

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Департамент мелиорации, земельной политики и госсобственности
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ «РОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МЕЛИОРАЦИИ»
(ФГБНУ «РосНИИПМ»)

УДК 631.452; 631.474

Рег. № НИОКТР АААА-А19-119111890019-7

УТВЕРЖДАЮ
Врио директора ФГБНУ «РосНИИПМ»,
канд. воен. наук
« 15 » ноября 2021 г.
Р. С. Масный



ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Исследования и оценка уровня изменения плодородия почв
при длительном орошении с использованием ресурсосберегающих
технологий и разработка мероприятий по повышению почвенного
плодородия

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОВЕДЕНИЮ КОМПЛЕКСА
АГРОМЕЛИОРАТИВНЫХ ПРИЕМОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПОВЫШЕНИЕ
ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ, ПОВЫШЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР И ЭКОНОМНОЕ
РАСХОДОВАНИЕ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ
НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ
(заключительный отчет по 3 этапу за 2021 г.)

Государственный контракт № 211/20-ГК от 11 ноября 2019 г.

Руководитель НИР,
зам. директора по науке
в области мелиорации,
д-р техн. наук



Ю. Е. Домашенко

Новочеркасск 2021

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР,
зам. директора по науке
в области мелиорации,
д-р техн. наук

 15.10.2021

Ю. Е. Домашенко
(введение, разделы 5–10)

Ответственный исполнитель,
вед. науч. сотр.,
д-р с.-х. наук

 15.10.2021

А. Н. Бабичев
(разделы 5–10, заключение)

Исполнители:

Гл. науч. сотр.,
д-р с.-х. наук, проф.

 15.10.2021

В. А. Шадских
(разделы 1–5, 8, подразделе-
лы 6.3, 6.4, 9.3)

Гл. науч. сотр.,
д-р с.-х. наук, проф.

 15.10.2021

Г. Т. Балакай
(подразделы 7.3, 7.4, 9.4)

Вед. науч. сотр.,
канд. с.-х. наук

 15.10.2021

Л. М. Докучаева
(разделы 5–10)

Вед. науч. сотр.,
канд. с.-х. наук

 15.10.2021

Р. Е. Юркова
(разделы 5–10)

Вед. науч. сотр.,
канд. с.-х. наук

 15.10.2021

В. Е. Кижаяева
(разделы 1–5, 8, подразделе-
лы 6.3, 6.4, 9.3)

Ст. науч. сотр.,
канд. с.-х. наук

 15.10.2021

В. А. Монастырский
(подраздел 8.4)

Ст. науч. сотр.,
канд. техн. наук

 15.10.2021

В. И. Ольгаренко
(подраздел 8.3)

Зам. директора по ФЭД

 15.10.2021

Н. И. Джабраилова
(подраздел 9.1)

Нормоконтролер

 15.10.2021

Е. Н. Штанько

РЕФЕРАТ

Отчет 378 с., 104 табл., 1 рис., 255 источников, 23 прил.

ОЦЕНКА, СВОЙСТВА, ДЕГРАДАЦИЯ, АГРОПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ, ДЛИТЕЛЬНО ОРОШАЕМЫЕ ПОЧВЫ, ПЛОДОРОДИЕ, АГРОМЕЛИОРАТИВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ, ПАРАМЕТРЫ, ОЦЕНОЧНАЯ ШКАЛА, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Объектом исследования являются различные типы почв при длительном орошении.

Целью данной работы является проведение исследований и разработка рекомендаций по проведению комплекса агромелиоративных приемов, обеспечивающих повышение почвенного плодородия, повышение продуктивности сельскохозяйственных культур и экономное расходование материальных ресурсов на орошаемых землях.

В результате исследований разработана методика оценки для управления плодородием почв на основе комплексного учета и оценки агроресурсного потенциала орошаемых почв, включающего систему показателей оценки почвенных деградационных процессов на орошении и диагностические шкалы для обоснования комплексных мероприятий по улучшению мелиоративного состояния различных типов почв. Разработка показателей диагностики изменения состояния длительно орошаемых земель произведена на основе оценки изменения направленности почвообразовательных и гидрохимических процессов, значения которых можно получить исходя из комплексного учета агроресурсного потенциала длительно орошаемых почв. В качестве источников разработки, научной и методической базы использованы результаты научно-исследовательских работ, проведенных в Российской Федерации по изучению влияния длительного орошения на агрофизические и агрохимические свойства длительно орошаемых почв, а также их гумусовое состояние. Система оценки почвенного плодородия орошаемых почв с использованием шкалы комплексной оценки агропроизводительной способности и эко-

лого-мелиоративного состояния длительно орошаемых почв включает оценку изменения свойств почв с точки зрения проявления деградационных процессов при орошении. Информация, получаемая на основе длительного мониторинга орошаемых земель, позволила обеспечить интегральную оценку текущего и прогнозируемого агроэкологического состояния почв, обосновать лимитирующие факторы повышения плодородия почв, разработать систему мероприятий по сохранению и улучшению плодородия орошаемых почв. Работа со статистическими данными позволила дать оценку и анализ показателей с выявлением основных тенденций развития. На основе научно-методических документов: «Методика оценки уровня агресурсного потенциала почв при длительном орошении» и «Система мероприятий по повышению почвенного плодородия длительно орошаемых земель» разработаны «Рекомендации по проведению комплекса агромелиоративных приемов, обеспечивающих повышение почвенного плодородия, повышение продуктивности сельскохозяйственных культур и экономное расходование материальных ресурсов на орошаемых землях».

В результате проведенных исследований изучено почвенное плодородие длительно орошаемых земель претерпевшее деградационные изменения в связи с возникновением негативных экологических факторов (осолонцевания, засоления, уплотнения, ощелачивания, дегумификация и др.) под воздействием орошения.

Документ предназначен для использования в научных, проектных и эксплуатационных организациях агропромышленного комплекса, специализирующихся в области мелиорации земель; органами управления агропромышленного комплекса и сельскохозяйствопроизводителями различных форм собственности в процессе планирования расходов при проведении агромелиоративных работ, на эксплуатацию орошаемых земель при ведении орошаемого земледелия, совершенствовании комплексных приемов повышения и воспроизводства плодородия почв.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 Назначение работы.....	12
2 Область применения	12
3 Исходная нормативно-методическая база	12
4 Термины и определения	14
5 Методика оценки уровня агресурсного потенциала почв при длительном орошении	16
5.1 Факторы воздействия сельскохозяйственного производства на плодородие орошаемых земель	16
5.2 Методика проведения оценки изменений состояния длительно орошаемых земель при их многолетнем сельскохозяйственном использовании	23
5.2.1 Показатели почвенного плодородия почв и методы их определения	23
5.2.2 Основные показатели оценки почвенного плодородия	28
5.2.3 Уточненные параметры плодородия орошаемых земель	48
5.2.4 Оценка изменения свойств почв с точки зрения проявления деградационных процессов при орошении	52
5.2.5 Критерии экологической устойчивости орошаемых земель с точки зрения современных условий сельскохозяйственного производства.....	58
5.2.6 Оценка различных факторов отрицательного влияния длительного орошения на плодородие почв	65
5.3 Методика составления шкал оценки агропроизводительной способности почв и эколого-мелиоративного состояния длительно орошаемых почв.....	70
5.3.1 Оценка агропроизводительной способности почв на основе почвенно-экологических индексов и бонитировки почв.....	70
5.3.2 Оценка агропроизводительной способности почв на основе урожайности возделываемых культур.....	88
6 Требования и ограничения к мероприятиям для сохранения почвенного плодородия длительно орошаемых земель	91
6.1 Требования к выбору технологий орошения	91
6.2 Требования к химической мелиорации.....	94
6.3 Требования к агротехническим мероприятиям	102
6.3.1 Севообороты в системе орошаемого земледелия.....	102
6.3.2 Обработка почв	112
6.3.3 Требования к режимам орошения сельскохозяйственных культур	115
6.4 Требования к агрохимическим мероприятиям	120
6.4.1 Требования к системе минеральных удобрений.....	121
6.4.2 Требования к системе органических удобрений	126
6.4.3 Требования к системе защиты растений	129

7	Комплекс агромелиоративных мероприятий по восстановлению почвенного плодородия длительно орошаемых земель.....	134
7.1	Оптимизация уровня грунтовых вод.....	134
7.2	Почвенные мелиорации.....	144
7.2.1	Мелиоративные вспашки	144
7.2.2	Химическая мелиорация	147
7.2.3	Фитомелиорация	164
7.3	Почвозащитные мероприятия для борьбы с ирригационной эрозией	167
7.4	Агролесомелиоративные мероприятия.....	174
8	Комплекс агротехнических мероприятий, обеспечивающих сохранение и повышение почвенного плодородия	179
8.1	Севообороты в системе орошаемого земледелия	179
8.2	Система способов обработки почв	186
8.3	Режимы орошения сельскохозяйственных культур	190
8.4	Система удобрений на орошаемых землях	212
9	Экономическая и экологическая эффективность применения агромелиоративных и агротехнических мероприятий.....	227
9.1	Эффективность агромелиоративных мероприятий с привязкой к почвенно-климатическим зонам и почвам	227
9.2	Экономическая и экологическая эффективность агромелиоративных мероприятий	234
9.2.1	Химическая и комплексная мелиорации	237
9.2.2	Уровни увлажнения почв и возделываемых культур.....	247
9.2.3	Севообороты с агромелиоративными приемами.....	253
9.3	Экономическая эффективность агротехнических мероприятий при возделывании основных сельскохозяйственных культур	259
9.3.1	Экономическая эффективность выращивания сельскохозяйственных культур в севообороте	259
9.3.2	Экономическая эффективность основной обработки почв	263
9.4	Экономическая эффективность почвозащитных мероприятий при ирригационной эрозии	284
10	Программа для ЭВМ «Определение агромелиоративных мероприятий по показателям свойств почв»	287
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	290
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	293
	Приложение А Морфологические показатели почв.....	320
	Приложение Б Описание почвенного разреза.....	321
	Приложение В Полевой почвенно-мелиоративный журнал	322
	Приложение Г Водно-физические свойства почв.....	323
	Приложение Д Физико-химические свойства почв.....	325
	Приложение Е Гидролитическая кислотность и степень насыщенности основаниями.....	331
	Приложение Ж Агрохимические свойства почв.....	332
	Приложение И Эколого-токсикологическое состояние почв.....	335
	Приложение К Нитрификационная способность почв	339

