивается на 10 %, а в целом эколого-экономический эффект уменьшился всего на 3 %.

5.2. Экономическая эффективность почвозащитных мероприятий при ирригационной эрозии

Анализ негативных процессов от ирригационной эрозии на орошаемых агроландшафтах показал необходимость взаимодействия сельскохозяйственного производства и природной среды, основанного на концепции эколого-хозяйственного баланса на основе использования мелиоративных мероприятий по сохранению и воспроизводству плодородия земель. Для устранения причин деградации почвы от ирригационной эрозии учеными РосНИИПМ предлагается ряд мелиоративных мероприятий, позволяющих сохранить плодородие почвы путем снижения или полного прекращения эрозии почвы. Оценку плодородия почвы проводили по комплексному показателю оценки эффективности мелиоративного мероприятия – прибавке урожая и дополнительным затратам на проведение этого мероприятия (табл. 91).

Основными мелиоративными мероприятиями, которые используются на орошаемых землях для устранения ирригационной эрозии, являются глубокое рыхление, щелевание почвы, полосное размещение культур, создание мелиоративных защитных лесных насаждений и др.

Для устранения ирригационной эрозии наиболее широкое распространение получило глубокое рыхление почвы на 0,4-0,5 м чизельными плугами (типа ПЧ-2,5) один раз в три-пять лет.

**Технологическая схема к расчету стоимости затрат на мероприятия
по снижению ирригационной эрозии почвы и эффективности мероприятия
за счет прибавки урожая в черноземной зоне**

Элемент технологии	Дополнительные затраты на меро- приятие, руб/га	Продолжительность действия мероприятия	Прибавка урожая от мероприятия, в том числе от сни- жения ирригацион- ной эрозии, т/га		Стоимость до- полнительной продукции, руб/га		Эффективность ме- роприятия за весь период, руб/га	Годовой экономиче- ский эффект, руб/га
			за год	за весь период	за год	за весь период		
Глубокое рыхление почвы (ПЧ-2,5 на 0,45 м) для повышения во- допроницаемости (по сравнению со вспашкой на 0,22 м, кукуруза на зерно)	2600	4 года	0,4	1,6	6400	22400	19800	4950
Полосное размещение культур в сево- обороте (ширина полос 40-60 м): на уплотненной пашне (озимая пше- ница)	950	6 лет	0,1	0,6	1500	9000	8050	1342
рыхлой пашне (кукуруза на зерно)	800	6 лет	0,1	0,6	1400	8400	7600	1267
Создание мелиоративных защитных лесных насаждений с противоэрозион- ным валом по границе участка в ниж- ней части поля (по уклону)	65 000	25 лет	0,5	12,5	7500	187500	122500	4900
Щелевание многолетних трав	1100	4 года	0,2	0,8	3000	12000	10909	2727

Рыхлая почва повышает показатель впитывания почвы, а высокий коэффициент фильтрации позволяет избегать поверхностного стока орошаемой воды. Глубокое рыхление в сочетании с орошением обеспечивает прибавку урожая кукурузы на зерно от 0,4 т/га, а при сроках последствия глубокой обработки почвы в четыре года – 1,6 т/га стоимостью 22400 руб/га. Эффективность мероприятия – 19800 руб/га, годовой эффект – в среднем 4950 руб/га.

Эффективно также полосное размещение сельскохозяйственных культур на орошаемых агроландшафтах с уклонами более 0,01. Чередование полос шириной 50-60 м уплотненной и рыхлой пашни позволяет задерживать на рыхлой пашне появляющийся сток с уплотненной пашни, предотвращая ирригационный сток.

Полосное размещение культур несколько снижает производительность сельскохозяйственных машин, и затраты на возделывание культур возрастают на 800-950 руб/га, но за счет прибавки урожая они окупаются и эффективность составляет 7600-8050 руб/га. При этом почва не смывается, сохраняется её плодородие.

Более длительный период воздействия (до 25 лет и более) обеспечивает создание одно-двухрядных мелиоративных защитных лесных полос с формированием валов-канал в верхней части насаждений по склону, которые способны снизить или полностью исключить эрозию почвы.

Обновление валов-канал, возможно, потребуется через 20-30 лет после заполнения канав смытой почвой от ирригационной эрозии. Годовой экономический эффект от этого мероприятия составляет 4900 руб/га.

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса РФ: утв. постановлением Правительства России от 14 мая 2021 г. № 731. – 180 с.

2. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30 декабря 2001 г. № 195-ФЗ [Электронный ресурс]. – URL: <http://base.garant.ru/12125267/10/#100> (дата обращения: 09.02.2023).

3. Агрохимическая характеристика почв СССР. Районы Поволжья. – М.: Наука, 1966. – 356 с.

4. Агроэкология: учеб. / В.А. Черников, Р.М. Алексахин, А.В. Голубев, А.И. Чекерес; под ред. В.А. Черникова, А.И. Чекереса. – М.: Колос, 2000. – 295 с.

5. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий: метод. руководство / В.И. Кирюшин [и др.]; под ред. В.И. Кирюшина, А.Л. Иванова. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 784 с.

6. **Айдаров И.П.** Регулирование водно-солевого режима орошаемых земель. – М.: Агропромиздат, 1985. – 304 с.

7. **Айдаров И.П., Голованов А.И., Мамаев М.Г.** Оросительные мелиорации. – М.: Колос, 1982. – 176 с.

8. **Андреев Г.И., Козлечков Г.А., Андреев А.Г.** Экологическое состояние орошаемых почв на Нижнем Дону: моногр. – Днепропетровск, 2007. – 262 с.

9. **Ахтырцев Б.П., Лепилин И.А.** Влияние орошения на свойства типичных черноземов юго-востока Центрально-Черноземной области // Биол. науки. – 1979. – № 4. – С. 87-92.

10. **Бабенко А.А., Докучаева Л.М.** Фитомелиорация – способ повышения плодородия почв // Актуальные направления развития мелиоративного комплекса : сб. науч. тр. по матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию создания ФГБНУ «РосНИИПМ» (г. Новочеркасск, 10 сентября 2021 г.). – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2021. – С. 92-99.

11. **Бабичев А.Н., Балакай Г.Т., Монастырский В.А.** Накопление питательных веществ в почве при возделывании картофеля летней посадки после сидеральных культур // Плодородие. – 2015. – № 5 (86). – С. 37-39.

12. **Бабичев А.Н., Докучаева Л.М., Юркова Р.Е.** Факторы, усиливающие отрицательное воздействие длительного орошения на свойства чернозема обыкновенного // Науч. журн. Рос. НИИ проблем мелиорации. – 2020. – № 4 (40). – С. 1-22. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1156> (дата обращения: 09.02.2023). – DOI 10.31774/2222-1816-2020-4-1-22.

13. **Бабичев А.Н., Бабенко А.А.** Влияние различных типов и видов мелиорации на восстановление и повышение плодородия деградированных почв // Мелиорация и гидротехника. – 2022. – Т. 12. – № 1. – С. 157-176. [Электронный ресурс] – URL: <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-1-157-176> (дата обращения: 09.02.2023). – DOI 10.31774/2712-9357-2022-12-1-157-176.

14. **Баранов А.И., Радевич Е.В.** Мелиорация темно-каштановых орошаемых солонцовых почв в условиях Ростовской области // Изв. Оренбургского ГАУ. – 2014. – № 4 (48). – С. 23-26.

15. **Безднина С.Я.** Рекомендации по оценке качества воды для орошения сельскохозяйственных культур. – М.: ВНИИГиМ, 1983. – 120 с.

16. **Безднина С.Я.** Качество воды для орошения: принципы и методы оценки. – М.: РОМА, 1997. – 185 с.

17. **Безднина С.Я.** Экологические основы водопользования. – М.: ВНИИА, 2005. – 224 с.

18. **Безднина С.Я.** Регламентирование и улучшение качества оросительной воды // Повышение качества оросительной воды : сб. науч. тр. – М.: Агропромиздат, 1990. – С. 20-21.

19. **Бекбаев Р.К.** Технический уровень голодноstepного массива орошения и его влияние на объемы коллекторно-сбросных вод // Вестн. – 2012. – № 4. – С. 40-44.

20. **Бекбаев Р.К.** Факторы, оказывающие влияние на эффективность реконструкции ирригационных систем // Проблемы развития мелиорации и водного хозяйства и пути их решения : матер. Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 11-12 апреля 2011 г. / Московский гос. ун-т природообустройства. – М., 2011. – Ч. 1. – С. 42-48.

21. **Березин Л.В., Семенов А.М., Проценко И.А.** Актуальные проблемы использования мелиорируемых земель в Западной Сибири // Мелиорация и водное хоз-во. – 2008. – С. 14-17.

22. **Бобков В.П.** Содовое засоление почв как стадия естественного или искусственного рассоления территории // Почвоведение. – 1976. – № 6. – С. 25-30.

23. **Бобков В.П.** Об устойчивости почв и грунтов к содовому засолению // Почвоведение. – 1969. – № 8. – С. 65-73.

24. **Бобков В.П.** Определение недоокисленных веществ в почве методом окисления перманганатом калия и йодом // Почвоведение. – 1975. – № 7. – С. 134-141.

25. **Бондарев А.Г., Медведев В.В.** Некоторые пути определения оптимальных параметров агрофизических свойств почв // Теоретические основы и методы определения оптимальных параметров свойств почв : науч. тр. / Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева. – М., 1980. – С. 202-210.

26. **Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.** Методы исследования физических свойств почв. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.

27. **Вальков В.Ф., Елисеева Н.В., Шигрунт И.И.** Справочник по оценке почв. – Майкоп: ГУР и ПП «Адыгея», 2004. – 236 с.

28. **Васильев С.М., Бабичев А.Н.** Основные принципы формирования устойчивости мелиорированных агроландшафтов // Экология и водное хоз-во. – 2021. – Т. 3. – № 1. – С. 1-10. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=97> (дата обращения: 07.02.2023). DOI 10.31774/2658-7890-2021-3-1-1-10.

29. Влияние глубокого рыхления на водно-физические свойства почв на орошаемых землях Верхне-Сальской обводнительно-оросительной системы / В. А. Галкина [и др.]; Мелиорация антропогенных ландшафтов : сб. науч. тр. / НГМА. – Новочеркасск, 1999. – С. 42-50.

30. Влияние орошения на свойства черноземов Центрально-Черноземных областей / Н.С. Скуратов [и др.]; обзор. информ. ЦБНТИ Минводхоза СССР. – М., 1989. – С. 1-36.

31. Возделывание горчицы сарептской в качестве сидерата / В.А. Монастырский, А.Н. Бабичев, В.И. Ольгаренко, Д.В. Сухарев // Плодородие. – 2019. – № 5 (110). – С. 45-47.

32. **Воробьева Р.П., Шуравилин А.В., Кандиус В.В.** Изменение водных свойств почв при длительном орошении // Мелиорация и водное хоз-во. – 2001. – № 2. – С. 33-34.

33. **Вуколов Н.Г., Шуравилин А.В.** Трансформация почв при длительном орошении в условиях юга Западной Сибири // Плодородие. – 2008. – № 6. – С. 34-35.

34. Выбор приемов воспроизводства плодородия солонцовых почв при орошении / Р.С. Масный [и др.]. – Новочеркасск: Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации, 2021. – 20 с.

35. **Гаврилюк Ф.Я.** Бонитировка почв. – М: Высш. школа, 1974. – 229 с.
36. ГОСТ 17.1.2.03-90. Охрана природы. Гидросфера. Критерии и показатели качества воды для орошения. – Введ. 1991-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 7 с.
37. ГОСТ Р 58331.3-2019. Системы и сооружения мелиоративные. Водопотребность для орошения сельскохозяйственных культур. Общие требования. – Введ. 2019-03-15. – М.: Стандартинформ, 2019. – 25 с.
38. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации химических веществ в почве [Электронный ресурс]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293850/4293850511.htm> (дата обращения: 16.02.2023).
39. Грунтовые воды и их влияние на водообеспеченность орошаемых земель / Е.Д. Жапаркулова [и др.] // Мелиорация и водное хоз-во. Проблемы и пути решения: матер. Междунар. науч.-практ. конф., (Всеросс. науч.-исслед. ин-т агрохимии им. Д.Н. Прянишникова). – М., 2016. – С. 222-225.
40. **Гурбанова З.Р., Ибрагимов С.К.** Мелиорация включенных в севооборот солонцовых почв Прикаспийской низменности сернокислотными отходами // Экология и строительство. – 2018. – № 4. – С. 25-32. [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/melioratsiya-vklyuchennyh-v-sevooborot-solontsovyh-pochv-prikaspiys-koy-nizmennosti-sernokislotnymi-otvodami> (дата обращения: 16.02.2023).
41. Деградация и охрана почв / под общей ред. акад. РАН Г. В. Добровольского. – М.: МГУ, 2002. – 658 с.
42. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. – 240 с.
43. **Докучаева Л.М., Юркова Р.Е.** Оценка почвообразовательных процессов длительно орошаемых пресной водой черноземов обыкновенных // Науч. журнал Рос. НИИ проблем мелиорации. – 2017. – № 1 (25). – С. 66-80. [Электронный ресурс]. – URL: www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec463-field6.pdf (дата обращения: 17.02.2023).
44. **Докучаева Л.М., Юркова Р.Е.** Грунтовая вода – критерий экологического состояния почв // Экология и водное хоз-во. – 2019. – № 1 (01). – С. 18-29. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=10> (дата обращения: 17.02.2023).
45. **Докучаева Л.М., Стратинская Э.Н.** Оценка эффективности использования орошаемых земель на основе бонитета почв и поправочных коэффициентов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия

лия: сб. ст. ФГНУ «РосНИИПМ» / под ред. В.Н. Щедрина. – Вып. 43. – Новочеркасск: Геликон, 2010. – С. 6-12.