Приложение Л Шкала оценки деградационных процессов орошаемых земель степной и сухостепной зон Поволжья.....	340
Приложение М Глубина залегания грунтовых вод и степень их минерализации.....	342
Приложение Н Качество оросительной воды по ее минерализации и степени развития неблагоприятных процессов	343
Приложение П Величины плотности сложения почв	346
Приложение Р Усредненные данные пожнивно-корневых остатков и содержание в них питательных веществ	347
Приложение С Рекомендуемые нормы внесения минеральных удобрений под основные культуры на орошаемых землях степной и сухостепной зон.....	348
Приложение Т Виды удобрительно-мелиорирующих компостов и средств, характеристики их компонентов	349
Приложение У Рекомендуемые примерные севообороты для различных областей Поволжья	351
Приложение Ф Данные для расчета режима орошения.....	355
Приложение Х Виды минеральных удобрений	363
Приложение Ц Данные для расчета стоимостной оценки эколого-экономического результата восстановления плодородия почв.....	364
Приложение Ш Исходный текст программы для ЭВМ «Определение агромелиоративных мероприятий по показателям свойств почв».....	365
Приложение Щ Экспертные заключения	373
Приложение Э Выписка из протокола заседания Ученого совета.....	378

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, а 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 к снижению эффективности использования мелиорированных земель, ухудшению во многих регионах почвенного плодородия, вызванные комплексом объективных и субъективных причин. Происходило непрерывное сокращение площадей орошаемых сельскохозяйственных угодий. Так, по данным мелиоративного кадастра, площадь орошаемых земель Российской Федерации к 2002 г. снизилась на 1701,5 тыс. га, или на 27,6 %, затем наметилась некоторая стабилизация. Одновременно к 2018 г. отмечено нарастание ряда негативных процессов на мелиорированных землях. Так, на 25,5 % возросли площади неиспользуемых земель, в том числе вдвое – по причине засоления и заболачивания.

Почти не снижаются площади с залеганием грунтовых вод менее 1 м и с минерализацией их более 3 г/дм³, а также сильно засоленных и сильно солонцеватых почв. Так же имеет место снижение показателей урожайности

сельскохозяйственных культур, их несоответствие проектным данным.

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

Крупномасштабная ирригация почти повсеместно сопровождалась ухудшением экологической обстановки в регионах. Это объясняется упрощенным подходом к почве, относительно небольшим опытом орошения в степной зоне, отсутствием ландшафтного подхода при проектировании и эксплуатации объектов мелиорации, а также низкой культурой земледелия. В настоящее время наиболее слабыми звеньями в структуре мелиоративного производства являются элементы управления процессами воспроизводства почвенного плодородия и водных ресурсов, а также в целом поддержания экологической устойчивости орошаемых агроландшафтов. Эти проблемы связаны с выпадением вопросов восстановления почвенного плодородия из блока мелиоративно-производственных проблем в изолированную проблему охраны почв и водных источников орошения. Необходимость включения природоохранных процессов в систему производственных отношений обосновывается критерием экологической безопасности, т. е. защищенности общества от угроз, возникающих в результате антропогенных и природных (стихийных) воздействий на окружающую среду.

При мелиорации земель очень важно учитывать специфику природной обстановки каждого конкретного региона не только на локальном (местном), но и на региональном (бассейновом) и даже глобальном уровнях. Необходимо учитывать почвенно-климатические условия, геоморфологию, гидрологию и гидрогеологию конкретной ландшафтно-географической зоны. Оро-

шение должно обеспечивать соответствие величины водоподачи интенсивности впитывания влаги почвой и водопотреблению сельхозкультур, сохранение структуры, водно-физических и физико-химических свойств пахотного горизонта, оптимизацию и строгое выдерживание сроков и норм полива с учетом складывающихся погодных условий, получение оптимальных урожаев при сохранении благоприятной экологической обстановки на орошаемом агроландшафте и прилегающей территории.

Развитие АПК России сдерживается отсутствием устойчивого производства гарантированных объемов сельскохозяйственной продукции. Таким гарантом, учитывая природно-климатические условия, может быть только орошение. Но опыт многолетнего орошения различных типов почв 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, оценки уровня агропроизводительной способности длительно орошаемых почв и разработке на их основе ресурсосберегающих технологий орошения и мероприятий по повышению почвенного плодородия.

Под повышением плодородия почв длительно орошаемых земель следует понимать восстановления и сохранения экологических и агрономических свойств нарушенных земель в следствии итенсивного ирригационного земеледелия при применении комплекса агромелиоративных мероприятий с целью получения стабильных урожаев сельскохозяйственных культур.

Объектом наших исследований являются длительно орошаемые почвы, уровень плодородия которых в значительной мере, помимо характеристик почвенного покрова и инженерно-технического состояния оросительных систем, предопределяется и комплексом гидрогеолого-мелиоративных факторов. В условиях орошения деградационные процессы (засоление, переувлажнение, осолонцевание, ухудшение гумусового состояния) протекают несоизмеримо динамичнее, чем на богаре.

Основной целью данной работы является проведение исследований, оценка уровня изменения плодородия почвы при длительном орошении и разработка мероприятий по повышению почвенного плодородия с использованием ресурсосберегающих технологий.

Исследования проведены на основании анализа и обобщения многолетних научных исследований ученых НИИ и вузов России. Использованы материалы, полученные в ФГБНУ «РосНИИПМ» и ФГБНУ «ВолжНИИГиМ» на орошаемых участках различных типов почв.

Новизна исследований состоит в разработке набора показателей и параметров для оценки плодородия длительно орошаемых земель с учетом проявления на них негативных почвенных процессов, а также в отработке методики оценки агропроизводительной способности почв на основе расчетов бонитета почв с применением поправок на отрицательные свойства почв и факторов, что определило новый подход к разработке ресурсосберегающих технологий и мероприятий по повышению плодородия орошаемых земель.

Основанием для проведения НИР является Государственный контракт от 11 ноября 2019 г. № 211/20-ГК «Исследования и оценка уровня изменения плодородия почв при длительном орошении с использованием ресурсосберегающих технологий и разработка мероприятий по повышению почвенного плодородия», выполняемый в рамках реализации мероприятий программы «Развитие мелиоративного комплекса России», Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия, утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 14 июля 2012 г. № 717.

1 Назначение работы

«Рекомендации по проведению комплекса агромелиоративных приемов, обеспечивающих повышение почвенного плодородия, повышение продуктивности сельскохозяйственных культур и экономное расходование материальных ресурсов на орошаемых землях» (далее – Рекомендации) созданы в рамках разработки нормативно-методической документации в развитие федеральных законов от 10 января 1996 г. № 4-ФЗ «О мелиорации земель» и от 16 июля 1998 г. № 101-ФЗ «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения», содержат систему мероприятий по стабилизации плодородия деградированных орошаемых почв на основе использования передовых ресурсосберегающих технологий и предназначены для совершенствования комплексных приемов землепользования.

Внедрение Рекомендаций будет способствовать увеличению валового сбора сельскохозяйственной продукции за счет оптимального использования орошаемых площадей.

2 Область применения

Область применения Рекомендаций: учреждения, организации и предприятия всех форм собственности, занимающиеся организацией и ведением орошаемого земледелия, а также проектированием, строительством и реконструкцией оросительных систем.

3 Исходная нормативно-методическая база

Исходной нормативно-методической базой для разработки Рекомендаций являются:

– Федеральный закон от 10 января 1996 г. № 4-ФЗ «О мелиорации земель» (с изменениями на 8 декабря 2020 г.),

- Земельный кодекс Российской Федерации (Собрание законодательства Российской Федерации, 2001 г., с изменениями на 2 июля 2021 г.),
- Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» (с изменениями на 2 июля 2021 г.),
- Федеральный закон от 16 июля 1998 г. № 101-ФЗ «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения (с изменениями на 31 июля 2020 г.),
- Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (с изменениями на 2 июля 2021 г.),
- Федеральный закон от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ «Водный кодекс Российской Федерации» (с изменениями на 2 июля 2021 г.),
- ГОСТ 27593-88 Почвы. Термины и определения,
- ГОСТ 17.1.2.03-90 Охрана природы. Гидросфера. Критерии и показатели качества воды для орошения,
- ОСТ 10 294-2002. Земли сельскохозяйственного назначения степной зоны Российской Федерации. Показатели состояния плодородия почв,
- ОСТ 10 295-2002. Земли сельскохозяйственного назначения лесостепной зоны Российской Федерации. Показатели состояния плодородия почв,
- ОСТ 10 297-2002. Земли сельскохозяйственного назначения сухостепной и полупустынной зон Российской Федерации. Показатели состояния плодородия почв,
- Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель, 1995,
- Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения, 2003,
- Руководство по выявлению деградированных почв и земель России для целей государственного контроля за их охраной и рациональным использованием, 2000,
- Руководство по контролю и регулированию почвенного плодородия орошаемых земель, 2017.