46. **Докучаева Л.М., Долина Е.В.** Физические свойства чернозема обыкновенного после химической мелиорации удобрительно-мелиорирующими компостами // Науч. журн. Рос. НИИ проблем мелиорации. – 2011. – № 2 (02). – С. 56-63. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=21&id=30> (дата обращения: 20.02.2023).

47. **Докучаева Л.М., Юркова Р.Е., Шалашова О.Ю.** Влияние удобрительно-мелиорирующих компостов на физико-химические свойства чернозема обыкновенного деградированного // Изв. Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2011. – № 4 (24). – С. 70-76.

48. **Докучаева Л.М., Юркова Р.Е., Табала Г.И.** Влияние комплексной мелиорации на физические свойства солонцов черноземных // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 1 (61). – С. 33-39.

49. **Докучаева Л.М., Юркова Р.Е.** Влияние комплексной мелиорации на содержание гумуса и гумусированность солонцов черноземных // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2015. – № 3. – С. 180-185.

50. **Докучаева Л.М., Юркова Р.Е.** Влияние длительного орошения на почвообразовательные процессы темно-каштановых // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 2 (66). – С. 198-204.

51. **Докучаева Л.М., Юркова Р.Е., Шалашова О.Ю.** Влияние удобрительно-мелиорирующих компостов на физико-химические свойства чернозема обыкновенного деградированного // Изв. Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2011. – № 4 (24). – С. 70-76.

52. **Докучаева Л.М., Юркова Р.Е.** Влияние различных доз фосфогипса и технологии его внесения на урожайность сельскохозяйственных культур // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2013. – № 50. – С. 68-73.

53. **Докучаева Л.М., Юркова Р.Е., Шалашова О.Ю.** Использование фосфогипса и фосфогипсосодержащих мелиорантов для мелиорации солонцовых почв в условиях орошения // Науч. журн. Рос. НИИ проблем мелиорации. – 2012. – № 3(07). – С. 52-64. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=113&id=116> (дата обращения: 20.02.2023).

54. **Докучаева Л.М., Юркова Р.Е., Бабичев А.Н.** Эффективность использования фосфогипса с органикой для почв комплексного покрова при

орошении // Мелиорация и гидротехника. – 2022. – Т. 12. – № 4. [Электронный ресурс]. – URL: <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-4-1-19> (дата обращения: 07.02.2023). DOI 10.31774/2712-9357-2022-12-4-1-19.

55. **Докучаева Л.М., Юркова Р.Е.** Уровни увлажнения черноземов, способствующие сохранению почвенного плодородия // Науч. журн. РосНИИ проблем мелиорации – 2021. – Т. 11. – № 2. – С. 144-157. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1201> (дата обращения: 19.01.2023). DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-144-157.

56. **Докучаева Л.М., Юркова Р.Е.** Требования к химической мелиорации для повышения плодородия длительно орошаемых земель // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2021. – № 1 (81). – С. 99-104.

57. **Докучаева Л.М., Юркова Р.Е.** Приемы снижения уровня грунтовых вод для стабилизации почвенного плодородия на орошаемых землях // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2021. – № 2 (82). – С. 40-47.

58. **Докучаева Л.М., Юркова Р.Е.** Химическая мелиорация на мелиорированных землях России // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2021. № 3 (83). – С. 73-78.

59. **Докучаева Л.М., Юркова Р.Е.** Изменение направленности почвенных процессов при снижении водной нагрузки на орошаемые земли: науч. обзор / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2012. – 54 с. – Деп. в ВИНТИ 07.07.12, № 292-B2012.

60. **Докучаева Л.М.** Природно-экологические показатели эффективности использования мелиорируемых земель // Современные проблемы мелиорации земель, пути и методы их решения: сб. науч. тр. / ФГНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск: Геликон, 2003. – С. 170-180.

61. **Долина Е.В., Юркова Р.Е., Шалашова О.Ю.** Приемы воспроизводства плодородия орошаемых земель на базе местных сырьевых ресурсов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск: Геликон, 2009. – Вып. 41. – С. 54-61.

62. **Доспехов Б.А.** Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1979. – 334 с.

63. **Драган Н.А.** Динамика почвенных процессов при орошении агроландшафтов в равнинном Крыму // Геополитика и экогеодинамика регионов. – Вып. 2. – 2005. – С. 33-44.

64. Дренаж на орошаемых землях. Мелиорация засоленных почв [Электронный ресурс]. – URL: http://cozyhomestead.ru/Voda_139-51.html (дата обращения: 19.01.2023).

65. **Егорова Г.С., Петрунина Л.В.** Многолетние травы как восстановители почвенного плодородия и основа кормопроизводства // Плодородие. – 2008. – № 6. – С. 38-39.

66. **Егоров В.В., Иванов Е.Н., Розов Н.Н.** Классификация и диагностика почв СССР. – М.: Колос, 1977. – 221 с.

67. **Егоров В.В.** Об орошении черноземов // Почвоведение. – 1984. – № 12. – С. 39-47.

68. **Ермоленко В.П., Шевченко П.Д., Маслов А.Н.** Орошаемое земледелие Юга России. – Ростов н/Д., 2002. – 447 с.

69. **Ефремов Е.Н.** Совершенствование мониторинга почв земель сельскохозяйственного назначения и учет состояния их плодородия // Плодородие. – 2011. – № 3. – С. 42-44.

70. **Жеруков Б.Х., Шалов Т.Б.** Удобрение и орошение как факторы интенсификации адаптивно-ландшафтного земледелия // Аграрн. наука. – 2012. – № 12. – С. 16-18.

71. **Журавский П.П., Краснощеков В.Н.** Основные совершенствования методов оценки экономической эффективности инвестиций в мелиорацию сельскохозяйственных земель // Природообустройство. – 2014. – № 3. – С. 87-92.

72. **Зайдельман Ф.Р.** Защита почв от деградации // Вестн. РАН. – 2008. – № 8. – С. 693-703.

73. **Заславский М.Н.** Эрозия почв. – М.: Колос, 1979. – 260 с.

74. **Зборищук Н.Г., Дронова Т.Я., Попова Т.В.** Образование и свойства ирригационных корок на черноземах // Почвоведение. – 1987. – № 12. – С. 245-248.

75. **Звягинцев Д.Г.** Почвы и микроорганизмы. – М.: МГУ, 1987. – 255 с.

76. **Зимовец Б.А.** Изменение щелочности почв при орошении в Нижнем Заволжье. – М.: Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. – Вып. IX. – 1975. – С. 28-56.

77. **Зимовец Б.А.** Оценка деградации орошаемых почв // Почвоведение. – 1998. – № 9. – С. 1119-1126.

78. **Зинковская Т.С., Ковалев Н.Г., Зинковский В.Н.** Классификация биологических мелиорантов, применяемых в земледелии // Плодородие. – 2012. – № 4. – С. 20-22.

79. Зональные системы земледелия в Ростовской области на 2022-2026 годы / А.И. Клименко [и др.]; мин-во сел. хоз-ва и продовольствия Рост. обл. – Ростов н/Д, 2022. – 736 с.

80. **Ильинская И.Н., Сафонова И.В., Батищев В.И.** Сравнительная оценка агрофизических свойств почв центральной орошаемой зоны Ростовской области // Науч. журн. Рос. НИИ проблем мелиорации. – 2012. – № 2 (06). – 10 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnaya-otsenka-agrofizicheskikh-svoystv-pochv-tsentralnoy-oro-shaemoy-zony-rostovskoy-oblasti/viewe> (дата обращения: 23.01.2023).

81. **Ильинская И.Н.** Нормирование водопотребности для орошения сельскохозяйственных культур на Северном Кавказе: моногр. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2001. – 164 с.

82. **Казаков Г.И.** Агрофизические показатели плодородия почв как научные основы ее обработки // Ресурсосберегающие системы обработки почвы: сб. науч. тр. // Куйбышевский СХИ. – М.: Агропромиздат, 1990. – С. 32-38.

83. **Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф.** Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. – Ростов н/Д: Рост. ун-т, 2003. – 204 с.

84. **Казинцев Е.А., Чусова Ж.И., Куксов А.И.** Определение критериев оценки мелиоративного состояния орошаемых земель Ставропольского края. – Новочеркасск: ЮжНИИГиМ, 1985. – 35 с.

85. **Карманов И.И., Фриев Т.А.** Бонитировка почв на основе почвенно-экологических показателей // Земледелие. – 1982. – № 5. – С. 18-22.

86. **Кац Д.М., Парфенова Н.И.** Методические рекомендации по контролю за мелиоративным состоянием орошаемых земель. – Ч. I. – М.: ВНИИГиМ, 1979. – 120 с.

87. **Ковда В.А.** Прошлое и будущее черноземов // Рус. чернозем. – 100 лет после Докучаева. – М.: Наука, 1983. – 304 с.

88. **Ковда В.А.** Почвенный покров, его улучшение, использование и охрана. – М.: Наука, 1981. – С. 28-79.

89. **Когут Б.М.** Потери и воспроизводство органического вещества в пахотных почвах // Науч. основы предотвращения деградации почв (земель) с.-х. угодий России и формирование систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии. – М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2013. – Т. 1. – С. 369-382.

90. **Комиссаров А.В.** Влияние длительного орошения на свойства чернозема, выщелоченного в Южном Предуралье // Земледелие. – 2015. – № 2. – С. 5-9.

91. Комплексная оценка эффективности агромероприятий [Электронный ресурс]. – URL: <http://agro-portal.su/ekonomiko-ekologicheskie-osnovnyu/2736-kompleksnaya-ocenka-effektivnosti-agromeropriyatiy.html> (дата обращения: 23.01.2023).

92. **Косиченко Ю.М.** Исследования в области борьбы с фильтрацией и эксплуатационной надежности грунтовых гидротехнических сооружений // Науч. журн. Рос. НИИ проблем мелиорации. – 2012. – № 2 (06). – С. 86-94. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=100&id=108> (дата обращения: 23.01.2023).

93. **Косиченко Ю.М., Баев О.А., Ищенко А.В.** Современные методы борьбы с фильтрацией на оросительных системах // Инж. вестн. Дона. – 2014. – № 3. [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.booksc.xyz/ireader/50814998> (дата обращения: 23.01.2023).

94. **Кормилицына О.В., Бондаренко В.В.** Мелиорация кислых почв // Лесной вестник. – 2007. – № 7. – С. 84-89.

95. **Краснощеков В.Н., Ольгаренко Г.В., Ольгаренко Д.Г.** Методические рекомендации по оценке эколого-экономической эффективности инвестиционных проектов мелиорации земель сельскохозяйственного назначения. – Коломна, 2016. – 97 с.

96. **Краснощеков В.Н.** Эколого-экономическое обоснование эффективности комплексных мелиораций. Теория и практика : автореф. дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.05. – М., 2002. – 41 с.

97. Критерии оценки экологической обстановки территории для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. – М., 1992. – 32 с.

98. **Кудряшова С.Я.** Контролируемые показатели почвенно-экологического мониторинга: учеб. пособ. – Новосибирск: Новосибирский ГТУ, 2003. – 93 с.

99. **Лабенец Е.И., Горбунов Н.И., Шурина Г.Н.** Прогноз изменений свойств почв и разрушения минералов под влиянием воды и растворов // Почвоведение. – 1974. – № 4. – С. 130-146.

100. **Лозовицкий П.С.** Изменение свойств темно-каштановой почвы в условиях длительного орошения на Каховской оросительной системе // Почвоведение. – 2005. – № 5. – С. 620-633.

101. **Лунева Е.Н.** Новые подходы использования сидеральных культур для улучшения состояния поливных земель // Мелиорация и орошение земледелия в степной зоне и эксплуатации гидромелиоративных систем : тез. докл. на совместном заседании секции РАСХН 27-29 октября 1998 г. – Новочеркасск, 1999. – С. 37-41.
102. **Любимова И.Н., Борисочкина Т.И.** Влияние потенциально-опасных химических элементов, содержащихся в фосфогипсе на окружающую среду. – М., 2007. – 47 с.
103. **Максименко В.П., Шалина Г.В., Ешенкулов С.А.** Объемное рыхление маломощных черноземов в условиях орошаемого земледелия // Перспективные способы и технологии орошаемых земель : сб. науч. тр. – М., 1984. – С. 58-67.
104. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: справочник / под ред. Б.Б. Шумакова. – М: Колос, 1999. – 285 с.
105. **Мелихов В.В., Казакова Л.А.** Комплексная мелиорация солонцовых почв // Земледелие. – 2005. – № 2. – С. 8-12.
106. Методические рекомендации по обследованию и картографированию почвенного покрова по уровням загрязненности промышленными выбросами. – М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1987. – 26 с.
107. Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель [Электронный ресурс]. – URL: <https://docplan.ru/Data1/10/10-803/index.htm> (дата обращения: 23.01.2023).
108. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М., 1989. – 62 с.
109. Методические указания по эксплуатации закрытой оросительной сети. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.ubmvh-03.ru/sites/all/files/rosniipm_2015-11-02_5.pdf (дата обращения: 23.01.2023).
110. Методические указания по проведению мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. – М.: ФГНУ «Росинформ-агротех», 2003. – 240 с.
111. Методика оценки качества вод для орошения сельскохозяйственных культур на черноземах в Центрально-Черноземных областях: временные рекомендации. – Новочеркасск, 1988. – 26 с.
112. Методические рекомендации по организации и проведению мониторинга орошаемых ландшафтов. – Волгоград: ВНИИОЗ, 1993. – 43 с.
113. Методы исследования и приборное обеспечение почвенно-экологического мониторинга на мелиорируемых землях: науч.-техн. обзор. – М.: Мелиоводинформ, 2005. – 136 с.

114. Методические рекомендации по мелиорации солонцов и учету засоленных почв. – М.: Колос, 1970. – 112 с.

115. Методические указания по назначению компенсационных мероприятий по снижению ущерба от поверхностных стоков / В. Н. Щедрин [и др.]. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2008. – 66 с.

116. Методические указания по определению опасного уровня водной и ветровой эрозии / Г.Т. Балакай [и др.]. – Новочеркасск, 2015. – 23 с.

117. Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель: утв. Роскомземом 28 декабря 1994 г., Минсельхозпродом России 26 января 1995 г., Минприроды России 15 февраля 1995 г. [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902101153> (дата обращения: 25.01.2023).

118. Методическое пособие и нормативные материалы для разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия / под ред. А.Н. Каштанова, А.П. Щербакова, Г.Н. Черкасова. – Курск, Тверь: Чудо, 2001. – 260 с.

119. **Минашина Н.Г.** Заботиться о плодородии почв при орошении // Мелиорация и водное хоз-во. – 1988. – № 2. – С. 36-38.

120. **Минашина Н.Г.** Методы оценки влияния орошения на агрофизические свойства, водный и солевой режимы черноземов // Тез. докл. к Всесоюз. науч.-техн. совещ. «Совершенствование методов надзора за мелиоративным состоянием орошаемых земель и оценки влияния, водных мелиораций на окружающую среду». – Ашхабад, 1987. – 180 с.

121. **Могханм Ф.С.** Агрогенетическая характеристика орошаемых почв Западного Казахстана и Северного Египта: автореф. дис. ...канд. с.-х. наук: 03.00.27. – СПб-Пушкин, 2009. – 23 с.

122. **Монастырский В.А., Бабичев А.Н.** Рост, развитие сидеральных культур и их влияние на агрохимические свойства орошаемых черноземов Ростовской области // Науч. журн. Рос. НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2013. – № 2 (10). – С. 21-31. – URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=171&id=174> (дата обращения: 19.01.2023).

123. **Муравьев А.Г., Каррыев Б.Б., Ляндзберг А.Р.** Оценка экологического состояния почвы: практ. рук. – СПб: ассоциация «Крисмос + », 2000. – 132 с.

124. Научно-практические рекомендации по применению фосфогипса нейтрализованного в качестве химического мелиоранта и серного удобрения. – М.: ВНИИА, 2012. – 56 с.

125. **Несват А.П.** Влияние орошения на водно-физические свойства темно-каштановых почв // Известия Оренбургского ГАУ. – 2011. – Т. 4, вып. 32-1. – С. 57-58.

126. **Никитин Е.Д.** Экология почв и учение о почвенных экотонках // Почвоведение. – 2005. – № 9. – С. 1044-1053.

127. Нормативы основных показателей плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения Ростовской области. – Ростов н/Д., 2012. – 63 с.

128. Новый подход к сохранению плодородия орошаемых земель юга России / Р. С. Масный [и др.]. – Новочеркасск: Рос. НИИПМ, 2021. – 22 с.

129. Нормы водопотребности и экологически безопасные режимы орошения сельскохозяйственных культур / под ред А. В. Колганова, В. Н. Щедрина. – М., 2000. – 152 с.

130. **Орлов Д.С., Гришина Л.А.** Практикум по химии гумуса. – М.: МГУ, 1981. – 270 с.

131. **Осипов А.И.** Современные подходы к известкованию кислых почв России // АПК – стратегический ресурс экономического развития государства: междунар. агропром. конгресс / ООО «ЭФ – Интернэшнл». – СПб, 2015. – С. 66-67.

132. Охрана окружающей природной среды. Всерос. науч.-исслед. ин-т охраны природы. – М., 2001. – 173 с.

133. Оценка почв / В. И Савич [и др.]. – Астана, 2003. – 556 с.

134. **Панов А.П., Мамонтов В.Г.** Почвенные процессы в орошаемых черноземах и каштановых почвах и пути предотвращения их деградации. – М.: Россельхозакадемия, 2001. – 253 с.

135. **Папинян В.А.** Дифференцированное внесение концентрированной серной кислоты при мелиорации содовых солонцов-солончаков в чеках // Почвоведение и агрохимия. – 2013. [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/differentsirovannoe-vnesenie-kontsentrirrovannoy-sernoy-kisloty-pri-melioratsii-sodovyh-solontsov-solonchakov-v-chekah> (дата обращения: 25.01.2023).

136. Пат. RU 2320815С2 Россия, МКП Е02В 11/00. Способ фитомелиоративного биодренирования поливных земель / Коробов В. И.; заявитель и патентообладатель Волгоградская гос. с.-х. акад. – № 2005129942/03, заявл. 26.09.05; опубл. 27.03.08, Бюл. № 29. – 9 с.

137. **Пинчук А.П.** Динамика структурного состава и пищевого режима обыкновенного и выщелоченного чернозема при орошении / Тр. Кубанского с.-х. ин-та. – Вып. 226 (254). – 1983. – С. 30-38.

138. Повышение плодородия деградированных и малопродуктивных почв путем применения удобрительно-мелиорирующих смесей / В.М. Яшин, Л.В. Кирейчева, С.В. Перегудов, К.Н. Евсенкин, Е.Ю. Шилова // Мелиорация и водное хоз-во. – 2014. – № 5. – С. 26-30.

139. Поколения оросительных систем: прошлое, настоящее, будущее: монография / В.Н. Щедрин [и др.]; под общ. ред. В.Н. Щедрина. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2012. – 164 с.

140. **Полуэктв Е.В.** Эрозия и дефляция агроландшафтов Северного Кавказа: моногр. – Новочеркасск: НГМА, 2003. – 298 с.

141. Почвы субъектов Российской Федерации [Электронный ресурс]. – URL: <http://egrpr.esoil.ru/content/1sem.html> (дата обращения: 17.01.2023).

142. Практикум по биологии почв / Г. М. Зенова [и др.]. – М.: Московский ун-т, 2009. – 120 с.

143. Принципы и методы организации орошаемых земель на агроландшафтной основе / под ред. А.В. Колганова, В.Н. Щедрина. – М., 2001. – 107 с.

144. **Приходько В.Е.** Орошаемые степные почвы: функционирование, экология, продуктивность. – М.: Интеллект, 1996. – 180 с.

145. Проблемы деградации, охраны и восстановления продуктивности сельскохозяйственных земель России: под ред. акад. Россельхозакадемии Г.А. Романенко. – М.: ВНИИА, 2007. – 76 с.

146. Провести исследования и разработать методику расчета экономической эффективности от применения нормативно-методической документации в области мелиорации бюджетными учреждениями, подведомственными Минсельхозу России, проектными, научными и образовательными учреждениями (на примере Южного федерального округа): отчет о НИР (заключ.): 2.1.5.2 / ФГБНУ «РосНИИПП»; рук.: Щедрин В. Н. Новочеркасск, 2019. 117 с. Исполн.: Щедрин В. Н. [и др.]. Рег. № НИОКТР ААА-А-А19-119021190100-1. Рег. № ИКРБС АААА-Б20- 220012790143-5.

147. **Пронько В.В., Табункова О.А.** Пищевой режим орошаемых темно-каштановых почв // Плодородие. – 2005. – № 4 (25). – С. 29-31.

148. **Пронько Н.А., Романова А.Г.** Приемы восстановления плодородия почв при орошении // Плодородие. – 2005. – № 4 (25). – С. 31-32.

149. **Радевич Е.В., Калининченко В.П.** Свойства темно-каштановых почв солонцового комплекса при химической мелиорации фосфогипсом // Плодородие. – № 3. – 2010. – С. 29-30.

150. Разработка системы критериев состояния плодородия почвенного покрова мелиорированных земель, обеспечивающих оптимальный водный режим: отчет о НИР (закл.) ФГНУ «РосНИИПМ»; рук. Н.С. Скуратов. – Новочеркасск, 2002. – 141 с. – № ГР 01.20.0215493. – Инв. № 02200206394.

151. **Ратнер Е.И.** Минеральное питание растений и поглотительная способность почв. – М.: Изд-во АН СССР, 1950. – 320 с.

152. РД-АПК 3000-01-003-03. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиций проектов мелиорации сельскохозяйственных земель. Введ. 2003-02-01. – М., 2002. – 130 с.

153. Рекомендации по мелиорации почв солонцовых комплексов Ростовской области в условиях орошения. – Новочеркасск, 1980. – 36 с.

154. Рекомендации по мелиорации засолено-солонцовых почв Центрально-Черноземного региона. – Каменная Степь, 2019. – 18 с.

155. Рекомендации для исследования баланса и трансформации органического вещества при сельскохозяйственном использовании и интенсивном окультуривании почв. – М., 1984. – 85 с.

156. Рекомендации по определению предельно допустимой минерализации поливной воды для условий черноземных почв Ростовской области при орошении дождеванием / ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1984. – 21 с.

157. **Решетов Г.Г.** Эффективные способы мелиорации засоленных почв в Саратовском Заволжье // Вестн. – 2003. – № 6. – С. 33-38.

158. **Романова Л.Г., Кижасева В.Е.** Роль севооборотов в оптимизации эколого-мелиоративного состояния орошаемых земель // Экономика-математические методы анализа деятельности предприятий АПК: сб. ст. 3-й Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов: СГАУ, 2019. – С. 302-309.

159. **Романова Л.Г.** Влияние длительного орошения на свойства темно-каштановых почв Заволжья и агро-мелиоративные приемы их улучшения: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02. – Саратов, 2002. – 23 с.

160. **Романова Л.Г.** Основные показатели оперативной диагностики изменения орошаемых почв Поволжья // Актуальные вопросы образования и науки: сб. науч. тр. по матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Тамбов: консалд. компания «Юником», 2014. – С. 120-122.

161. Руководство по контролю и регулированию почвенного плодородия орошаемых земель / под ред. В.Н. Щедрина. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2017. – 137 с.

162. Руководство по выявлению деградированных почв и земель России для целей государственного контроля за их охраной и рациональным использованием. – М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева РАСХН, 2000. – 133 с.

163. Русский чернозем – 100 лет после Докучаева / В. Г. Розанов [и др.]. – М.: Наука, 1983. – 304 с.

164. **Рябцев Е., Миронченко С., Лозовой В., Калиниченко В., Черненко В.** Мелиорирующее влияние многолетних трав при окультуривании солонцов // Гл. агроном. – 2009. – № 5. – С. 17-19.

165. **Самойлова Е.М.** Предельно допустимые параметры черноземов Алтайского края при орошении // Вестн. с.-х. наук. – 1989. – № 4. – С. 14-19.

166. **Седых В.А., Савич В.И., Балабко П.Н.** Почвенно-экологический мониторинг. – М., 2013. – 584 с.

167. **Сенчуков Г.А.** Ландшафтно-экологические и организационно-хозяйственные аспекты обоснования водных мелиораций земель. – Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2001. – 276 с.

168. Система мелиоративных мероприятий для различных типов агроландшафтов, обеспечивающих устойчивость к деградационным процессам и повышение плодородия почв: рекомендации / В.Н. Щедрин [и др.]. – М.: Столичная типография, 2008. – 84 с.

169. **Скуратов Н.С., Докучаева Л.М., Шалашова О.Ю.** Использование и охрана орошаемых черноземов. – М., 2001. – 246 с.

170. **Скуратов Н.С., Кулинич Г.С., Докучаева Л.М.** Особенности освоения почв солонцовых комплексов // Повышение эффективности использования водных ресурсов в сел. хоз-ве: тез. конф. – Ч. III. – Новочеркасск, 1990. – С. 16-24.

171. **Скуратов Н.С., Докучаева Л.М., Шалашова О.Ю.** Использование и охрана черноземов. – М., 2000. – 246 с.

172. **Скуратов Н.С., Каменев Р.А.** Лабораторные исследования почв: учеб. пособ. – пос. Персиановский: Донской ГАУ, 2011. – 107 с.

173. **Снипич Ю.Ф.** Выбор и оценка технологий орошения // Природообустройство. – 2011. – № 1. – С. 1-6.

174. **Снипич Ю.Ф., Бабичев А.Н.** Оценка эффективности низкоэнергетических оросительных систем // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. – 2014. – № 55. – С. 109-118.

175. **Соболев С.С.** Бонитировка почв на территории СССР. – М.: МЛТИ, 1974. – 221 с.

176. Современные тренды развития почв солонцовых комплексов на юге степной и в полупустынной зонах в природных условиях и при антропогенных воздействиях / Е. И. Панкова [и др.]. – Экосистемы: экология и динамика. – 2019. – Т. 3 – № 2. – С. 44-48. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/-sovremennye-trendy-razvitiya-pochv-solontsovykh-kompleksov-na-yuge-stepnoi-i-v-polupustynnoi-zonah-v-prirodnyh-usloviyah-i-pri/viewer> (дата обращения: 17.01.2023).