4 Термины и определения

В настоящих Рекомендациях применяют следующие термины с соответствующими определениями:

- бонитировка почв – сравнительная оценка в баллах качества почвы по природным свойствам [1],
- воспроизводство плодородия земель сельскохозяйственного назначения – сохранение и повышение плодородия земель сельскохозяйственного назначения посредством систематического проведения агротехнических, агрохимических, мелиоративных, фитосанитарных, противоэрозионных и иных мероприятий [2],
- водные ресурсы – поверхностные и подземные воды, которые находятся в водных объектах и используются или могут быть использованы [3],
- водно-физические свойства почвы – плотность, порозность, агрегатный состав, влажность, гидрофизические константы [1],
- гидромодуль – объем воды, подаваемый на единицу орошаемой площади в единицу времени [4],
- гумус – часть органического вещества почвы, представленная совокупностью специфических и неспецифических органических веществ почвы, за исключением соединений, входящих в состав живых организмов и их остатков [1],
- допустимый уклон поверхности поливного участка – уклон, допускающий применение данного способа полива и поливной техники [4],
- деградация почвы – ухудшение свойств и плодородия почвы в результате воздействия природных или антропогенных факторов [1],
- классификация почв – система разделения почв по происхождению и (или) свойствам [1],
- мелиорация – отрасль народного хозяйства, охватывающая вопросы улучшения природных условий используемых земель [5],
- мелиорируемые земли – земли, недостаточное плодородие которых улучшается с помощью осуществления мелиоративных мероприятий [6],

- мелиоративный фонд – земли пригодные для хозяйственного использования и нуждающиеся в мелиорации [4],
- мелиоративное земледелие – земледелие на осушенных и орошаемых землях [7],
- охрана водных ресурсов – мероприятия, направленные на сохранение количества и качества поверхностных и подземных вод [5],
- плодородие почв – способность почвы удовлетворять потребность растений в элементах питания, влаге и воздухе, а также обеспечивать условия для их нормальной жизнедеятельности [1],
- поливная техника – совокупность машин, механизмов и орудий для осуществления полива [4],
- плодородие почвы – способность почвы удовлетворять потребность растений в элементах питания, влаге и воздухе, а также обеспечивать условия для их нормальной жизнедеятельности [1],
- режим орошения – совокупность норм и сроков поливов [4],
- тип почвы – основная классификационная единица, характеризующая общностью свойств, обусловленных режимами и процессами почвообразования, и единой системой основных генетических горизонтов [1],
- химическая мелиорация земель – проведение комплекса мелиоративных мероприятий по улучшению химических и физических свойств почв. Химическая мелиорация земель включает в себя известкование почв, фосфоритование почв и гипсование почв [6],
- эрозия почвы – разрушение и снос верхних наиболее плодородных горизонтов почвы в результате действия воды и ветра [1].

5 Методика оценки уровня агресурсного потенциала почв при длительном орошении

5.1 Факторы воздействия сельскохозяйственного производства на плодородие орошаемых земель

Антропогенные факторы воздействия (оросительные мелиорации) вызывают коренные изменения природной среды как на мелиорируемой, так и на прилегающей территории, резко изменяя объемы и скорости процессов энерго- и массообмена.

При реализации оросительных мелиораций вода действует в первую очередь на почвы, наиболее важный и уязвимый компонент агроландшафта, а через нее – на растительный и животный мир, приземный слой атмосферы.

Почвенные процессы включают: осолонцевание, засоление, гумусообразование, оглеение, осолодение, ожелезнение и т. д. Почвообразовательные процессы могут развиваться только при наличии органических составляющих и биохимического воздействия.

Биогеохимические процессы активно протекают в почвенном слое. К ним относятся: минерализация, синтез органических веществ, ассимиляция микроорганизмами и растениями органических веществ. Биологические и геохимические процессы являются главными почвообразовательными процессами, под их воздействием совершается ежегодно биологический круговорот элементов, ионов, солей и веществ.

К негативным последствиям орошения относятся:

- образование щелочности и солонцеватости, уплотнения почв, особенно при поливах слабоминерализованной водой,
- усиление вымывания питательных веществ из почвы в результате изменения водного режима,
- усиление минерализации органического вещества почвы,
- усиление водной и ветровой эрозии почв,
- изменение условий почвообразования при переходе от автоморфных к гидроморфным и полугидроморфным условиям,

– загрязнение водоемов и рек химическими и биологическими веществами (с дренажными и поверхностно поступающими водами).

До сих пор не разработана целостная система критериев оценки воздействия орошаемого земледелия на сохранность почвенного покрова. Критерии воздействия на окружающую среду водных мелиораций разрабатывались для проектирования и строительства оросительных систем (ОС), при этом критерии эксплуатационного воздействия ОС на плодородие почв охватывали только гидрорежимы почвогрунтов.

К основным факторам воздействия орошаемого земледелия на плодородие почвы можно отнести:

- изменение свойств почв при поливах слабоминерализованной водой,
- внесение органических и минеральных удобрений, пестицидов,
- механическое воздействие на почвенный покров почвообразующими орудиями и другой сельскохозяйственной техники,
- воздействие культурных растений на физико-химический состав почвы и ее биоту.

Все эти воздействия должны оцениваться определенными критериями.

Воздействие системы поливов. К основным воздействиям системы поливов на почвенное плодородие можно отнести:

- подачу и распределение оросительной воды на поле,
- механическое воздействие на почвенный покров капель искусственного дождя,
- механическое воздействие на почвенный покров ходовыми частями поливных машин,
- изменение химического состава почвы в результате чередования циклов увлажнения и иссушения,
- воздействие переувлажнения почвы во время поливов на почвенную биоту.

Учитывая воздействие системы поливов на почвенное плодородие следует обратить внимание на:

- формирование водного и солевого почвенного режима, приводящее к засолению, ощелачиванию и осолонцеванию почв,
- повышение уровня грунтовых вод, сопровождаемое переувлажнением и заболачиванием,
- изменение водно-физических и агрохимических свойств почв,
- усиление уплотнения почв и эрозии,
- формирование урожая и качество получаемой продукции.

Применяемые дождевальные машины обладают различными характеристиками качества дождя: крупностью капель, интенсивностью, равномерностью распределения по поверхности поля. Механическое разрушение каплями дождя разного качества влияет на состояние агрономически ценных структурных агрегатов почвы, а также на смыв верхних слоев почвы поверхностными стоковыми водами.

Влияние искусственного дождя, образуемого разными дождевальными машинами и агрегатами, на плодородие почвы – потенциальная опасность разрушения агрономически ценной структуры почвы, и зависит от показателей качества дождя, гранулометрического состава почвы и содержания в ней гумусовых веществ, определяющих структурность и водно-физические свойства почвы.

Большое влияние на плодородие почвы оказывает применяемая для полива оросительная вода. Чем хуже качество воды, тем более тщательно следует вести наблюдения за свойствами почв.

Величина поливной нормы – объема воды, подаваемого на поле за один полив, может оказывать большое влияние на почвенное плодородие. Основные последствия этого влияния: потенциальная опасность усиления эрозионных процессов за счет образования поверхностного стока при применении поливных норм больше дождевых; потенциальная опасность подъема уровня грунтовых вод при использовании больших поливных норм за счет потерь поливной воды на инфильтрацию за пределы корнеобитаемого слоя.

При нормировании подачи воды необходимо учитывать не только потребность растений в воде, но и почв.

Воздействие системы обработки почвы. К основным воздействиям системы обработки почвы на почвенное плодородие можно отнести:

- механическое воздействие на почвенный покров почвообрабатывающими орудиями,
- механическое воздействие на почвенный покров ходовыми частями сельскохозяйственных машин,
- изменение химического состава почвы в результате повышения аэрации пахотного слоя почвы,
- изменение аэрированности пахотного слоя на почвенную биоту.

Системы обработки почвы должны:

- предотвращать снижение содержания гумуса в почвах,
- предотвращать уплотнение пахотного и подпахотного горизонтов почвы,
- предотвращать дифференциацию пахотного слоя почвы,
- обеспечивать благоприятный водный и пищевой режимы пахотного слоя почвы.

Воздействие системы удобрений. К основным воздействиям системы внесения удобрений на почвенное плодородие можно отнести:

- изменение физико-химического и агрохимического состава почвы в результате внесения органических и минеральных удобрений,
- механическое воздействие на почвенный покров ходовыми частями разбрасывателей удобрений,
- воздействие удобрений на почвенную биоту.

При внесении органических и минеральных удобрений формируются определенные агрохимические и водно-физические свойства почв:

- при использовании органических удобрений возможно подщелачивание и, частично, осолонцевание. Избыток минеральных удобрений может вызвать подкисление почв,

– загрязнение почвогрунта нитратами, а также тяжелыми металлами, которые являются сопутствующими компонентами в минеральных и органических удобрениях.

Системы внесения удобрений должны предусматривать:

- предотвращение снижения содержания гумуса ниже средних для данной почвенной разности значений,
- обеспечение бездефицитного баланса доступного азота,
- обеспечение выравнивания эффективного почвенного плодородия по доступному фосфору на уровне оптимальных значений,
- обеспечение выравнивания эффективного почвенного плодородия по обменному калию на уровне оптимальных значений,
- предотвращение неблагоприятного изменения pH почвенного раствора,
- предотвращение загрязнения почвогрунта нитратами;
- предотвращение переуплотнения почвы ходовыми частями разбрасывателей удобрений,
- предотвращение засоления.

Влияние системы внесения удобрений может быть не только прямым, но и косвенным.

Основными задачами, которые необходимо решать на основе использования научно обоснованных доз удобрений, являются:

- обеспечение формирования действительно возможного в конкретных почвенно-климатических условиях уровня урожайности сельскохозяйственных культур,
- выравнивание гумусированности и эффективного плодородия орошаемых почв по содержанию основных макроэлементов питания на уровне оптимальных (фоновых) значений.

Механизмом, обеспечивающим решение этих задач, является определение доз удобрений на основе прогнозного ротационного баланса, детерминированного в зависимости от гумусированности и уровня эффективного плодородия по обеспеченности доступными элементами питания почвы орошаемого участка.

Результатом действия этого механизма должно стать поддержание гумусированности и обеспеченности основными элементами питания на уровне оптимальных значений, не допуская как снижения обеспеченности элементами питания ниже оптимального уровня, так и значительного его превышения. Такое превышение, например, по фосфору приводит как к зафосфачиванию почв, так и загрязнению их вносимыми с удобрениями радионуклидами (таблица 1). В таблице 1 четко показано воздействие органоминеральных удобрений на протекающие природно-технические процессы на примере темно-каштановых почв.

Таким образом, для оценки воздействия на плодородие почв доз вносимых органоминеральных удобрений необходимо определить их соответствие научно обоснованным дозам, рассчитанным с учетом агромелиоративных свойств конкретного орошаемого поля и биологических особенностей возделываемых культур. Это главным образом относится к внесению минеральных удобрений, так как органические удобрения имеют большой срок последействия и сильный разброс в содержании элементов питания растений.

Воздействие системы химической защиты сельскохозяйственных культур. На орошаемых землях возрастает опасность техногенного загрязнения почв. Это связано с широким применением высоких (по сравнению с богарными) доз удобрений, гербицидов и пестицидов [8–10].

На орошаемых землях процессы миграции токсичных веществ в водно-источники и грунтовые воды интенсифицируются за счет водного фактора, обуславливающего высокую растворимость, а, следовательно, и подвижность токсических веществ, и биологическую доступность для сельскохозяйственных растений.

К основным воздействиям на почвенное плодородие системы химической защиты культурных растений от вредных объектов можно отнести загрязнение почвогрунтов пестицидами и влияние их на микробиологическую деятельность и почвенную биоту.

Таблица 1 – Воздействие органоминеральных удобрений на протекающие природно-техногенные процессы в темно-каштановых орошаемых почвах

Природно-техногенный процесс	Воздействие на почву			
	Органических удобрений	Оптимальных доз минеральных удобрений	Заниженных доз минеральных удобрений	Завышенных доз минеральных удобрений
Почвообразование	Усиление процесса гумификации	Существенного влияния не оказывает		Сильное нарушение процессов почвообразования, угнетение почвенной биоты
Формирование агрохимических и агрофизических характеристик	Повышение эффективного плодородия почвы, улучшение ее агроструктуры	Повышение содержания в почве элементов питания растений, улучшение структуры почвы не происходит	Содержание в почве элементов питания растений снижается из-за их выноса с урожаем	Повышение содержания в почве элементов питания растений, но возможно зафосфачивание, улучшение структуры почвы не происходит
Загрязнение почвы нитратами, тяжелыми металлами и др.	Возможно при не рациональных сроках, дозах и неравномерном внесении	Загрязнение нитратами с азотными удобрениями не происходит, возможно загрязнение радионуклидами с фосфорными удобрениями	Загрязнение ослабленное из-за низких доз удобрений	Загрязнение повышенное из-за высоких доз удобрений
Засоление	Существенного влияния не оказывает	Существенного влияния не оказывает		Засоление почв хлор-ионами (хлорид калия), сульфат-ионами (сульфат аммония, калий-магнезия)
Осолонцевание	Ослабление процесса вытеснения кальция натрием из почвенного поглощающего комплекса	Существенного влияния не оказывает		
Эрозия и дефляция	Увеличение содержание гумуса в почве повышает ее эрозионную устойчивость	Существенного влияния не оказывает		

Система химической защиты растений должна предотвращать загрязнение почвогрунтов пестицидами и содействовать развитию почвенной биоты. Влияние разных пестицидов на потенциальную опасность загрязнения почвы, ее плодородие и гибели почвенной биоты зависит от токсичности пестицида, от изменения их содержания при внесении относительно величины предельно-допустимой концентрации, самоочищающей способности почвы и относительной скорости выноса водно-растворимых пестицидов, зависящей от гранулометрического состава почвы.

Миграция токсичных веществ в почве орошаемых земель зависит от свойств самих веществ, физических и химических параметров почвы, оросительной воды, способа полива, биологических особенностей орошаемых культур.

5.2 Методика проведения оценки изменений состояния длительно орошаемых земель при их многолетнем сельскохозяйственном использовании

5.2.1 Показатели почвенного плодородия почв и методы их определения

В соответствии со статьей 13 Федерального закона от 25 октября 2001 г. № 136-ФЗ «Земельный кодекс РФ» (с изменениями на 2 июля 2021 г.) по охране земель, обеспечение контроля изменения плодородия орошаемых земель требует выполнения большого набора показателей [11]. Требования по охране плодородия земель представляют собой сложный комплекс мероприятий, которые обязаны выполнять в процессе хозяйственного использования земель все их правообладатели, собственники, землепользователи, землевладельцы и арендаторы. В таблице 2 представлен рекомендуемый перечень показателей контроля почвенного плодородия и методики их определения.

Таблица 2 – Показатели контроля почвенного плодородия орошаемых земель, методики их определения

Показатель	Метод определения	Глубина опробования
1	2	3
Водно-физические свойства		
Гранулометрический и микроагрегатный составы	по Качинскому	до 3 м
Структурно-агрегатный состав	по Саввинову	0,6 м
Плотность сложения почвы	по Качинскому, ГОСТ 12536-79	до 1 м
Водопроницаемость	по Качинскому	0,6 м
Коэффициент дисперсности	расчетный	до 1 м
Порозность	расчетный	до 1 м
Плотность твердой фазы	пикнометрический	до 1 м
Наименьшая полевая влагоемкость	метод заливаемых площадок	1 м
Влажность	термостатно-весовой, ГОСТ 28268-89	до 1 м
Физико-химические свойства		
Водная вытяжка	общепринятая методика, ГОСТы 26423-85, 26428-85	до 1–3 м
Состав ППК	общепринятая методика, ГОСТ 27821-88	до 1 м
Содоустойчивость	по Бобкову	до 1 м
Гипс	общепринятая методика	0,6 м
Карбонаты	по Голубеву	0,6 м
Агрохимические свойства		
Гумус, %	по Тюрину, ГОСТ 26213–91	до 1 м
Групповой и фракционный состав гумуса	по Тюрину в модификации Пономаревой-Плотниковой	до 1 м
Легкогидролизуемый азот	по Тюрину-Кононовой	до 1 м
Азот нитратный	ГОСТы 26951–86, 26481–85	до 1 м
Подвижные формы фосфора, калия	общепринятая методика	до 1 м
Загрязнение почв тяжелыми металлами		
Железо подвижные формы, мг/кг	ГОСТ 27395-87	пахотный слой
Кадмий: подвижная форма, мг/кг; валовое содержание, мг/кг	РД 52.18.289-90 РД 52.18.191-2018	пахотный слой
Кобальт: подвижная форма, мг/кг	ГОСТ Р 50687-94 и РД 52.18.289-90	пахотный слой
Марганец: подвижная форма, мг/кг; валовое содержание, мг/кг	ГОСТ 26486-94 и РД 52.18.289-90 ПНД Ф 16.1:2:2.2.3.36-2002	пахотный слой
Медь: подвижная форма, мг/кг; валовое содержание, мг/кг	РД 52.18.289-90 РД 52.18.191-2018	пахотный слой
Молибден подвижная форма, мг/кг	ГОСТ Р 50689-94	пахотный слой
Никель: подвижная форма, мг/кг; валовое содержание, мг/кг	РД 52.18.289-90 РД 52.18.191-2018	пахотный слой

Продолжение таблицы 2

1	2	3
Ртуть, мг/кг	РД 52.18.827-2016	пахотный слой
Свинец: подвижная форма, мг/кг; валовое содержание, мг/кг	РД 52.18.289-90 РД 52.18.191-2018	пахотный слой
Хром подвижная форма, мг/кг	РД 52.18.289-90	пахотный слой
Цинк: подвижная форма, мг/кг; валовое содержание, мг/кг	ГОСТ Р 50686-94 и РД 52.18.289-90 РД 52.18.191-2018	пахотный слой
Нефтепродукты, мг/кг	РД 52.18.647-2003	пахотный слой
Качество оросительных, грунтовых и коллекторно-дренажных вод		
Минерализация и химический состав вод	общепринятая методика	—
УГВ	то же	—
Наблюдения за растениями		
Учет урожая	общепринятая методика	—

Примечание – Периодичность определения показателей на орошении должна составлять не менее одного раза в три года.

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 целому ряду дополнительных показателей, которые бы могли 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. Для 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 10 скважин на расстоянии 1–2 м и на глубину, до которой намечается изучение почвенных процессов.

Данные анализов образцов почв из этих скважин обрабатываются ме-

тодами математической обработки [12]. Определяют принадлежность выборки к нормальному распределению. Вычисляют среднее арифметическое $\bar{X}$, среднее квадратическое отклонение S , коэффициент вариации V , ошибки выборочной средней $S_{\bar{x}}$, %.

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

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

где n – число повторностей отбора образцов;

t – показатель вероятности;

V – коэффициент вариации, %;

$S_{\bar{x}}$ – ошибка выборочной средней, %.

Показатель вероятности определяется по таблице 1 приложения Методики полевого опыта [12]. Число степеней свободы равняется $n - 1$. При бурении 10 скважин эта величина равна 9, а при 5 % уровне значимости – 2,26.

Обработка и анализ материалов наблюдений. Обработку результатов проведенных наблюдений для контроля за почвенным плодородием целесообразно осуществлять с использованием эмпирико-статистических 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.

Рассмотрим 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. Сущность 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 почв, 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 основ-

ной 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. Он 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.

5.2.2 Основные показатели оценки почвенного плодородия

Комплексная оценка факторов и видов отрицательного воздействия многолетнего длительного орошения на почвенное плодородие и экологическую ситуацию агроландшафта и предотвращение появления негативных процессов является первоочередной задачей при эксплуатации мелиорируемых массивов.

В таблице 3 представлены показатели и их характеристики, обеспечивающие регулирование тех или иных процессов в почве.

Таблица 3 – Характеристика основных показателей, обеспечивающих регулирование плодородия почв и процессов, происходящих в почве

Показатель	Характеристика
1	2
Баланс органического вещества	Содержание гумуса и его состав. Учет внесения органических удобрений, корневых и пожнивных остатков, а также скорость их минерализации
Баланс питательных веществ	Содержание элементов питания в почве, удобрениях, возделываемых культурах, атмосферных осадках, химических мелиорантах. Поступление биологического азота. Потеря элементов питания с

Продолжение таблицы 2

1	2
	природными водами – горизонтальный и вертикальный стоки. Потери элементов питания с твердым стоком (эрозия) и при дефляции
Физические свойства почвы	Водно-физические: плотность, порозность, гранулометрический состав, влажность, гидрологические константы – максимальная гигроскопичность (МГ), влажность завядания (ВЗ), предельно-полевая влагоемкость (ППВ) и др. Тепловой режим: температура
Окислительно-восстановительное и ионно-обменное состояние почв	Реакция почвенного раствора, состав почвенного поглощающего комплекса, его емкость, pH, количество и качество солей и др.
Биологическая активность почв	Численность микроорганизмов. Интенсивность азотфиксации, нитрификации, денитрификации и других процессов. Определение активности почвенных ферментов
Фитосанитарное состояние почвы	Засоренность семенами сорных растений и вегетативными органами их размножения, наличие вредных организмов
Эколого-токсикологическое состояние почв	Содержание химических веществ в почве: тяжелые металлы и неметаллы; неорганические соединения и элементы; радионуклиды; органические соединения и пестициды

Для проведения полного мониторинга почвенного плодородия земель сельскохозяйственного назначения и мелиоративного состояния орошаемых земель требуется от 6 до 20 показателей [13–23].