177. Справочник по планированию и экономике сельскохозяйственного производства. – Ч. 1 / Г.В. Кулик [и др.]. – 2-е изд. – М.: Россельхозиздат, 1987. – 512 с.

178. **Сыпко М.Е., Докучаева Л.М.** К вопросу о мелиоративной эффективности терриконовой породы // Мелиорация орошаемых земель и использование водных ресурсов: сб. науч. тр. / ГУ «ЮжНИИГиМ». – Новочеркасск, 1988. – С. 15-25.

179. Техническая эксплуатация дренажа на мелиоративных системах: науч. обзор / В. Н. Щедрин [и др.]; ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2012. – 60 с. – Деп. в ВИНТИ 07.06.2012, № 265-В2012.

180. **Троценко И.А., Тарасова М.В.** Влияние однократной и повторной мелиорации на мелиоративное состояние многонатриевого коркового солонца // Вестн. Алтайского ГАУ. – 2014. – № 8 (118). – С. 38-44.

181. **Турулев В.В.** Регулирование водного режима орошаемых обыкновенных черноземов при близком залегании уровня грунтовых вод : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.02. – Новочеркасск, 2008. – 48 с.

182. Тяжелые металлы в системе почва–растение–удобрение / М. М. Овчаренко [и др.]. – М., 1997. – 290 с.

183. **Уваров В.И.** О происхождении слитых почв // Почвоведение. – 1986. – № 3. – С. 118-128.

184. **Устинов М.Т., Глистин М.В.** Критический уровень грунтовых вод как критерий экологомелиоративного состояния почв // Мелиорация и водное хоз-во. – 2018. – № 3. – С. 14-16.

185. Учет гидрометеорологической информации при определении режимов орошения для районов Северного Кавказа. – СПб, 1992. – 85 с.

186. **Фиашев Ю.А., Хачетлов Р.М., Шахцева С.Х.** О влиянии длительного орошения на элементы плодородия обыкновенного мицеллярно-

карбонатного (прекавказского террасового) чернозема // Науч. основы рационального использования почв Северного Кавказа и пути повышения их плодородия / Кабардино-Балкарский гос. ун-т. – Нальчик, 1971. – С. 31-35.

187. Химическая мелиорация солонцов в степной зоне Казахстана / В. И. Кирюшин [и др.] // Теоретические основы и опыт мелиоративной обработки и химической мелиорации солонцовых почв / ВНИИ зернового хозяйства. – Целиноград, 1980. – С. 77–79.

188. **Хлебников Е.Н.** Процессы осолодения почв степной зоны при орошении // Предупреждение и ликвидация заболачивания и засоления орошаемых земель. – М., 1989. – 205 с.

189. **Шадских В.А., Барцев Б.П., Молчанова Н.П.** Агрэкологические основы энергосберегающих технологий в орошаемом земледелии // Мелиорация и водное хоз-во. – 2005. – № 4. – С. 20-22.

190. **Шамсутдинов Н.З.** Биологическая мелиорация солонцовых почв: состояние, результаты, задачи // Экологическое состояние природной среды и науч.-практ. аспекты современных мелиоративных технологий : сб. науч. тр. – Вып. 4. – Рязань: Мещерский фил. ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2010. – С. 162-171.

191. **Шалашова О.Ю.** Повышение плодородия черноземов обыкновенных деградированных при использовании удобрительно-мелиорирующих средств // Науч. журн. Рос. НИИ проблем мелиорации. – 2012. – № 3 (07). – С. 65-77. [Электронный ресурс]. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_17956727_45930459.pdf (дата обращения: 17.01.2023).

192. **Шалашова О.Ю., Бабичев А.Н.** Сравнительный анализ применения удобрительно-мелиорирующих средств для мелиорации солонцеватых почв // Науч. журн. Рос. НИИ проблем мелиорации. – 2018. – № 2 (30). – С. 112-130. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=542&id=551> (дата обращения: 17.01.2023).

193. **Шалашова О.Ю., Бабичев А.Н.** К вопросу применения удобрительно-мелиорирующих смесей при химической мелиорации почв солонцовых комплексов // Научная жизнь. – 2018. – № 4. – С. 105-116.

194. **Шашко Д.И.** Агроклиматическое районирование СССР. – М.: Колос, 1967. – 372 с.

195. **Шикула Н.К., Рожков А.Г., Трегубов П.С.** К вопросу картирования территории по интенсивности эрозионных процессов // Оценка и картирование эрозионноопасных и дефляционноопасных земель. – М.: Изд-во Московского ун-та, 1973. – С. 30-34.

196. **Шуравилин А.В., Вуколов Н.Г., Пивень Е.А.** Свойства и плодородие почв при многолетнем орошении // Плодородие. – 2008. – № 1. – С. 19-21.

197. **Щеглов Д.И., Горбунова Н.С.** Эрозия и охрана почв: учеб.-метод. пособ. для вузов. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского гос. ун-та, 2011. – 34 с.

198. **Щедрин В.Н., Бабичев А.Н., Монастырский В.А.** Опыт использования сидеральных культур для улучшения агрохимических свойств чернозема обыкновенного // Изв. Нижневолжского агроуниверситетского комплекса : Наука и высш. проф. образование. – 2016. – № 1 (41). – С. 14-21.

199. **Щедрин В.Н., Васильев С.М.** Теория и практика альтернативных видов орошения черноземов юга европейской территории России: моногр. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 435 с.

200. **Щедрин В.Н.** Орошение сегодня: проблемы и перспективы. – М.: ЦНТИ Мелиофодинформ, 2004. – 225 с.

201. **Щедрин В.Н., Косиченко Ю.М., Ищенко А.В., Баев О.А.** Высоконадежные конструкции противочистотных облицовок каналов и водоемов с применением инновационных материалов / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2013. – 24 с. – Деп. в ВИНТИ 13.01.14, № 7-В2014.

202. **Щедрин В.Н., Докучаева Л.М., Юркова Р.Е.** Негативные почвенные процессы при регулярном орошении различных типов почв // Науч. журн. Рос. НИИ проблем мелиорации – 2018. – № 2 (30). – С. 1-21. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=542&id=543> (дата обращения: 17.01.2023).

203. **Щеглов Д.И.** Черноземы центра Русской равнины и их эволюция под влиянием естественных и антропогенных факторов. – М.: Наука, 1999. – 214 с.

204. Эрозия и охрана почв [Электронный ресурс]. – URL: https://studme.org/355653/geografiya/eroziya_i_ohrana_pochv (дата обращения: 17.01.2023).

205. **Юркова Р.Е., Докучаева Л.М.** Изменения физико-химических свойств почв с комплексным покровом при различных способах и дозах внесения фосфогипса // Науч. журн. Рос. НИИ проблем мелиорации. – 2016. – № 4 (24). – С. 100-117. [Электронный ресурс]. – URL: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=440&id=447> (дата обращения: 17.01.2023).

206. **Юркова Р.Е., Селицкий С.А., Докучаева Л.М.** Влияние режимов орошения на водопотребление, развитие и урожайность сои // Мелиорация и гидротехника. – 2022. – Т. 12, № 4. – С. 204-217. [Электронный ресурс]. –

URL: <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-4-204-217> (дата обращения: 17.01.2023).

207. **Юркова Р.Е., Докучаева Л.М., Манжина С.А.** Почвообразовательные процессы в серых лесных почвах при длительном орошении // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 1 (65). – С. 21-27.

208. Al-Zu'bi Y. Effect of irrigation water on agricultural soil in Jordan valley: An example from arid area conditions // Journal of Arid Environments. – 2007. – № 7. – P. 63-79.

209. Effects of supplementary irrigation on chemical and physical soil properties in the rolling pampa region of Argentina / R. Mon [et al.] // Ciencia e Investigacion Agraria. – 2007. – № 34 (3). – Pp. 187-194.

210. **Elkins C.B., Haaland R.L., Hoveland C.S.** Grass root as a tool for penetrating soil hardpans and increasing crop yields // Proceedings of the 34 southern pasture and forage crop improvement conference (12–14 April 1977). – Auburn, Ala., 1977. – P. 21-26.

211. **Herrero J., Perez Covetta O.** Soil salinity changes over 24 years in a Mediterranean irrigated district // Geoderma. – 2005. – № 125. – P. 287-308.

212. **Kafkafi U., Tarchitzky J.** Fertigation: A Tool for Efficient Fertilizer and Water Management// IFA, Paris, France, IPI, Horgen, Switzerland. – Paris, 2011. – 139 p.

213. **Suarez D., Wood J., Lesh M.** Effect of SAR on water infiltration under a sequential rain-irrigation management system // Agricultural Water Management. – 2006. – № 86. – P. 150-164.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Морфологические показатели почв

Таблица А.1

Степень карбонатности и выщелоченности почв по глубине вскипания от 10 % HCl

Таксономическое определение почв	Начало вскипания от 10 % HCl
Карбонатные	С поверхности
Слабокарбонатные	В пределах горизонта А
Слабовыщелоченные	В пределах горизонта АВ
Выщелоченные	В нижней части горизонта АВ или в пределах горизонта В
Сильновыщелоченные	За пределами гумусового профиля
Бескарбонатные	Вскипание не обнаруживается в материнской породе

Таблица А.2

Вскипание почвы от 10% HCl и примерное содержание CaCO₃

Характер вскипания	Содержание CaCO ₃ , %
Нет	0-0,3
Слабое	0,3-1,0
Среднее	1,0-2,5
Сильное	2,5-5,0
Бурное	Более 5,0

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Описание почвенного разреза

Глубина, см		Горизонт	Описание
0-15		A	Серовато светло-коричневый, пылеватый, рыхлый, много корневых остатков, преобладают злаки, сухой, рассыпчатый, вскипание с поверхности слабое
15-31		B ₁	Светло-коричневый, разминается с усилием, мелко-комковатый, твердый, корешки реже, сухой, вскипание сильное с 25 см
31-56		B _к	Светло-коричневый с рыжим оттенком, очень твердый, распадается с усилием, крупно- и среднекомковатый, редкие корешки, сухой, сильное вскипание
56-77		B ₂	Светло-коричневый, очень твердый, распадается с усилием, крупный, при разминании – среднекомковатый, сухой, сильное вскипание
77-100		BC	Светло-коричневый, менее твердый, вкрапления белоглазки, среднекомковатый, сухой, сильное вскипание
Более 100		C	Светло-коричневый, рассыпается как пыль, плесень карбонатов, белоглазка, сильное вскипание

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Полевой почвенно-мелиоративный журнал

Организация _____

Группа _____

Почвенный разрез № _____

Дата _____

Область, район, землепользователь, название местности _____

1. Местоположение (геодезическая привязка, пункт, ориентировка по карте, зарисовка) _____

2. Характеристика рельефа в пункте исследования (геоморфологический элемент: плато, склон, терраса, пойма, макрорельеф, мезорельеф, микрорельеф, характер и их происхождение) _____

3. Положение разреза относительно рельефа (экспозиция, уклон, энергия рельефа, абсолютная и относительная высота) _____

4. Угодья и их культурное состояние (степень заболоченности, засоленности, окультуренности и др.) _____

5. Растительный покров и характер поверхности (растительные группировки, состав, густота, высота, засоренность, завалуненность, закокочаренность, глыбистость, культура и урожай) _____

6. Характер вспашки от НСІ _____

7. Залегание карбонатов (см) _____

8. Форма выделения и глубина залегания (см) солей:

а) гипс _____;

б) водно-растворимые соли _____

9. Реакция (рН) по горизонтам _____

10. Уровень почвенных и грунтовых вод (глубина (см), высота и характер капиллярной каймы, критический уровень, минерализация, рН)

11. Почвообразующая порода _____

12. Название почвы: а) полевое, местное

б) окончательное _____

13. Описание разреза по генетическим горизонта (в соответствии с рисунком), с. 2, 3 журнала _____

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Водно-физические свойства почв

Таблица Г.1

Оценка водно-физических показателей свойств почв

Показатели	Предел величины	Оценка показателя
Содержание агрегатов 0,25-10 мм, % от массы воздушно-сухой почвы (метод Саввинова): сухое просивание	Более 80	Отличное
	80-60	Хорошее
	60-40	Удовлетворительное
	40-20	Неудовлетворительное
	Менее 20	Плохое
мокрое просивание	Более 70	Отличное
	70-55	Хорошее
	55-40	Удовлетворительное
	40-20	Неудовлетворительное
	Менее 20	Плохое
Сумма водопрочных агрегатов. Более 0,25 мм, % (метод Саввинова)	Менее 10	Отсутствует
	10-20	Неудовлетворительная
	20-30	Недостаточно удовлетворительная
	30-40	Удовлетворительная
	40-60	Хорошая
	60-75	Отличная
	Более 75-80	Избыточно высокая
Плотность сложения почв, т/м ³	Менее 1	Почва вспушена или богата органическим веществом
	1,0-1,1	Типичные значения для культурной свежеспаханной почвы
	1,2	Пашня уплотнена
	1,2-1,4	Пашня сильно уплотнена
	1,4-1,6	Типичные значения для подпахотных горизонтов различных почв
	1,6-1,8	Сильно уплотненные иллювиальные горизонты почвы