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

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

На первом плане должны быть те показатели, которые являются приоритетными для данного обследуемого объекта, а затем исследуются те показатели, по которым предполагается обнаружение негативных процессов [24]. 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. Основными морфологическими признаками почв являются: строение почвы, ее мощность, окраска, гранулометрический состав, структура, сложение, новообразования и включения.

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

В почвах орошаемой зоны могут преобладать следующие генетические почвенные горизонты [25]:

- $A_{\text{пах}}$ – пахотный с различной глубиной вспашки,
- A – гумусовый, часто называется гумусо-аккумулятивный, имеет более темную окраску, чем другие горизонты. Он занимает верхнюю часть профиля и характеризуется максимальным содержанием гумуса и минеральных элементов питания,
- A_1 – гумусово-элювиальный, обедненный илом и полуторными окислами в сравнении с нижележащим,
- A_2 – элювиальный, насыщен кремнеземом. Характеризуется выщелачиванием из него ряда органических и минеральных соединений,
- AB – переходный. Формируется в почвах, где выщелачивание минеральной части не выражено или развито слабо (черноземы и комковатые почвы). Он совмещает в себе черты гумусово-аккумулятивного горизонта и материнской породы,
- B_i – иллювиальный с преобладанием илистой фракции за счет вымывания с элювиального горизонта,
- BCa – карбонатный, содержит максимальное количество карбонатов и других новообразований $CaCO_3$ в виде псевдомицелий, белоглазки и журавчиков,
- $BCaSO_4$ – иллювиальный, обычно содержащий гипс и легкорастворимые соли,
- BNa – солонцовый, имеющий признаки солонцеватости,
- $B_{\text{сл}}$ – слитой, с плотностью сложения 1,7–1,9 т/м³, при высыхании

становится глыбистым,

– BC – переходный к материнской породе,
– C – материнская (почвообразующая) порода, слабозатронутая почвообразованием,

– D – подстилаящая 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 (таблица 4) [25].

У генетических горизонтов мощность определяется с указанием их верхних и нижних пределов: A_1 – 0–7 см, A_2 – 7–23 см и т. д. Окраска почвы может быть самой разнообразной. Она вызывается сочетанием трех цветов – темного, красного и белого, дающих различные оттенки.

Таблица 4 – Мощность почв и их гумусовых горизонтов

Почва	Генетический профиль	Мощность, см	
		Профиль почвы	Гумусовый горизонт
Черноземы типичные южно-европейской фации	$A + AB + B + C_k$	400–500	100–150
Черноземы типичные восточно-европейской фации	$A + AB + B + C_k$	250–300	80–120
Каштановые	$A + AB + B + C_k$	150–250	45
Бурые полупустынные	$A + B + B_k + C_s$	120	25
Дерново-подзолистые	$A_1 + A_2 + B_i$	80	15
Подзолистые	$A_1 + A_2 + B_i$	80	2
Бурые лесные	$A + AB_t + B_t$	80–100	30–40
Солонцы	$A + B_{NA} + C_s$	150	3–30

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 ($\text{H}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$) и гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Закисные соединения железа (сидерит FeCO_3 , вивианит $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), 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 же назвать промежуточные тона (коричнево-серая, серо-бурая).

Принято различать шесть степеней влажности почвы:

- 1 – сухая почва: пылит, при ее пересыпании из одной руки в другую разлетается пыль,
- 2 – свежая почва: сухая на вид, чуть влажная на ощупь, холодит руку, светлеет при высыхании, темнеет при добавлении воды,
- 3 – влажноватая почва: 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,
- 4 – влажная почва: при сжатии образца на поверхности проступает тонкая водная пленка, придающая поверхности блеск, но вода не вытекает, мажет руку,
- 5 – сырая почва: при сжатии образца с его поверхности капает вода,
- 6 – мокрая почва: из горизонта самопроизвольно сочится вода.

Гранулометрический состав в полевых условиях определяют по следующим признакам (таблица 5) [25].

Структура – это 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 [26].

Типы – кубовидные разделяющиеся, глыбистые, комковатые, ореховатые, зернистые, призмовидные (столбовидные, столбчатые, призматические), плитовидные (плитчатая, чешуйчатая). Кроме этого, существует распределе-

ние агрегатов по виду (например, крупноглыбистая, мелкочешуйчатая и т. д.) и по размерам.

Таблица 5 – 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

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

Новообразования – это отложения различных веществ. Происхождение их может быть химическое и биологическое. По химическому составу химические новообразования подразделяются на следующие группы:

– скопление легкорастворимых солей. Это налеты и выцветы, белые корочки и примазки, крупинки и отдельные кристаллы солей,

– скопления гипса. Они 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 и 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 щелочноземельных 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 приложении А.

Пример описания почвенного разреза представлен в приложении Б.

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

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

Водно-физические свойства почв.

Почвы, вовлеченные в орошение, в большей своей части содержат монтмориллонитовую илистую фракцию, которая способствует сильному набуханию [27]. При наличии этой фракции и при отсутствии свободного карбоната и слабой гумусированности происходит резкое ухудшение водно-физических свойств орошаемых почв [28, 29]. Они сопровождаются увеличением плотности сложения почвы, 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 [13].

Водно-физические свойства почв оцениваются следующими показателями (приложение Г, таблица Г.1):

– структурное состояние или агрегатный состав (определяется методом рассеивания на ситах при сухом и мокром просеивании по методу Саввинова). Образец берется с 0–30 см слоя, определяется ежегодно [26]. Кроме морфолого-генетического 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. комковато-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) и микроструктуру (агрегаты менее 0,25 мм). При мокром просеивании определяется не только структурное состояние, но и водопрочность агрегатов. Оценка этих показателей проводится по приложению Г (таблица Г.1),

– гранулометрический и микроагрегатный составы почв. Определение гранулометрического и микроагрегатного состава проводится по всему профильному составу один раз в 5 лет. Оно позволяет уточнить название почвы по гранулометрическому составу (приложение Г, таблица 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 [26]:

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

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 %,

– плотность сложения (объемная масса), водопроницаемость и порозность почвы.

Плотность сложения почвы определяется в шурфах прибором Качинского по слоям 0–20, 20–40, 40–60, 60–80, 80–100 см по необходимости и глубже ежегодно [26].

Порозность определяется расчетным методом.

Проведение оценки по этим показателям представлено в приложении Г.

Более точную оценку степени уплотнения почв с учетом содержания гумуса и по различным горизонтам можно получить по классификации (таблица 6).

Таблица 6 – Оценка степени уплотнения почв по величине их плотности сложения, т/м³

Горизонт, см	Степень уплотнения почвы				
	очень рыхлая	рыхлая	средне плотная	плотная	очень плотная
Для почв с содержанием гумуса < 4 %					
0–20 (пахотный)	< 1,00	1,00–1,20	1,20–1,40	1,40–1,50	> 1,50
20–50 (подпахотный)	< 1,20	1,20–1,35	1,35–1,48	1,48–1,60	> 1,60
50–100	< 1,35	1,35–1,50	1,50–1,60	1,60–1,67	> 1,67
Для почв с содержанием гумуса 4 % и более					
0–20 (пахотный)	< 0,95	0,95–1,10	1,10–1,20	1,20–1,30	> 1,30
20–50 (подпахотный)	< 1,10	1,10–1,20	1,20–1,30	1,30–1,40	> 1,40
50–100	< 1,25	1,25–1,32	1,32–1,40	1,40–1,50	> 1,50

Для оценки водопроницаемости почвы в агрономических и мелиоративных целях используют шкалу Н. А. Качинского и С. И. Долгова (таблица 7).

Таблица 7 – Оценка водопроницаемости почв

По Н. А. Качинскому – для почв тяжелого гранулометрического состава. Напор воды Н=5см, Т=10°С		Балл	По С. И. Долгову – для целей орошения	
Водопрони- цаемость в первый час, мм	Оценка		Длительность впитывания поливной нормы 1000 м ³ /га, час	Оценка
> 1000	провальная	4	< 1	очень высокая
1000–500	излишне высокая	2–3	1–3	высокая
500–100	наилучшая	0	3–6	наилучшая
100–70	хорошая	1	6–12	хорошая
70–30	удовлетворительная	2	12–24	пониженная
< 30	неудовлетворительная	4	> 24	низкая

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 5 лет [26],

– естественная влажность почвы дает возможность оценить режим увлажнения на исследуемых участках. Отбор образцов на влажность проводится ежедекадно (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 два 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) применяют обычный термостатно-весовой метод,

– предельная полевая влагоемкость (синонимы общая или наименьшая) широко используется для расчетов запасов продуктивной влаги и поливной нормы. Для ее определения часто пользуются площадками после определения водопроницаемости методом заливаемых площадок [26]. Оценка этого показателя для почв тяжелого гранулометрического состава приведена в приложении Г (таблица Г.1),

– 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 находится состояние растений и урожайность сельскохозяйственных культур. Продуктивная влага может быть выражена в процентах или миллиметрах.

Контроль этого показателя должен проводиться по критериям, предложенным в приложении Г (таблица Г.1).

Физико-химические свойства почв.

Засоленность почв является одним 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 [17, 24, 29], при содержании водорастворимых солей (в среднем для слоя 0–100 см) до 0,25 % обеспечивается хороший рост и развитие растений (выпадов нет, урожайность нормальная). Слабое угнетение наблюдается (выпада растений нет, снижение урожая на 10–20 %) при содержании солей 0,25–0,45 % (слабое засоление); среднее угнетение (выпады растений) – при содержании солей 0,40–0,70 % (среднее засоление); сильное угнетение – 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 приложении Д (таблица Д.1).

Для контроля за изменением засоленности почв следует пользоваться классификацией по содержанию солей в зависимости от химизма засоления (приложение Д, таблица Д.2) или использовать оценку степени засоления почв по сумме токсичных солей или отдельных ионов (приложение Д, таблица Д.3) [29].

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

Как видно, чрезмерное скопление солей в почве может вызвать солевое отравление и гибель растений. Из вредных легкорастворимых солей наиболее часто встречаются в почвах хлориды и сульфаты натрия, сода. Заметное угнетение сельскохозяйственных растений при содовом засолении начинается при содержании иона HCO_3 в количестве 0,08 % и pH – 8,8–9,0.

При содержании 0,1–0,2 % HCO_3 и при pH – 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 быть сопряжен с наблюдениями за уровнем залегания и минерализацией грунтовых вод. Сроки отбора образцов почв на солевой состав определяются степенью их засоления. Если почвы не засолены, можно ограничиваться одноразовым отбором (перед посевом сельскохозяйственных культур). При слабом и среднем засолении следует произвести 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). Весной и 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, а до и после полива достаточно сделать отбор образцов в метровом слое.

Определение щелочности по реакции почвы и по 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.

Выявлено, что максимальная доступность питательных элементов: азота при pH – 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 pH – 5,0–7,5 ед. Как видно, когда pH превосходит 8 единиц, 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, и растение начинает сильно отставать в росте, развиваются болезни [30–32].

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 pH. 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 приложении Д (таблица Д.5) [33, 34].

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. Также как при возникновении засоления и щелочности солонцеватость способствует формированию отрицательных водно-физических свойств, у растений наблюдается «кальциевое голодание». Все это сказывается и на урожайности возделываемых культур.

Эти факторы проявляются при содержании в ППК обменного $\text{Na} \geq 7\text{--}10\%$, 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 приложении Д (таблица Д. 6) [35].

Дополнительно о солонцовых и щелочных процессах можно судить по показателям содоустойчивости (приложение Д, таблица Д.7) [36, 37]. Контроль за содержанием и глубиной залегания гипса и карбонатов важен не только с точки зрения оценки почвенного плодородия, но и с целью исполь-

зования их запасов для мелиорации солонцеватых почв [35]. Высокозагипсованные почвы с содержанием $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ более 0,3 % (приложение Д, таблица Д.8) и поверхностноокربоначенные (приложение Д, таблица Д.9) с содержанием CaCO_3 более 3 % используются для самомелиорации, только в карбонатные слои для образования гипса добавляется серная кислота [38].

Степень карбонатности почв также следует определять по приложению Д (таблица Д.10) [35]. Закарбоначенные почвы сильно уплотнены и зачастую водонепроницаемы. Отбор образцов на содержание гипса и карбонатов проводится раз в пять 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, то есть при анаэробных условиях. Их наличие свидетельствует о скрытых негативных процессах.

По классификации, представленной в приложении Д (таблица Д.11), определяется общее содержание этих веществ. К ним относятся такие токсичные соединения, как сероводород, метан, этилен, закисное железо и марганец, также различные виды органических кислот – муравьиная, масляная, молочная, уксусная, пропиленовая, ванильная, бензойная и другие [39].

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

Отбор свежевзятых 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 анаэробного почв, особенно в орошаемых почвах, требуется установление окислительно-восстановительного режима, который оценивается на основе величины и динамики окислительно-восстановительного потенциала (ОВП и Eh). Агрономическая оценка окислительно-восстановительных условий дана в приложении Д (таблица Д.12).

Диапазон восстановительных условий делят на интенсивно-восстановительные (ОВП (Eh) менее 200 мВ), умеренно-восстановительные (200–300 мВ), слабо-восстановительные (300–400 мВ) [40].

Некоторые почвы, в основном серые лесные, дерново-подзолистые, черноземы оподзоленные и выщелоченные, требуют определения гидролитической кислотности и степени насыщенности основаниями (приложение Е, таблицы Е.1, Е.2).

Агрохимические свойства почв.

Агрохимические свойства почв оцениваются по широкому спектру показателей. Так как гумус наиболее информативный показатель почвенного плодородия, его содержание и состав подлежит анализу в первую очередь. Желательно при этом выполнить следующие виды анализов, представленные в приложении Ж (таблица Ж.1) [41, 42].

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

Агрономическая ценность почв определяется соотношением гуминовых и фульвокислот. Отношение углерода к азоту (С : 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 С : N достаточно определить один раз в пять лет в тех же образцах, в которых будут определяться водорастворимые соли, состав почвенного поглощающего комплекса и т. д. 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 и 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 дает возможность 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 [13, 22, 40, 43]. В случае невозможности определения легкогидролизуемого азота (наиболее доступная форма азота растения) определяют отдельно нитраты и аммоний и по их сумме судят об обеспеченности почв этим ЭМП (приложение Ж, таблица Ж.2).

Обеспеченность различных почв подвижными фосфором и калием, определяемых соответствующими для данной почвы методами, представлены в приложении Ж (таблицы Ж.3, Ж.4), подвижной серы – в приложении Ж (таблица Ж.5).

Современные технологии возделывания культур требуют внесения микроудобрений, эффективное применение которых может быть достигнуто только при учете в почвах подвижных форм микроэлементов. В приложении Ж (таблица Ж.6) приведена обеспеченность подвижными формами микроэлементов [13].

Эколого-токсикологическое состояние почв.

Эколого-токсикологическое состояние почв определяется уровнем их

загрязненности. В соответствии с ГОСТ 17.4.3.04 загрязнение почв – это накопление в почвах химических или радиоактивных соединений в количествах, отрицательно влияющих на плодородие почв, продуктивность земель, сопредельные среды и растительный покров [44, 45].

Для сельскохозяйственных полей наиболее опасными загрязнителями являются тяжелые металлы (ТМ) и мышьяк. По степени опасности их делят на три класса [46]:

- 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 [47].

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

В первом случае можно использовать кларки по Виноградову, где загрязненность разделена на шесть групп (классов), каждая в один кларк по Виноградову [48]. Кларк – это фоновое содержание тяжелых металлов в почве. Каждая почва имеет свое фоновое содержание валовых форм ТМ и

мышьяка (приложение И, таблица И.1) [44].

Группировка почв по уровням загрязненности служит показателем отрицательного воздействия химических элементов-загрязнителей на окружающую среду. Так, при загрязнении на уровне первой и второй групп сильно страдает почвенная биота, подавлены биохимические свойства почвы, нарушается нормальная жизнедеятельность и химический состав растительности; при уровне, соответствующем пятой и шестой 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 приложении И (таблицы И.2 и И.3) [40].

Кроме того, о загрязненности почв тяжелыми металлами и другими загрязняющими веществами можно судить при сопоставлении их фактического содержания с предельно допустимыми концентрациями (приложение И, таблицы И.4 и И.5) и с ориентировочно допустимыми концентрациями (ОДК) (приложение И, таблица И.6) [47].

Степень загрязнения земель разными химическими веществами можно определять по таблице И.7 приложения И. При наличии большого количества загрязнителей загрязнение почв оценивается по показателю суммарного загрязнения (Z_c), который рассчитывается по формуле [44]:

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

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

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

n – число определяемых токсикантов.

Для определения содержания тяжелых металлов отбираются один раз в

4–5 лет образцы почв по слоям 0–10, 10–20 см с последующим их определением атомно-адсорбционным методом [19].

При обнаружении загрязнителей в почве выше ПДК следует проконтролировать их наличие в произрастающих растениях [49].

Биологическая активность почв.

Биологическая активность почв связана в основном с жизнедеятельностью почвенных микроорганизмов, поэтому микробиологический режим является важнейшим фактором формирования плодородия почв и вместе с тем 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 других [50]. При оценке биологической активности почв достаточно определить степень влияния почвенных микроорганизмов на растения, нитрификационную способность почв и целлюлозоразлагающую активность или скорость разложения клетчатки [13, 40, 51].

Наиболее простой метод определения токсичного влияния почвенных микроорганизмов на растения разработан сотрудниками МГУ [52]. Метод основан на посеве пророщенных семян (от 10 до 50 шт.) на почву, увлажненную до состояния густой пасты. Контрольные семена раскладывают на увлажненной вате, покрытой фильтровальной бумагой. Семена проращивают в течение 5–7 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. Определение токсичности почвы рекомендуется проводить в свежих образцах почвы. 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 приложении К.

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 [50]. Убыль полотна на 30 % свидетельствует о достаточном количестве микроорганизмов в почве, способствующих активизации основного почвообразовательного процесса – гумификации.

5.2.3 Уточненные параметры плодородия орошаемых земель

К уточненным параметрам, на наш взгляд, следует отнести оптимальные параметры (ОП), предельно-допустимые (ПДП) и критические значения. Используя многолетние исследования на ключевых участках неорошаемых и орошаемых почв, а также результаты, полученные в полевых опытах последних лет при отработке агромелиоративных приемов по сохранению и воспроизводству плодородия орошаемых почв, установлены предельно-допустимые и оптимальные параметры основных почв для условий орошения (таблицы 8–12).

Таблица 8 – Уточненные параметры плодородия орошаемых серых лесных почв (0–40 см)

Показатель	ОП	ПДП
1	2	3
Агрофизические:		
– плотность сложения почвы, т/м ³ ,	1,10–1,30	1,30–1,40
– водопрочность, %,	40–50	30–40
– водопроницаемость, мм/мин	1,5–2,0	1,0–1,5

Продолжение таблицы 8

1	2	3
Физико-химические:		
токсичные соли, %:		
– с участием соды,	< 0,10	0,10–0,15
– без соды	< 0,05	0,05–0,10
Токсичная щелочность, мг-экв/100 г	< 0,7	0,7–1,0
Почвенный поглощающий комплекс, %:		
– кальций,	> 85	85–80
– магний,	< 15	15–20
– натрий	< 1,0	1,0–3,0
Гидролитическая кислотность (H_T), ммоль (экв)/100 г	< 3,0	3,1–4,0
Степень насыщенности основаниями (V), %	> 70	50–70
Агрохимические:		
– гумус, %,	> 6,0	4,0–6,0
– $C_{г.к.} : C_{ф.к.}$,	> 2,0	2,0–1,0
– подвижный фосфор, мг/100 г,	> 15	10–15
– обменный калий, мг/100 г	> 18	12–18

Таблица 9 – Уточненные параметры плодородия орошаемых черноземов
ЦЧО (0–40 см)