Показатели	Предел величины	Оценка показателя
Порозность, %	55-65 Свыше 70 50-55 Менее 50 40-25	Отличная Культурный пахотный слой Избыточно пористая Почва высушена Удовлетворительная для пахотного слоя Неудовлетворительная для пахотного слоя Чрезмерно низкая – для уплотнен- ных иллювиальных горизонтов
Водопроницаемость в первый час впитыва- ния, мм вод. ст.	1000 1000-500 500-100 100-70 70-30 Менее 30	Провальная Излишне высокая Наилучшая Хорошая Удовлетворительная Неудовлетворительная
Предельная (наимень- шая) полевая влагоем- кость, % сухой массы почвы	Тяжелые по механиче- скому соста- ву почвы: 40-50 30-40 25-30 Менее 25	Наилучшая Хорошая Удовлетворительная Неудовлетворительная
Запасы продуктивной влаги в слое, мм: 0-0,2 м	Более 40 20-40 Менее 20	Хорошие Удовлетворительные Неудовлетворительные
0-1 м	Более 160 160-130 130-90 90-60 Менее 60	Очень хорошие Хорошие Удовлетворительные Плохие Очень плохие

Классификация почв по гранулометрическому составу по Н.А. Качинскому

Содержание физической глины (частиц менее 0,01 мм), %			Содержание физического песка (частиц более 0,01 мм), %			Краткое название почвы по гранулометрическому составу
Тип почвообразования						
подзолистый	степной, красноземы и желтоземы	солонцы и сильносолон- цеватые почвы	подзолистый	степной, красноземы и желтоземы	солонцы и сильносолон- цеватые почвы	
0-5	0-5	0-5	100-95	100-95	10-95	Песок рыхлый (П _р)
5-10	5-10	5-10	95-90	95-90	95-90	Песок связанный (П _{св})
10-20	10-20	10-15	90-80	90-80	90-85	Супесь (С)
20-30	20-30	15-20	80-70	80-70	85-80	Суглинок легкий (С _л)
30-40	30-45	20-30	70-60	70-55	80-70	Суглинок средний (С _{ср})
40-50	46-60	30-40	60-50	55-40	70-60	Суглинок тяжелый (С _т)
50-65	60-75	40-50	50-35	40-25	60-50	Глина легкая (Г _л)
65-80	75-85	50-65	35-20	25-15	50-35	Глина средняя (Г _{ср})
Более 80	Более 85	Более 65	Менее 20	Менее 15	Более 35	Глина тяжелая (Г _т)

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Физико-химические свойства почв

Таблица Д.1

**Разделение почв по глубине залегания верхнего солевого горизонта (его верхней границы)
на орошаемых почвах**

Почва	Глубина залегания верхнего солевого горизонта, см
Солончаковые	0-50
Солончаковатые	50-100
Глубокозасоленные	100-200

Таблица Д.2

Классификация почв по содержанию солей в зависимости от химизма засоления (сумма солей)

Степень засоления почв	Химизм засоления (соотношение ионов, мг-экв) при засолении					
	нейтральном (pH < 8,5)			щелочном (pH > 8,5)		
	хлоридный, сульфатно-хлоридный Cl:SO ₄ более 1	хлоридно-сульфатный Cl:SO ₄ = 1-0,2	сульфатный Cl:SO ₄ менее 0,2	хлоридно-содовый и содово-хлоридный Cl: SO ₄ более 1, HCO ₃ более Ca + Mg, HCO ₃ более SO ₄	сульфатно-содовый и содово-сульфатный Cl:SO ₄ менее 1, HCO ₃ более Ca + Mg, HCO ₃ более Cl	сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный HCO ₃ более Cl, HCO ₃ более SO ₄ , HCO ₃ менее Ca + Mg
Порог токсичности (незасоленные почвы)	Менее 0,1	Менее 0,2	Менее 0,3	Менее 0,1	Менее 0,15	Менее 0,2

Слабая	0,1-0,2	0,2-0,4(0,6)*	0,3(1)-0,6(1,2)*	0,1-0,2	0,15-0,25	0,2-0,4
Средняя	0,2-0,4	0,4(0,6)-0,6(0,9)*	0,6(1,2)-0,8(1,5)*	0,2-0,3	0,25-0,4	0,4-0,5
Сильная	0,4-0,8	0,6(0,9)-1(1,4)*	0,8(1,5-1,5(2))*	0,3-0,5	0,4-0,6	Не встречается
Очень сильная	Более 0,8	Более 1(1,4)*	Более 1,5(2)	Более 0,5	Более 0,6	То же

* Данные в скобках соответствуют степеням засоления по сумме солей в гипсоносных почвах, к которым отнесены почвы, содержащие более 1% $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; по данным водных вытяжек, обычно эти почвы содержат более 10-12 мг-экв Ca и SO_4 (нетоксичного).

Таблица Д.3

Оценка степени засоления по сумме токсичных солей или содержанию отдельных ионов

Степень засоления почв	Показатели засоления в зависимости от химизма засоления*							
	преимущественно хлоридный			преимущественно сульфатный (в том числе хлоридно-сульфатный)		преимущественно содовый		
	$S_{\text{ток}}, \%$	Cl, мг-экв/100 г почвы	Na, мг-экв/100 г почвы	$S_{\text{ток}}, \%$	мг-экв/100 г почвы	$S_{\text{ток}}, \%$	$\text{HCO}_{3\text{ток}}^{**}$, мг-экв/100 г почвы	Na, мг-экв/100 г почвы
Незасолены	Менее 0,05	Менее 0,3	Менее 0,6	Менее 0,15	Менее 1	Менее 0,1	Менее 0,8	Менее 0,6
Слабая	0,05-0,12	0,6-1	0,6-2	0,15-0,3	1-2	0,1-0,15	0,8-1,4	0,6-2
Средняя	0,12-0,35	1-3	2-4	0,3-0,6	2-6	0,15-0,3	1,4-2	2-4
Сильная	0,35-0,7	3-7	4-8	0,6-1	6-12	0,3-0,6	2-3	4-8
Очень сильная	Более 0,7	Более 7	Более 8	Более 1	Более 12	Более 0,6	Более 3	Более 8

* Степень засоления можно оценивать по одному из приведенных показателей.

** Сумма токсичных солей ($S_{\text{ток}}, \%$) равна сумме токсичных ионов, выраженных в %; ионы Cl, Na, Mg относятся к категории токсичных целиком; $\text{HCO}_{3\text{ток}} = \text{HCO}_{3\text{общ}} - \text{Ca}$; мг-экв; $\text{SO}_{4\text{ток}} = \text{SO}_{4\text{общ}} - (\text{Ca} - \text{HCO}_3)_3$, мг-экв; $S_{\text{ток}} = \text{HCO}_{3\text{ток}} + \text{Cl} + \text{SO}_{4\text{ток}} + \text{Na} + \text{Mg} + \text{K}$, %.

**Верхний предел допустимого содержания солей
в зависимости от типа засоления, % на сухую навеску**

Параметр	Тип засоления						
	хлоридный	сульфатно-хлоридный	хлоридно-сульфатный	сульфатный	хлоридно-содовый и содово-хлоридный	сульфатно-содовый и содово-сульфатный	сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный
Общее содержание солей (плотный остаток)	0,15	0,20	0,4(0,6)	0,6(1,2)	0,20	0,25	0,40
Сумма токсичных солей	0,10	0,12	0,25	0,30	0,15	0,25	0,30
Токсичный сульфат-ион	0,02	0,04	0,11	0,14	–	0,07	0,10
Хлор-ион	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	–	0,03
Подвижный натрий-ион	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046
Гидрокарбонат-ион	0,08	0,08	0,08	0,08	0,10	0,10	0,10
pH в суспензии 1:2,5	8,3	8,3	8,3	8,3	8,5	8,5	8,5
Поглощенный натрий	В высокогумусных и малогумусных почвах верхний предел не должен превышать соответственно 10 и 15% суммы катионов						

Примечание. Цифры без скобок соответствуют содержанию гипса в почвах не более 0,5%, в скобках – более 0,5%.

Таблица Д.5

Классификация почв по щелочности (по Б.А. Зимовцу)

Степень щелочности	Токсичная щелочность ($\text{HCO}_3^- - \text{Ca} + \text{Na} + \text{Mg}$), мг-экв/100г	pH водной суспензии (1:2,5)	Обменный натрий, % от емкости обмена	Биологический урожай пшеницы, ц/га	Относительное плодородие, %
Нещелочные	Менее 0,7	7,5	5,0	30	100
Слабощелочные	1,0	8,0	10	25	85
Среднещелочные	1,6	8,5	15	20	65
Сильнощелочные	2,0	9,0	20	15	50
Очень сильнощелочные	Более 2,0	Более 9,0	20	10	30

Таблица Д.6

Классификация почв по степени солонцеватости

Степень солонцеватости	Обменный Na, % от емкости обмена	
	Высокогумусные (черноземы, лугово-черноземные, черноземы луговые)	Малогумусные (каштановые, южные черноземы и др.)
Несолонцеватые	Менее 5	Менее 3
Слабосолонцеватые	5-10	3-5
Среднесолонцеватые	10-15	5-10
Сильносолонцеватые	15-20	10-15

Примечание. По глубине залегания осолонцованного горизонта, см: менее 30 см – солонцеватые; более 30 см – глубокосолонцеватые.

Таблица Д.7

Содоустойчивость почв

Категория почв	Содоустойчивость, мг-экв/100 г почвы	Показатель плодородия
Не обладает содоустойчивостью	0-10	Неудовлетворительное
Очень слабая содоустойчивость	10-20	Неудовлетворительное
Слабая содоустойчивость	20-35	Удовлетворительное
Средняя содоустойчивость	35-50	Удовлетворительное
Высокая содоустойчивость	Более 50	Оптимальное

Таблица Д.8

**Разделение почв по глубине (см) верхней границы
гипсового горизонта (слоя)**

Почва	Глубина верхней границы гипсового горизонта, см
Высокозагипсованная	20-60
Неглубокозагипсованная	60-100
Глубокозагипсованная	100-200
Глубокозагипсованная	Более 200

Таблица Д.9

**Разделение почв по глубине верхней границы
сильно окарбоначенного горизонта**

Почва	Глубина верхней границы сильно окарбоначенного горизонта, см
Поверхностноокарбоначенная	Менее 30
Высокоокарбоначенная	30-60
Неглубокоокарбоначенная	60-100
Глубокоокарбоначенная	100-200
Глубиноокарбоначенная	Более 20

Таблица Д.10

**Степень карбонатности почв и мелкоземистых пород
на содержание CaCO_3**

Степень карбонатности	Содержание CaCO_3 , %
Бескарбонатные (выщелоченные)	Нет
Слабокарбонатные	Менее 1,0
Малокарбонатные	1,0-3,0
Среднекарбонатные	3,0-8,0
Сильнокарбонатные	8,0-20,0
Высокая карбонатность на уровне эллювия, известняков и мергелей	20,0-40,0
Мергелистая карбонатность	40,0-95,0

Таблица Д.11

**Классификация почв по содержанию
недоокисленных токсичных веществ**

Категория почв	Недоокисленные вещества, окисляемые 0,1н KMnO_4 , мг-экв/100 г	Урожайность сельскохозяйственных культур	Почвенное плодородие
Не обладают токсичностью	Менее 50	Проектная урожайность гарантирована	Оптимальное
Слабая токсичность	50-0	Снижение урожая до 15-20%	Удовлетворительное
Сильная токсичность	Более 70	Снижение урожая до 30-50% и более	Неудовлетворительное

Таблица Д.12

**Агрономическая оценка
окислительно-восстановительных условий**

Параметр	Оценка		
	благоприятная	неблагоприятная	очень неблагоприятная
Возможное падение E_h ранней весной, мВ	До 450	350-200	Ниже 200
Время развития весеннего анаэробнозиса (E_h менее 320 мВ), дни	Не более 5	5-10	Более 10
Возможное падение E_h в течение пяти дней при орошении, мВ	До 450	350-200	Ниже 200

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Гидролитическая кислотность и степень насыщенности основаниями

Таблица Е.1

Группировка почв по гидролитической кислотности

Гидролитическая кислотность Нг, ммоль (экв)/100 г почвы	Степень кислотности
> 6,0	Очень сильнокислая
5,1-6,0	Сильнокислая
4,1-5,0	Среднекислая
3,1-4,0	Слабокислая
2,1-3,0	Близкая к нейтральной
≤ 2,0	Нейтральная

Таблица Е.2

Группировка почв по степени насыщенности основаниями

Степень насыщенности основаниями	Значение, %
Очень низкая	Менее 30,0
Низкая	30,1-50,0
Средняя	50,1-70,0
Повышенная	70,1-90,0
Высокая	Более 90,0

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Агрохимические свойства почв

Таблица Ж.1

Оценка гумуса

Показатели	Предел величины	Уровень, характер признака
Общее содержание гумуса в минеральном профиле почв, %	Более 10	Очень высокое
	6-10	Высокое
	4-6	Среднее
	2-4	Низкое
	Менее 2	Очень низкое
Запасы гумуса, т/га в слое 0–20 см	Более 200	Очень высокое
	150-200	Высокое
	100-150	Среднее
	50-100	Низкое
	Менее 50	Очень низкое
В слое 0-100 см	Более 600	Очень высокое
	200-400	Высокое
	400-600	Среднее
	100-200	Низкое
	Менее 100	Очень низкое
Степень гумификации органического вещества, $C_{г.к.}/C_{общ.} \cdot 100\%$	Более 40	Очень высокая
	40-30	Высокая
	30-20	Средняя
	20-10	Слабая
	Менее 10	Очень слабая
Тип гумуса, $C_{г.к.}/C_{ф.к.}$	Более 2	Гуматный
	2-1	Фульватно-гуматный
	1-0,5	Гуматно-фульватный
	Менее 0,5	Фульватный
Обогащенность гумуса азотом, C:N	5	Очень высокая
	5-8	Высокая
	8-11	Средняя
	11-14	Низкая
	Более 14	Очень низкая

Обеспеченность почв азотом

мг/кг

Оценка обеспеченности	рН менее 5			рН 5-6			рН более 6		
	З	К	О	З	К	О	З	К	О
Очень низкая	Менее 40	Менее 50	Менее 60	Менее 30	Менее 40	Менее 50	Менее 30	Менее 40	Менее 50
Низкая	40-50	50-70	60-100	30-40	40-60	50-80	30-40	40-50	50-70
Средняя	50-70	70-100	100-140	40-60	60-80	80-120	40-50	50-70	70-100
Высокая	Более 70	Более 100	Более 140	Более 60	Более 80	Более 120	Более 50	Более 70	Более 100

Примечание. З – зерновые культуры; К – картофель и кормовые культуры; О – овощные культуры.