Показатель	Типичные черноземы		Обыкновенные черноземы	
	ОП	ПДП	ОП	ПДП
Агрофизические:				
– плотность сложения почвы, т/м ³ ,	1,0–1,25	1,25–1,30	1,0–1,25	1,25–1,30
– водопрочность, %,	> 60	40–60	> 60	40–60
– водопроницаемость, мм/мин	2,0–2,5	1,5–2,0	1,0–2,0	1,0–1,5
Физико-химические:				
токсичные соли, %:				
– с участием соды,	< 0,10	0,10–0,15	< 0,10	0,10–0,15
– без соды	< 0,05	0,05–0,10	< 0,05	0,05–0,10
Токсичная щелочность, мг-экв/100 г	< 0,7	0,7–1,0	< 0,7	0,7–1,0
Почвенный поглощающий комплекс, %:				
– кальций,	> 85	85–80	> 85	85–80
– магний,	< 15	15–20	< 15	15–20
– натрий	< 1,0	1,0–3,0	< 1,0	< 1,0
Гидролитическая кислотность (H_T), ммоль (экв)/100 г	< 3,0	3,1–4,0	< 3,0	3,1–4,0
Агрохимические:				
– гумус, %,	> 6,0	4,0–6,0	> 6,0	4,0–6,0
– $C_{г.к.} : C_{ф.к.}$,	> 2,0	2,0–1,0	> 2,0	2,0–1,0
– подвижный фосфор, мг/100 г,	> 15	10–15	> 15	10–15
– обменный калий, мг/100 г	> 18	12–18	> 18	12–18

Таблица 10 – Уточненные параметры плодородия орошаемых обыкновенных черноземов ЮФО (0–40 см)

Показатель	Обыкновенные черноземы			
	орошаемые пресной водой		орошаемые слабоминерализованной водой	
	ОП	ПДП	ОП	ПДП
1	2	3	4	5
Агрофизические: – плотность сложения почвы, т/м ³ , – водопрочность, %, – водопроницаемость, мм/мин	< 1,15 > 40 > 1,0	1,15–1,25 30–40 0,8–1,0	1,20–1,25 > 30–40 > 0,8	< 1,20 20–30 0,6–0,8
Физико-химические токсичные соли, %: – с участием соды, – без соды	< 0,10 < 0,05	0,10–0,15 0,05–0,12	< 0,15 < 0,10	0,15–0,25 0,10–0,25
Токсичная щелочность, мг-экв/100 г	< 0,7	0,7–1,0	< 1,0	1,0–1,2
Почвенно-поглощающий комплекс, %: – кальций, – магний, – натрий	> 85 < 15 < 1	85–80 15–20 1–3	> 80 < 20 < 3	80–75 20–25 3–5
Агрохимические: – гумус, %, – С _{г.к.} : С _{ф.к.} , – подвижный фосфор, мг/100 г – обменный калий, мг/100 г	> 4,4 > 2,0 > 4,5 > 50	3,8–4,0 2,0–1,7 3,8–4,5 50–35	> 4,2 2,0–1,5 > 4,5 > 45	3,6–3,8 1,5–1,0 3,1–4,5 45–40
Урожайность, т/га: – озимая пшеница, – ячмень, – люцерна на сено, – кукуруза на зерно	> 4,5 > 4,2 > 13,0 > 9,5	4,5–4,1 4,2–4,0 13,0–12,0 9,5–9,0	> 4,2 > 3,9 > 11,0 > 10,0	4,8–3,8 3,9–3,4 11,0–9,5 10,0–9,0

Таблица 11 – Уточненные параметры плодородия орошаемых южных черноземов в комплексе с солонцами ЮФО (0–40 см)

Показатель	Комплексный покров			
	южные черноземы		солонцы мелиорированные	
	ОП	ПДП	ОП	ПДП
Агрофизические: – плотность, т/м ³ , – водопрочность, %, – водопроницаемость, мм/мин	< 1,2 > 40 > 0,8	1,20–1,25 30–40 0,8–1,0	< 1,25 > 30 > 0,6	1,25–1,30 20–30 0,6–0,4
Физико-химические: токсичные соли, %: – с участием соды, – без соды	< 0,10 < 0,05	0,10–0,15 0,05–0,12	< 0,15 < 0,10	0,15–0,25 0,10–0,25
Токсичная щелочность, мг-экв/100 г	< 0,7	0,7–1,0	< 1,0	1,0–1,2

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4	5
Почвенный поглощающий комплекс, %:				
– кальций,	> 80	80–75	> 75	70–75
– магний,	< 20	20–25	< 25	20–25
– натрий	< 3	3–5	< 5	5–7
Агрохимические:				
– гумус, %;	> 3,4	3,4–3,0	3,4–3,0	2,5–2,0
– $C_{г.к.} : C_{ф.к.}$,	> 1,5	1,5–1,0	1,5–1,0	1,0–0,8
– подвижный фосфор, мг/100 г	> 4,5	3,8–4,5	3,8–4,5	3,5–3,0
– обменный калий, мг/100 г	> 4,5	45–40	45–40	40–35
Урожайность, т/га:				
– озимая пшеница,	> 3,8	3,8–2,7	> 3,5	3,5–2,9
– ячмень,	> 3,0	3,0–2,0	> 2,5	2,5–2,0
– кормосмеси (кукуруза + подсолнечник + сорго)	> 45	45–30	> 35	35–30

Оптимальное содержание гумуса соответствует условиям, при которых в интенсивном земледелии имеются предпосылки максимального использования естественных и дополнительных ресурсов влаги и элементов минерального питания NPK. Верхняя граница оптимальности устанавливается с учетом затрат на повышение содержания и изменения состава гумуса [53]. По принятой оценке, нижний порог оптимального содержания гумуса для черноземов на 1,0–1,5 % выше критических значений, а для каштановых почв на 0,6–0,8 % (см. таблицу 12).

Таблица 12 – Оптимальные и критические значения содержания гумуса в почвах Поволжья, %

Гранулометрический состав	Темно-каштановые	Каштановые	Обыкновенные черноземы	Южные черноземы
	<u>оптимальное</u> критическое	<u>оптимальное</u> критическое	<u>оптимальное</u> критическое	<u>оптимальное</u> критическое
Тяжелосуглинистые и глинистые	<u>3,5–3,8</u> 2,8–3,1	<u>3,0–3,3</u> 2,4–2,6	<u>5,4–6,0</u> 4,5–4,8	<u>4,5–4,7</u> 3,5–3,7
Среднесуглинистые	<u>2,8–3,5</u> 2,1–2,7	<u>2,6–3,0</u> 1,8–2,1	<u>4,3–4,5</u> 3,4–3,6	<u>3,5–3,8</u> 2,4–2,6
Легкосуглинистые	<u>2,2–2,5</u> 1,5–1,8	<u>1,9–2,1</u> 1,2–1,4	<u>3,8–4,0</u> 2,5–2,8	<u>2,6–3,0</u> 1,2–1,5

При наличии гумуса в почве, соответствующему «критическим» значениям, в его составе преобладают так называемые фракции инертного гумуса, которые прочно связаны с минеральной частью почвы.

Почвообразование при орошении ведет к ускорению процессов минерализации гумуса и изменению его качественного состава. Создание гидроморфных условий в орошаемых почвах меняет направленность и скорость процесса минерализации органического вещества. За счет этого увеличивается содержание минеральных питательных элементов. Это явление носит двоякий характер: с одной стороны, возрастает актуальное плодородие почв, с другой – создается реальная опасность загрязнения грунтовых вод минеральными компонентами за счет выноса их нисходящим током воды. Избежать этого можно за счет малоинтенсивного орошения низкими поливными нормами. 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 [17, 22, 25, 46, 54, 55].

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.

5.2.4 Оценка изменения свойств почв с точки зрения проявления деградационных процессов при орошении

При длительном орошении выделяются следующие виды деградации:

- ирригационная эрозия,
- засоление, осолонцевание,
- уплотнение, дегумификация,
- переувлажнение, заболачивание.

Развитие эрозии сопровождается вовлечением в пахотный горизонт менее плодородных, ниже расположенных, почвенных слоев [56]. Связанная с действием водной и ветровой эрозии степень эродированности определяется

по глубине эродированного слоя и массе (объему) эродированной почвы [57], а глубина эродированного слоя или отсутствующая часть почвенного профиля сравнивается с неэродированным аналогом тех же почв, т. е. с эталоном. Величину эрозионной опасности участков определяют по массе смытой почвы стоком, сгруппированных в семь классов эрозионной опасности [58]: I – 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). Определение степени деградации (эродированности) почв и земель приводится в таблице 13.

Таблица 13 – Шкала для оценки интенсивности эрозии [59]

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 (в т/га), с допустимой величиной среднегодового смыва почвы, который должен быть ниже скорости почвообразования, определяемого по таблице 14.

Таблица 14 – Величины допустимого среднегодового смыва в зависимости от типа почв, степени их смытости и характера материнских пород [60], т/га

Почва	Несмытые и слабосмытые	Среднесмытые	Сильносмытые
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 почвы	3,0	2,0	1,5
Каштановые и светло-каштановые почвы, сероземы	2,5	1,5	1,0
Черноземы, каштановые, серые лесные на опоках и меловых породах	1,5	1,0	0,5

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

По каждому показателю эродированность почв характеризуется пятью степенями деградации:

- 0 – недеградированные (ненарушенные) – 0 баллов,
- 1 – слабodeградированные – 1 балл,
- 2 – среднедеградированные – 2 балла,
- 3 – сильнодеградированные – 3 балла,
- 4 – очень сильнодеградированные (разрушенные), в том числе уничтожение почвенного покрова – 4 балла.

Степень деградации почв и земель с учетом засоления, солонцеватости, дегумификации, поднятия уровня грунтовых вод как пресных, так и минерализованных можно оценить по критериям, представленным в таблице 15.