Обеспеченность почв подвижным фосфором

мг/кг

Оценка обеспеченности	Культура		
	зерновые и зернобобовые	кормовые корнеплоды, картофель	овощные, технические
<i>Вытяжка Кирсанова</i>			
Очень низкая	Менее 30	Менее 80	Менее 150
Низкая	30-80	80-150	150-200
Средняя	80-150	150-200	200-300
Высокая	Более 15	Более 200	Более 300
<i>Вытяжка Чирикова</i>			
Очень низкая	Менее 20	Менее 50	Менее 100
Низкая	20-50	50-100	100-150
Средняя	50-100	100-150	150-200
Высокая	Более 100	Более 150	Более 200
<i>Вытяжка Труога</i>			
Очень низкая	Менее 30	Менее 70	Менее 120
Низкая	30-70	70-120	120-180
Средняя	70-120	120-180	180-250
Высокая	Более 120	Более 180	Более 250
<i>Вытяжка Аррениуса и Ониани</i>			
	Зерновые, чай	Кормовые корнеплоды	Овощные
Очень низкая	Менее 80	Менее 150	Менее 300
Низкая	80-150	150-300	300-450
Средняя	15-30	300-450	450-600
Высокая	Более 30	Более 450	Более 600
<i>Вытяжка Мачигина</i>			
	Зерновые, хлопчатник	Кормовые корнеплоды, картофель	Овощные, технические культуры
Очень низкая	Менее 10	Менее 15	Менее 30
Низкая	10-15	15-30	30-45
Средняя	15-30	30-45	45-60
Высокая	Более 30	Более 45	Более 60

Таблица Ж.4

Обеспеченность почв подвижным калием

мг/кг

Оценка обеспеченности	По Кирсанову	По Масловой	По Чирикову	По Эгнеру – Риму	По Опинани	По Мачигину
Очень низкая	Менее 40	Менее 50	Менее 20	-	Менее 200	Менее 50
Низкая	40-80	50-100	20-40	Менее 70	200-300	50-100
Средняя	80-120	100-150	40-80	70-140	300-400	100-200
Повышенная	120-170	150-200	80-120	Более 140	-	200-300
Высокая	170-200	200-300	120-180	-	Более 400	300-400
Очень высокая	Более 200	Более 300	Более 180	-	-	Более 400

Таблица Ж.5

Обеспеченность почв подвижной (сульфатной) серой в вытяжке 1н KCl

мг/кг

Обеспеченность	Содержание серы
Низкая	Менее 6,0
Средняя	6,1-12,0
Высокая	Более 12,0

Таблица Ж.6

Обеспеченность почв подвижными формами микроэлементов, определяемых по методу Пейве – Ринькиса

Элемент	Экстрагирующий раствор	Градации почв по содержанию микроэлементов, мг/кг		
		низкое	среднее	высокое
Марганец	0,1 н H ₂ SO ₄	Менее 30	31-70	Более 70
Цинк	1 н KCl	Менее 0,7	0,8-1,5	Более 1,5
Медь	1 н KCl	Менее 1,5	1,6-3,3	Более 3,3
Кобальт	1 н HNO ₃	Менее 0,1	1,1-1,2	Более 2,2
Бор	H ₂ O	Менее 0,33	0,34-0,7	Более 0,7
Молибден	-	Менее 0,1	0,11-0,22	Более 0,22

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Перечень диагностических и дополнительных показателей для выявления эродированных почв и земель

1. Водная эрозия

1.1. Плоскостная эрозия:

- 1) уменьшение мощности почвенного профиля (A + B), %;
- 2) уменьшение запасов гумуса в профиле почвы (A + B) от фонового, %;
- 3) изменение гранулометрического состава верхнего горизонта почв;
- 4) потери почвенной массы в год, т/га;
- 5) площадь обнаженной почвообразующей породы (C) или подстилающей породы (D) от общей площади, %;
- 6) увеличение площади эродированных почв в год, %.

Дополнительные показатели:

- 1) уменьшение мощности гумусового (пахотного) горизонта (см);
- 2) снижение запасов питательных веществ;
- 3) скорость смыва;
- 4) уклоны поверхности и опасность развития эрозионных процессов.

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Эколого-токсикологическое состояние почв

Таблица К.1

Содержание валовых форм тяжелых металлов и мышьяка в почвах

мг/кг

Почвы	Zn	Cd	Pb	Hg	Cu	Co	Ni	As
Дерново-подзолистые песчаные и супесчаные	28	0,05	6	0,05	8	3	6	1,5
Дерново-подзолистые суглинистые и глини- стые	45	0,12	15	0,10	15	10	30	2,2
Серые лесные	60	0,20	16	0,15	18	12	35	2,6
Черноземы	68	0,24	20	0,20	25	15	45	5,6
Каштановые	54	0,16	16	0,15	20	12	35	5,2

Таблица К.2

Показатели уровня загрязнения земель тяжелыми металлами

Тяжелый металл	Содержание в 1 кг, соответствующее уровню загрязнения, мг				
	первому допустимому	второму низкому	третьему среднему	четвертому высокому	пятому очень высокому
Кадмий	Менее ПДК	От ПДК до 3	3-5	5-20	Более 20
Свинец	То же	От ПДК до 125	125-250	250-600	Более 600
Ртуть	--/--	От ПДК до 3	3-5	5-10	Более 10
Цинк	--/--	От ПДК до 500	500-1500	1500-3000	Более 3000
Медь	--/--	От ПДК до 200	200-300	300-500	Более 500
Кобальт	--/--	От ПДК до 50	50-150	150-300	Более 300
Никель	--/--	От ПДК до 150	150-300	300-500	Более 500
Молибден	--/--	От ПДК до 40	40-100	100-200	Более 200
Олово	--/--	От ПДК до 20	20-50	50-300	Более 300
Хром	--/--	От ПДК до 250	250-500	250-800	Более 800
Ванадий	--/--	От ПДК до 225	225-300	225-350	Более 350

**Показатели уровня загрязнения земель органическими
и неорганическими соединениями**

Элемент, соединение	Содержание, соответствующее степени загрязнения, мг/кг			
	низкий	средний	высокий	очень высокий
<i>Неорганические соединения</i>				
Кадмий	Менее 3	3-5	5-20	Более 20
Свинец	Менее 125	125-250	250-600	Более 600
Ртуть	Менее 3	3-5	5-10	Более 10
Мышьяк	Менее 20	20-30	30-50	Более 50
Цинк	Менее 500	500-1500	1500-3000	Более 3000
Медь	Менее 200	200-300	300-500	Более 500
Кобальт	Менее 50	50-150	150-300	Более 300
Никель	Менее 150	150-300	300-500	Более 500
Молибден	Менее 40	40-100	100-200	Более 200
Олово	Менее 20	20-50	50-300	Более 300
Барий	Менее 200	200-400	400-2000	Более 2000
Хром	Менее 250	250-500	500-800	Более 800
Ванадий	Менее 225	225-300	300-350	Более 350
Фтор водорастворимый	Менее 15	15-25	25-50	50
<i>Органические соединения</i>				
Хлорированные углеводороды (в том числе хлорсодержащие пестициды ДДТ, ГХЦГ, 2,4-Д и др.	Менее 5	5-25	25-50	Более 50
Хлорфенолы	Менее 1	1-5	5-10	Более 10
Фенолы	Менее 1	1-5	5-10	Более 10
Полихлор-бифенилы	Менее 2	2-5	5-10	Более 10
Циклогексан	Менее 6	6-30	30-60	Более 60
Пиридины	Менее 0,1	0,1-2	0,1-2	Более 20
Тетрагидрофуран	-	-	-	Более 40
Стирол	Менее 5	5-20	5-20	Более 50

Элемент, соединение	Содержание, соответствующее степени загрязнения, мг/кг			
	низкий	средний	высокий	очень высокий
Нефть и нефтепродукты	Менее 1000-2000	2000-3000	2000-3000	Более 5000
Бенз(а)пирен	Менее 0,1	0,1-0,25	0,25	Более 0,5
Бензол	Менее 1	1-3	3-10	Более 10
Толуол	Менее 10	10-50	50-100	Более 100
Альфаметил-стирол	Менее 3	3-10	10-50	Более 50
Ксилолы (орто-, мета-, пара-)	Менее 3	3-30	30-100	Более 100
Сернистые соединения	180	180-250	250-380	380

Таблица К.4

**Предельно допустимые концентрации
химических веществ в почвах**

Элемент, химическое вещество	Величина ПДК, мг/кг почвы
<i>Валовые формы</i>	
Ванадий	150
Марганец	1500
Марганец + ванадий	11000 + 100
Мышьяк	2,0
Олово	4,5
Ртуть	2,1
Свинец	32
Сурьма	4,5
Хром (+3)	90
Сернистые соединения	160
Сероводород	0,4
Нитраты	130
<i>Водорастворимые формы</i>	
Фтор	10
<i>Подвижные формы</i>	
Свинец	6
Никель	4

Продолжение табл. К.3

Элемент, химическое вещество	Величина ПДК, мг/кг почвы
Хром	6
Медь	3
Цинк	23
Кобальт	5
Марганец: для черноземов	700
для дерново-подзолистых почв при рН: 4,0	300
5,1-6,0	400
более 6,0	500

Таблица К.5

**Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК)
тяжелых металлов и мышьяка в почвах (валовое содержание)**

мг/кг

Почвы	Никель	Медь	Цинк	Мышьяк	Кадмий	Свинец
Песчаные и супесчаные	20	33	55	2	0,5	32
Суглинистые и глини- стые при рН: менее 5,5	40	66	110	5	1,0	65
более 5,5	80	132	220	10	2,0	130

Таблица К.6

**Ориентировочно допустимые концентрации пестицидов
в почвах**

мг/кг

Наименование вещества	Величина ОДК	Наименование вещества	Величина ОДК
Абат	0,6	Пирмаин	0,7
Амбуш	0,05	Пликран	0,1
Амибен	0,5	Плондрел	0,15
Антио	0,2	Поликарбацин	0,6
Арезин	0,7	Полихлорбифенилы (суммарно)	0,06
Байлетон	0,4	Препарат А-1	0,5
Байтекс	0,4	Промед	0,01
Банлат	0,1	Рамдон	0,2

Наименование вещества	Величина ОДК	Наименование вещества	Величина ОДК
Биферан	0,5	Реглон	0,2
БМК	0,1	Ровраль	0,15
Бромофос	0,2	Сангор	0,04
Бронокот	0,5	Сапроль	0,03
Гексохлор-бензол	0,03	Солан	0,6
Геметрел	0,5	Стомп	0,15
Гербан	0,7	Сульфазин	0,1
Гидрел	0,5	Сутан	0,6
Дактал	0,1	Тепоран	0,4
ДДВФ	0,1	Тербацид	0,4
Декстрел	0,5	Тиллам	0,6
Дигидрел	0,5	Тиодан	0,1
Дифенамид	0,25	Топсин-М	0,4
Дропш	0,05	Тетрахлорбифенилы	0,06
Зеллек	0,15	Трефлн	0,1
Кампозан	0,5	Триаллат	0,05
Каптан	1,0	Трихлорбифенилы	0,03
Карагард	0,4	ТХАН	0,2
Которан	0,03	ТХМ	0,1
Ленацил	1,0	Фталан	0,3
Лонтрел	0,1	Хлорат магния	1,0
Метазин	0,1	Хостаквик	0,2
Метоксифлор	1,6	Цианокс	0,4
Морфонол	0,15	Цидиал	0,4
Нитроприн + 6ХПК	0,2	Этафос	0,1
Нитрофор	0,2	Эупарен	0,2
Офунак	0,05	Ялан	0,9

Таблица К.7

Ориентировочная оценочная школа опасности загрязнения почв по суммарному показателю загрязнения

Значение показателя, Z_c	Степень загрязнения почв
Менее 16	Допустимая
16-32	Умеренно-допустимая
32-128	Средняя
Более 128	Очень высокая

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

Нитрификационная способность почв

Нитрификационная способность почв ($N-NO_3$, мг/кг почвы)

Предел величин	Уровень признака
Менее 5	Очень низкий
5-8	Низкий
8-15	Средний
15-30	Повышенный
30-60	Высокий
Более 60	Очень высокий

ПРИЛОЖЕНИЕ М

Качество оросительной воды по ее минерализации и степени развития неблагоприятных процессов

Таблица М.1

Оценка качества оросительной воды

Класс воды	Минерализация воды для орошения почв			Оценка воды по степени опасности развития процессов			
	с тяжелым механическим составом и ППК 30-60	со средним механическим составом и ППК 15-30	с легким механическим составом и ППК < 15	хлоридного засоления Cl	натриевого осолонцевания $\frac{Ca^{2+}}{Na^{+}}$	магниевого осолонцевания $\frac{Mg^{2+}}{Mg^{2+} + Ca^{2+}}$	содообразования $(CO_3^{2-} + HCO_3^{-}) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$
I	Менее 0,5	Менее 0,5	Менее 0,5	Менее 2,0	Более 2,0	Менее 0,5	Менее 1,0
II	0,5 до 0,8	0,5 до 1,0	0,5 до 1,0	2,0 до 4,0	2,0 до 1,0	0,5 до 0,6	2,0 до 1,25
III	0,8 до 1,2	1,0 до 1,5	1,0 до 2,0	4,0 до 10	1,0 до 0,5	0,6 до 0,7	1,25 до 2,5
IV	Более 1,2	Более 1,5	Более 2,0	Более 10,0	Менее 0,5	Более 0,7	Более 2,5

Примечание. Концентрация ионов выражена в мг-эquiv/дм³; ППК – емкость поглощения почв в мг-эquiv/100 г почвы; минерализация воды – в г/дм³.

Характеристика классов оросительной воды

Класс воды	Характеристика классов воды
1	Оросительная вода не оказывает неблагоприятного влияния на плодородие почв, урожайность и качество сельскохозяйственной продукции, поверхностные и подземные воды. Не требуются ограничения состава сельскохозяйственных культур
2	Оросительная вода не оказывает неблагоприятного влияния на качество сельскохозяйственной продукции, поверхностные и подземные воды. При недостаточной дренированности возможно засоление почв, снижение урожайности культур слабой солеустойчивости от 5 до 10%. Для удаления солей сверх допустимого уровня содержания в почве требуются умеренный промывной режим орошения при обеспеченной дренированности, специальный комплекс мелиоративных мероприятий
3	Оросительная вода оказывает неблагоприятное влияние на плодородие почв и урожайность сельскохозяйственных культур, снижение урожайности культур слабой и средней солеустойчивости до 10-25 %. Без предварительной мелиорации воды и почв неизбежно развитие процессов засоления, натриевого и магниевого осолонцевания и содообразования почв. Необходимо регулирование pH оросительной воды, обогащение кальцием. Требуется промывной режим орошения при обеспеченной дренированности, интенсивность которого должна быть увязана со свойствами и составом почв, ограничение состава сельскохозяйственных культур, специальный комплекс мелиоративных мероприятий
4	Оросительная вода оказывает неблагоприятное влияние на плодородие почв, урожайность и качество сельскохозяйственной продукции, снижение урожайности культур слабой и средней солеустойчивости от 5 до 25-50 %. Требуется мелиорация почв и воды. Вода не пригодна без предварительного изменения ее качественного состава или проведения специальных исследований влияния ее на качество сельскохозяйственной продукции, плодородие почв и на другие природные факторы

Таблица М.3

**Норма качества оросительной воды,
неорганические соединения**

Показатели	Допустимая величина, мг/дм ³
Железо общее Fe	0,3
Цинк Zn	1,0
Медь Cu	1,0
Бор В	0,5
Фтор F	1,5
Марганец Mn	0,2
Кобальт Со	–
Молибден Мо	0,25
Алюминий Al	0,5
Стронций Sr	7,0
Литий Li	0,03
Ванадий Wa	0,1
Хром Cr ³⁺	0,5
Хром Cr ⁶⁺	0,05
Никель Ni	0,1
Мышьяк As	0,05
Бериллий Be	0,0002
Свинец Pb	0,03
Кадмий Cd	0,001
Селен Se	0,001
Ртуть Hg	0,0005
Вольфрам Wo	0,05
Сурьма Sb	0,05
Титан Ti	0,1
Барий Ba	0,1
Бром Br	0,2
Олово Pb	0,2
Висмут Wi	0,1
Нитраты (по NO ₃)	45,0
Нитраты (по NO ₂)	3,8
Коли-индекс, количество бактерий в 1 л	1000
Эпидемиологически опасные (возбудители тифа, паратифа, сальмонеллы, яйца гельминтов)	Отсутствие

Таблица М.4

Нормы качества оросительных вод, органические соединения

Показатели	Допустимая величина, мг/дм ³
Акросин	25,0
Ацетальдегид	300,0
Диметилдиоксан	100,0
Диметилдисульфид	0,04
Диметилсульфид	0,01
Жиры	50,0
Капролактан	500,0
Красители	25,0
Метилмеркаптан	0,0002
Метанол	30,0
Метионы	500,0
Нефтепродукты	25,0
Нитрофенолы	0,006
Роданиды	2,0
СПАВ анионовые	20,0
СПАВ неионогенные	50,0
Фенол	15,0
Формальдегид	25,0

ПРИЛОЖЕНИЕ Н

Глубина залегания грунтовых вод и степень их минерализации

Таблица Н.1

Критическая глубина залегания грунтовых вод (средняя) для степной зоны

Минерализация, г/дм ³	Критическая глубина грунтовых вод, м	
	нщелочная вода	щелочная вода
<i>Черноземная зона</i>		
1-3	2,0-2,2	2,2-2,5
3-5	2,2-2,5	2,5-3,0
5-10	2,5-3,0	3,0-3,5
<i>Капитановая зона</i>		
1-3	1,8-2,0	2,2-2,5
3-5	2,0-2,2	2,5-3,0
5-10	2,2-2,5	3,0-3,5

Таблица Н.2

Классификация грунтовых вод по степени минерализации (плотный остаток)

Вода	Степень минерализации, г/дм ³
Пресные	1
Слабоминерализованные	1-3
Среднеминерализованные	3-10
Сильноминерализованные	10-50
Рассолы	50

ПРИЛОЖЕНИЕ П

Величины плотности сложения почвы

Плотность сложения для слоя почв 1 м

Тип почвы	Разновидность почвы	Плотность сложения почвы, т/м ³
Дерново-подзолистые	Дерново-подзолистые: • глинистые и тяжелосуглинистые	1,55-1,62
	• средне- и легкосуглинистые	1,45-1,52
	• супесчаные	1,52-1,57
	• песчаные	1,55-1,62
	Дерново-подзолистые окультуренные	1,30-1,40
Серые лесные	Светло-серые лесные	1,40-1,45
	Серые лесные	1,35-1,42
	Темно-серые лесные	1,30-1,37
Черноземы	Черноземы: • оподзоленные	1,25-1,30
	• выщелоченные	1,22-1,27
	• типичные	1,15-1,23
	• обыкновенные	1,23-1,30
	• южные	1,25-1,32
Каштановые	Темно-каштановые	1,30-1,37
	Каштановые	1,35-1,40
	Светло-каштановые	1,37-1,42
Бурые	Бурые полупустынные	1,32-1,37

ПРИЛОЖЕНИЕ Р

Система минерального питания на черноземе обыкновенном, кг/га

Элемент питания	Срок внесения			
	основное	предпосевное	при посеве	подкормка
<i>Озимая пшеница</i>				
Азот	12	–	28	110
Фосфор	30	–	70	–
Калий	45	–	–	–
<i>Яровой ячмень</i>				
Азот	–	70	30	10
Фосфор	–	–	30	30
Калий	–	–	30	–
<i>Кукуруза на зерно</i>				
Азот	12	92	40	10
Фосфор	52	–	40	10
Калий	–	–	–	–
<i>Подсолнечник</i>				
Азот	–	70	40	–
Фосфор	–	–	40	–
Калий	–	–	–	–
<i>Соя</i>				
Азот	–	–	30	10
Фосфор	–	–	40	20
Калий	–	–	40	–
<i>Рапс яровой</i>				
Азот	20	90	20	20
Фосфор	40	–	25	20
Калий	60	–	25	–
<i>Картофель</i>				
Азот	40	130	40	20
Фосфор	100	–	50	20
Калий	150	–	50	–
<i>Сахарная свекла</i>				
Азот	30	70	40	50
Фосфор	80	–	40	20
Калий	120	–	–	–
<i>Хлопок</i>				
Азот	25	90	30	150
Фосфор	60	–	35	–
Калий	90	–	35	–
<i>Многолетние травы</i>				
Азот	–	–	35	150
Фосфор	–	40	–	–
Калий	120	40	–	–

ПРИЛОЖЕНИЕ С

Примерный вынос макроэлементов, кг/га

Культура	Основная продукция	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Озимая пшеница	Зерно	34-38	12-15	23-46
Яровая пшеница	--/	35-40	11-13	28-32
Рожь озимая	--/	34-39	12-14	20-25
Ячмень яровой	--/	25-30	11-12	22-24
Овес	--/	30-35	10-14	22-27
Кукуруза	--/	32-34	10-12	30-35
Просо	--/	30-32	10-14	34-35
Гречиха	--/	35-40	15-20	45-55
Горох	--/	64-67	15-17	25-27
Подсолнечник	Семена	55-60	20-25	100-120
Рапс озимый	--/	49-53	20-23	30-35
Горчица белая	--/	52-57	17-22	20-25
Картофель	Клубни	6-7	1-1,5	5-10
Кормовая свекла	Корнеплоды	3-5	1-1,5	4-7
Столовая морковь	--/	2-4	1-2	3-5
Сахарная свекла	--/	3-6	1-2	5-7
Капуста	Кочаны	3-5	1-3	3-6
Томат	Плоды	2-5	0,5-1	3-6
Огурец	--/	2-5	0,5-1	2-5
Лук	Луковицы	2-3	1-2	3-5
Кукуруза на силос	Сено	3-5	1-2	3-5
Люцерна	--/	25-35	15-20	20-25
Рис	Зерно	19-22	8-10	25-30

ПРИЛОЖЕНИЕ Т

Данные для расчета стоимостной оценки эколого-экономического результата восстановления плодородия почв

Таблица Т.1

Коэффициенты перевода вносимых органических удобрений в постилочный навоз

Удобрение	Коэф- фициент K_0	Объемная масса, т/м ³
Навоз подстилочный или перепревший	1,00	1,00-1,10
Навоз полужидкий (влажность не более 92%)	0,60	1,10
Навоз жидкий (влажность 93-97%)	0,25	1,02
Твердая фракция жидкого навоза	1,00	1,20-1,30
Навоз свиной	1,90	1,43-1,97
Навоз конский свежий	1,30	2,20-2,50
Навоз овечий	1,95	2,20-2,50
Помет птичий сухой	4,30	0,70-1,00
Торф низинный, сухого вещества 16%	0,50	1,20-1,60
Торф низинный, сухого вещества 35%	1,10	1,10-1,20
Сапрпель	0,25	1,80-2,00
Солома	3,40	0,06-0,07
Сидераты (люпин, сараделла)	0,80	1,00-1,80
Торфонавозная смесь (1:1)	1,35	1,20-1,30
Торфонавозная смесь (1:2)	1,20	1,10-1,20
Торфоминеральное аммиачное (ТМАУ)	0,8-1,3	1,30-1,50
Твердая фракция коммунальных сточных вод	0,8-1,0	1,90-2,20
Ил прудов	1,10	1,90-2,20
Нанесение плодородного слоя почвы	1,00	1,10-1,30

Таблица Т.2

Образование гумуса из подстилочного навоза

Тип почвы	Е – % образования гумуса из подстилочного навоза	Кк – коэффициент, учитывающий качество гумуса ППМ
Дерново-подзолистая	5,6-8,0	1,0
Серая лесная	3,0-5,0	1,8
Чернозем обыкновенный	8,6-8,9	2,8
Чернозем выщелоченный, типичный, луговой	10,0-12,7	5,8
Чернозем южный	16,9-17,3	3,2
Каштановая	6,6-8,8	1,8
Серозем	2,2-3,5	1,0

ПРИЛОЖЕНИЕ У

Прогноз проведения агроメリоративных мероприятий на различных типах почв

Прогноз проведения агроメリоративных мероприятий на различных типах почв методом линейной интерполяции

Свойства почвы	До орошения	После 10 лет	Прирост годичный	Прогноз, лет		Мелиоративное мероприятие
				5	15	
<i>Серая лесная почва</i>						
Гидролитическая кислотность, ммоль (экв)/100 г	2,0	3,6	0,16	2,8	4,4	Химическая мелиорация (известкование)
pH _{ксл}	6,0	5,1	-0,14	5,3	4,6	
Насыщенность основаниями, %	30	53	2,3	41,5	64,5	
Плотность сложения почвы, т/м ³	1,10	1,39	0,03	1,25	1,55	Мелиоративные обработки (рыхление)
Водопрочность агрегатов, %	40	31	-0,9	35,5	26,5	Химическая мелиорация (известкование)
Гумус, %	6,2	5,03	-0,12	5,6	4,4	Мероприятия по накоплению органики
<i>Чернозем типичный</i>						
Гидролитическая кислотность, ммоль (экв)/ 100 г	2,0	3,30	0,13	2,65	3,95	Химическая мелиорация (известкование)
pH водной вытяжки	7,2	6,75	-0,05	6,95	6,45	
Обменный кальций, % от ∑ ППК	90	81	-0,9	85,5	76,5	Обогащение почв кальцием
Обменный магний, % от ∑ ППК	9,9	18	0,81	13,95	22,05	
Обменный натрий, % от ∑ ППК	0,1	1	0,09	0,55	1,45	
СО ₂ карбоната, %	0,47	0,15	-0,03	0,31	0,02	
Водопрочность, %	60	37,9	-2,21	48,9	26,8	Обогащение почв кальцием и органикой
Плотность сложения почвы, т/м ³	1,15	1,29	0,014	1,22	1,36	Рыхление

Свойства почвы	До орошения	После 10 лет	Прирост годовой	Прогноз, лет		Мелиоративное мероприятие
				5	15	
Гумус, %	7,19	7,27	0,01	7,23	7,34	Соблюдение системы земледелия
<i>Чернозем обыкновенный ЦЧО</i>						
Гидролитическая кислотность, ммоль (экв)/100 г	1,9	2,1	0,02	2,0	2,2	Мероприятия не требуются, почва по этим показателям остается нейтральной
pH водной вытяжки	7,10	7,15	0,05	7,35	7,85	
Обменный кальций, % от Σ ППК	90	80	-1	85	75	Профилактические мероприятия по обогащению почв кальцием
Обменный магний, % от Σ ППК	9	18	0,9	13,5	22,5	
Обменный натрий, % от Σ ППК	1	2	0,1	1,5	2,5	
CO ₂ карбоната, %	0,86	0,43	-0,043	0,64	0,22	
Водопрочность, %	60	34,7	-2,53	47,4	22	Обогащение почв кальцием, органикой и рыхление
Плотность сложения почв, т/м ³	1,20	1,32	0,012	1,26	1,38	
Гумус, %	6,10	6,23	0,013	6,17	6,19	Соблюдать культуру земледелия
<i>Чернозем обыкновенный – черноземная зона (орошение пресной водой)</i>						
<i>Грунтовая вода: глубина 230 см, минерализация 5 г/дм³ сульфатно-натриевого состава (SO₄-Na)</i>						
Токсичные соли, %	0,042	0,051	0,0009	0,047	0,056	Не требуется
Щелочность, ммоль (экв)/100 г	0,05	0,08	0,003	0,065	0,095	
Обменный кальций, % от Σ ППК	85	78	-0,7	82	74	Химическая мелиорация – гипсование (профилактически)
Обменный магний, % от Σ ППК	14	19	0,5	16	22	
Обменный натрий, % от Σ ППК	1	3	0,2	2	4	
Гумус, %	4,80	3,41	-0,14	4,10	2,7	Обогащение органикой
Плотность сложения почвы, т/м ³	1,10	1,23	0,013	1,17	1,30	Рыхление

Свойства почвы	До орошения	После 10 лет	Прирост годичный	Прогноз, лет		Мелиоративное мероприятие
				5	15	
Водопрочность агрегатов, %	48	37	-1,1	43	32	Химическая мелиорация (профилактически)
<i>Грунтовая вода: глубина 125 см, минерализация 6,1 г/дм³ сульфатно-натриевого состава (SO₄-Na)</i>						
Токсичные соли, %	0,047	0,145	0,01	0,100	0,197	Понижение УГВ
Щелочность, ммоль (экв)/100 г	0,04	0,21	0,02	0,10	0,30	Не требуется
Обменный кальций, % от ∑ ППК	86	74	-1,2	80	68	Химическая мелиорация (гипсование)
Обменный магний, % от ∑ ППК	13	22	0,9	18	26	
Обменный натрий, % от ∑ ППК	1	4	0,3	2	6	
Гумус, %	4,73	3,20	-0,16	3,93	2,33	Обогащение органикой
Плотность сложения почвы, т/м ³	1,08	1,34	0,026	1,21	1,47	Рыхление
Водопрочность агрегатов, %	45	29	-1,6	37	21	Химическая мелиорация (гипсование)
<i>Чернозем обыкновенный – черноземная зона (орошение слабоминерализованной водой)</i>						
Обменный натрий в слое 0-40 см, %	1	6	0,5	3,5	8,5	Химическая мелиорация (гипсование)
Щелочность, ммоль (экв)/100 г	Ca > HCO ₃	1,29	0,129	0,65	1,94	
Обменный кальций, %	85	75	-1	80	60	Накопление органики: севообороты, внесение органики, сидерация
Гумус, %	4,2	3,22	-0,10	3,7	2,7	
Плотность сложения почвы, т/м ³	1,10	1,34	0,024	1,22	1,46	Мелиоративные обработки
Водопрочность агрегатов, %	40	9	-3,1	24,5	0	Химическая мелиорация (гипсование)

Свойства почвы	До орошения	После 10 лет	Прирост годовой	Прогноз, лет		Мелиоративное мероприятие
				5	15	
<i>Темно-каштановая почва – каштановая зона</i>						
Обменный кальций, % от Σ ППК	85	76	-0,9	81	72	Химическая мелиорация (гипсование)
Обменный магний, % от Σ ППК	13	22	+0,8	16	23	
Обменный натрий, % от Σ ППК	2	4	+0,2	3	5	
СО ₂ карбонатов	2	0,17	+0,18	0,9	0	
Плотность сложения, т/м ³	1,29	1038	0,01	1,34	1,44	Рыхление
Водопрочность агрегатов, %	42	27	1,5	34	20	Химическая мелиорация, рыхление
Гумус, %	2,37	2,89	0,05	2,62	3,12	
Сгк:Сфк	2,06	3,0	0,09	2,51	3,41	Унавоживание раз в 4-5 лет
<i>Почвы комплексного покрова – каштановая зона</i>						
<i>Чернозем южный</i>						
Токсичные соли, %	0,05	0,109	0,006	0,08	0,199	Химическая мелиорация с применением кальцийсодержащих мелиорантов
Щелочность, ммоль (экв)/100 г	0,35	0,78	0,043	0,57	1,0	
Обменный кальций, % от Σ ППК	82	72	-1	77	67	
Обменный магний, % от Σ ППК	16	24	0,8	20	28	
Обменный натрий, % от Σ ППК	2	4	0,2	3	5	
Плотность сложения почвы, т/м ³	1,15	1,25	0,01	1,20	1,30	Рыхление с химической мелиорацией и обогащением почв органикой
Водопрочность агрегатов, %	42	38	-0,4	40	36	
Гумус, %	3,62	3,24	-0,038	3,43	3,05	
<i>Солонец</i>						
Токсичные соли, %	0,09	0,151	0,007	0,121	0,191	Агромелиоративные мероприятия аналогичные мероприятиям на черноземе
Щелочность, ммоль (экв)/100 г	0,77	0,94	0,017	0,86	1,03	
Обменный кальций, % от Σ ППК	73	69	-0,4	71	67	
Обменный магний, % от Σ ППК	22	25	0,3	23	26	

Свойства почвы	До орошения	После 10 лет	Прирост годичный	Прогноз, лет		Мелиоративное мероприятие
				5	15	
Обменный натрий, % от Σ ППК	5	6	0,1	6	7	Агромелиоративные мероприятия аналогичные мероприятиям на черноземе
Плотность сложения почвы, т/м ³	1,35	1,48	0,01	1,40	1,50	
Водопрочность агрегатов, %	32	24	-0,8	28	20	
Гумус, %	3,12	2,96	-0,06	3,04	2,88	
<i>Почвы комплексного покрова – полупустынная зона</i>						
<i>Бурая полупустынная почва</i>						
Токсичные соли, %	0,085	0,073	0,001	0,080	0,070	–
Обменный кальций, % от Σ ППК	79	73	-0,6	76	70	Химическая мелиорация профилактическими дозами
Обменный магний, % от Σ ППК	19	24	0,5	21	26	
Обменный натрий, % от Σ ППК	2	3	0,1	3	4	
Плотность сложения почвы, т/м ³	1,24	1,30	0,006	1,27	1,39	Периодическое рыхление
Водопрочность, %	42	33	-0,9	37	28	Химическая мелиорация
Гумус, %	2,22	2,0	-0,02	2,12	1,92	Внесение органических удобрений, сидерация
Степень гумификации, %	24	19,0	0,5	22	17	
<i>Солонец</i>						
Токсичные соли, %	0,154	0,116	-0,004	0,134	0,094	–
Обменный кальций, % от Σ ППК	67	58	-0,9	63	53	Химическая мелиорация
Обменный магний, % от Σ ППК	28	34	0,6	31	37	
Обменный натрий, % от Σ ППК	5	8	0,3	6	10	
Плотность сложения почвы, т/м ³	1,32	1,39	0,007	1,36	1,43	Периодическое рыхление
Водопрочность, %	35	28	-0,7	31	24	Химическая мелиорация
Гумус, %	2,0	1,60	-0,04	1,80	1,40	Внесение органических удобрений, сидерация
Степень гумификации, %	17	14	-0,3	15	13	

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ ДЛИТЕЛЬНО ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ	5
1.1. Влияние длительного регулярного орошения на свойства почв	5
1.2. Изменение свойств почв зонального ряда при длительном орошении.....	13
1.2.1. Серые лесные почвы.....	14
1.2.2. Черноземы типичные и обыкновенные Центрально-Черноземных областей	17
1.2.3. Черноземы обыкновенные и южные в комплексе с солонцами Ростовской области.....	26
1.2.4. Темно-каштановые почвы	46
1.2.5. Бурые полупустынные почвы в комплексе с солонцами	48
2. СИСТЕМА ОЦЕНКИ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ.....	56
2.1. Методика проведения оценки изменений состояния орошаемых земель при их многолетнем сельскохозяйственном использовании.....	56
2.2. Основные показатели оценки почвенного плодородия	62
2.3. Уточненные параметры для оценки почвенного плодородия орошаемых земель.....	82
2.4. Оценка деградационных процессов при орошении	89
2.5. Критерии экологической устойчивости орошаемых земель.....	94
2.6. Оценка факторов отрицательного воздействия длительного орошения на плодородие почв	99
2.7. Оценка агропроизводительной способности почв и эколого-мелиоративного состояния длительно орошаемых почв на основе бонитировки.....	106
3. ПРИЕМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ	131
3.1. Снижение уровня грунтовых вод.....	131
3.1.1. Закрытая оросительная сеть	134
3.1.2. Коллекторно-дренажная сеть.....	136

3.1.3. Биологический дренаж	139
3.2. Почвенные мелиорации, устраняющие негативные процессы....	141
3.2.1. Мелиоративные обработки	141
3.2.2. Химическая мелиорация	144
3.2.3. Комплексная мелиорация	154
3.2.4. Фитомелиорация	162
3.3. Почвозащитные мероприятия для борьбы с ирригационной эрозией.....	165
4. КОМПЛЕКС МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОХРАНЕНИЮ И ПОВЫ- ШЕНИЮ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ	172
4.1. Технологии орошения	172
4.2. Приемы, способствующие накоплению гумуса и питательных элементов	175
4.3. Уровни увлажнения почв и режимы орошения сельскохозяй- ственных культур.....	187
4.4. Агротехнические мероприятия	200
4.4.1. Обработка почв	200
4.4.2. Удобрения.....	202
5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ И ВОСПРОИЗВОДСТВУ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ.....	219
5.1. Экономическая и экологическая эффективность агроmeliора- тивных мероприятий.....	219
5.1.1. Химическая и комплексная мелиорации	222
5.1.2. Уровни увлажнения почв и возделываемых культур.....	233
5.2. Экономическая эффективность почвозащитных мероприятий при ирригационной эрозии.....	237
ЛИТЕРАТУРА.....	240
ПРИЛОЖЕНИЯ	259
Приложение А. Морфологические показатели почв	259
Приложение Б. Описание почвенного разреза	260
Приложение В. Полевой почвенно-мелиоративный журнал	261

Приложение Г. Водно-физические свойства почв.....	263
Приложение Д. Физико-химические свойства почв	266
Приложение Е. Гидролитическая кислотность и степень насыщенности основаниями.....	272
Приложение Ж. Агрохимические свойства почв	273
Приложение И. Перечень диагностических и дополнительных показателей для выявления эродированных почв и земель.....	277
Приложение К. Эколого-токсикологическое состояние почв	278
Приложение Л. Нитрификационная способность почв.....	283
Приложение М. Качество оросительной воды по ее минерализации и степени развития неблагоприятных процессов	284
Приложение Н. Глубина залегания грунтовых вод и степень их минерализации	288
Приложение П. Величины плотности сложения почвы	289
Приложение Р. Система минерального питания на черноземе обыкновенном.....	290
Приложение С. Примерный вынос макроэлементов	291
Приложение Т. Данные для расчета стоимостной оценки эколого-экономического результата восстановления плодородия почв	292
Приложение У. Прогноз проведения агромелиоративных мероприятий на различных типах почв	293

ПОВЫШЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

Научно-практическое издание

Редактор *В.И. Сидорова*

Обложка художника *Т.Н. Лапиной*

Компьютерная верстка *Т.П. Речкиной*

Корректоры: *В.А. Белова, С.И. Ермакова*

fgnu@rosinformagrotech.ru

Подписано в печать 25.04.2023 Формат 60×84/16

Печать офсетная Бумага офсетная

Гарнитура шрифта «Times New Roman»

Печ. л. 19 Тираж 1000 экз. Изд. заказ 24 Тип. заказ 83

Отпечатано в типографии ФГБНУ «Росинформагротех»,
141261, Российская Федерация, Московская обл.,
г.о. Пушкинский, рп. Правдинский, ул. Лесная, д. 60

ISBN 978-5-7367-1740-8



9 785736 717408 >