Таблица 15 – Определение степени деградации почв и земель [61]

Показатель	Степень деградации				
	0	1	2	3	4
Индикаторные показатели					
1	2	3	4	5	6
Мощность абiotического (неплодородного) наноса, см	< 2	2–10	11–20	21–40	> 40
Глубина провалов (см) относительно поверхности (без разрыва сплошности)	< 20	20–40	41–100	101–200	> 200
Уменьшение содержания физической глины на величину, % от исходного	< 5	5–15	16–25	26–32	> 32
Увеличение равновесной плотности сложения пахотного слоя почвы, в % от исходного *	< 10	10–20	21–30	31–40	> 40
Стабильная структурная (межагрегатная, без учета трещин) пористость, куб. см/г	> 0,2	0,11–0,2	0,06–0,1	0,02–0,05	< 0,02
Текстурная пористость (внутри агрегатная), куб. см/г	> 0,3	0,26–0,3	0,2–0,25	0,17–0,19	< 0,17
Коэффициент фильтрации, м/сут	< 1,0	0,3–1,0	0,1–0,3	0,01–0,1	< 0,01

Продолжение таблицы 15

1	2	3	4	5	6
Каменистость, % покрытия	< 5	5–15	16–35	36–70	> 70
Уменьшение мощности почвенного профиля (А + В), % от исходного *	< 3	3–25	26–50	51–75	> 75
Уменьшение запасов гумуса в профиле почвы (А + В), % от исходного *	< 10	10–20	21–40	41–80	> 80
Площадь обнаженной почвообразующей породы (С) или подстилающей породы (D), % от общей площади	0–2	3–5	6–10	11–25	> 25
Глубина размывов и водорои относительно поверхности, см	< 20	20–40	41–100	101–200	> 200
Расчлененность территории оврагами, км/кв. км	< 0,1	0,1–0,3	0,4–0,7	0,8–2,5	> 2,5
Дефляционный нанос неплодородного слоя, см	< 2	2–10	11–20	21–40	> 40
Площадь подвижных песков, % от общей площади	0–2	3–5	6–15	16–25	> 25
Содержание суммы токсичных солей в гумусовом (пахотном) слое (%):					
– с участием соды	< 0,1	0,10–0,2	0,21–0,3	0,31–0,5	> 0,5
– для других типов засоления	< 0,1	0,10–0,25	0,26–0,5	0,51–0,8	> 0,8
Увеличение токсичной щелочности (при переходе нейтрального типа засоления в щелочной), мг-экв/100 г почвы	< 0,7	0,70–1,0	1,1–1,6	1,7–2,0	> 2,0
Увеличение содержания обменного натрия (в % от емкости катионного обмена):					
– для почв, содержащих < 1 % натрия	< 1	1–3	3–7	7–10	> 10
– для других почв	< 5	5–10	10–15	15–20	> 20
Увеличение содержания обменного магния (в % от емкости катионного обмена)	< 40	40–50	51–60	61–70	> 70
Поднятие пресных почвенно-грунтовых вод до глубины, м					
– в гумидной зоне (< 1 г/л)	> 1,0	0,81–1,0	0,61–0,80	0,30–0,60	< 0,3
– в степной зоне (< 3 г/л)	> 4	3,1–4,0	2,1–3,0	1,0–2,0	< 1
Поднятие уровня минерализованных (> 3 г/л) почвенно-грунтовых вод до глубины, м	> 7	5,1–7,0	3,1–5,0	2,0–3,0	< 2
Продолжительность затопления (поверхностного переувлажнения), месяцы	< 3	4–6	7–12	13–18	> 18
Сработка торфа, мм/год	< 1	1–2,5	2,6–10	11–40	> 40
Дополнительные показатели					
Потери почвенной массы, т/га/год	< 5	6–25	26–100	101–200	> 200
Увеличение площади средне- и сильноэродированных почв, % в год	< 0,5	0,6–1,0	1,1–2,0	2,1–5,0	> 5

Продолжение таблицы 15

1	2	3	4	5	6
Площадь естественных кормовых угодий, выведенных из землепользования (лишенных растительности), % от общей площади	< 10	11–30	31–50	51–70	> 70
Проективное покрытие пастбищной растительности, % от зонального	> 90	71–90	51–70	10–50	< 10
Скорость роста площади деградированных пастбищ, % в год	< 0,25	0,26–1,0	1,1–3,0	3,1–5,0	> 5
Увеличение площади подвижных песков, % в год	< 0,25	0,26–1,0	1,1–2,0	2,1–4,0	> 4
Увеличение площади засоленных почв, % в год	0–0,5	0,51–1,0	1,1–2,0	2,1–5,0	> 5

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

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

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

– 1 – слабо деградированные 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 не деградированными (эталонными) землями, имеющими аналогичное расположение в рельефе и инфраструктуре хозяйства,

– 2 – средне деградированные почвы и земли: результатом их деградации является 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 – сильно деградированные почвы и земли: результатом их деградации является 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 сильно деградированные почвы и земли: продуктивность традиционных для них сельскохозяйственных культур падает более, чем в четыре раза, или отмечается сильное превышение ПДК в получаемой продукции [61]. 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;

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

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

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

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

$B_{cp} \geq 4$ – очень сильно деградированные (разрушенные), в т. ч. уничтожение почвенного покрова.

Сводные значения бальной оценки деградационных процессов орошаемых почв степной и сухостепной зон Поволжья представлены в приложении Л [23, 53, 62, 63].

Таким образом, наличие деградационных процессов практически можно установить по основным показателям оценки почвенного плодородия. К деградационным процессам следует отнести переувлажнение. Если почвы находятся в затопленном состоянии более 12 месяцев, то они относятся к переувлажненным. Со временем, если не провести соответствующих мероприятий, они трансформируются в заболоченные.

5.2.5 Критерии экологической устойчивости орошаемых земель с точки зрения современных условий сельскохозяйственного производства

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

- экологическое бедствие,
- чрезвычайная экологическая ситуация,
- 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. Также определяется фитотоксичность почв и наличие в почве патогенных микроорганизмов [64]. Все эти показатели представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Критерии экологической оценки состояния почв [64]

Показатель	Экологическое бедствие	Чрезвычайная экологическая ситуация	Удовлетворительная ситуация
1	2	3	4
Процент площади земель, выведенных из с.-х. оборота, вследствие деградации	> 50	30–50	до 5
Уничтожение гумусового горизонта	A + B	Апах (A ₁)	до 0,1 A
Перекрытие поверхности почвы абиотическим наносом	> 20	10–20	отсутствует

Продолжение таблицы 16

1	2	3	4
Увеличение плотности почвы по отношению к равновесной, %	> 40	30–40	до 10
Превышение уровня грунтовых вод, % от критического	> 50	25–50	допустимый
Радиоактивное загрязнение, ки/км ² : – цезий-137, – стронций-90, – сумма изотопов плутония, – мощность экспозиционной дозы на уровне 1 м от поверхности, мкР/час	> 40 > 3 > 0,1 > 400	15–40 1–3 > 0,1 200–400	до 1 до 0,3 нет до 20
Потеря гумуса в пахотных почвах за 10 лет (относительные %)	> 25	10–25	> 1
Увеличение содержания легкорастворимых солей, в долях	> 0,8	0,4–0,8	до 0,1
Увеличение доли обменного натрия, % от Е	> 25	15–5	до 5
Превышение ПДК химических веществ: – 1 класс опасности, – 2 класс опасности, – 3 класс опасности (включая нефтепродукты)	> 3 раз > 10 раз > 20 раз	в 2–3 раза в 5–10 раз в 10–20 раз	нет нет нет
Снижение уровня активной микробной массы	> 100 раз	50–100	до 5 раз
Фитотоксичность почв (снижение числа проростков в % к фону)	> 200	140–200	до 110
Дополнительные показатели: – доля загрязненной с/х продукции, % от проверенной, – число яиц гельминтов в 1 кг почвы, – число патогенных микроорганизмов в 1 кг почвы, – коли-титр (для почвы – наименьшая масса почвы, в которой содержится 1 кишечная палочка), – генотоксичность почвы (число мутаций по сравнению с контролем), число раз	> 50 > 100 > 10 ⁻⁶ > 0,001 > 1000	25–50 10–100 10 ⁻⁶ –10 ⁻⁵ 0,01–0,001 100–100	до 5 нет > 10 ⁻⁴ > 1,0 > 2

Для орошаемых земель наиболее приемлемыми являются критерии экологической оценки состояния почв, представленные в таблице 17 [22].

Таблица 17 – Критерии благополучного экологического состояния почв и ландшафтов [22]

Показатель	Природная зона				
	лесо- степная	степная	сухо- степная	полупус- тынная	пустын- ная
1	2	3	4	5	6
Содержание гумуса в почве, %	2–3	5–7	3–4	2–3	1,5–2,0
Степень засоления почвы, %	0,1–0,3	0,1–0,3	0,2–0,3	0,3–0,4	0,3–0,4

Продолжение таблицы 17

1	2	3	4	5	6
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^+ в % от ЕКО, – поглощение Mg^{2+} в % от ЕКО	– –	< 3 < 15	– –	– –	– –
Кальциевый режим, отклонение от природного, %	–	< 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
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					
подзоны:					
– 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.

Основные критериальные значения эколого-мелиоративного состояния орошаемых почв приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Сводная таблица критериев оценки эколого-мелиоративного состояния почв Поволжья
в условиях длительного орошения

Основной фактор оценки эколого- мелиоративного состояния почв	Показатель плодородия почв	Критерии оценки эколого-мелиоративного состояния											
		Оптимальные значения				Значения, требуемые специальных природоохранных мероприятий				Значения, при которых система переходит в неустойчивое экологическое состояние			
		чернозем обыкновенный	чернозем южный	темно- каштановая	каштановая	чернозем обыкновенный	чернозем южный	темно- каштановая	каштановая	чернозем обыкновенный	чернозем южный	темно- каштановая	каштановая
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Агрофизические свойства пахот- ного горизонта почв тяжелого гранулометриче- ского состава	Плотность сложения почвы, т/м ³	1,15	1,20	1,25	1,25	1,20	1,25	1,30	1,30	>1,2	>1,25	>1,3	>1,3
	Структура: содержание агрегатов d 0,25– 10 мм в воздушно-сухой почве, %	> 70				70–55				55–40			
	содержание водопрочных агре- гатов d 0,25–10 мм, %	> 80				80–60				60–40			
	Порозность, %	> 55	> 53	> 48	> 47								
	Слитизация в корнеобитаемом слое	отсутствует	отдельные проявления	встречается повсеме- стно, плотность более 1,50 т/м ³		–				–			

Продолжение таблицы 18

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Содержание и состав органического вещества	Мощность гумусового горизонта, см	40–80	30–70	40–60	30–45	–				–			
	Содержание гумуса, %, слой 0–30 см	6–8	4–6	3,2–4,0	2,2–3,2	уменьшение на 10–15 % за ротацию				уменьшение более 15 % за ротацию			
	C : N	10–11	9–10	8–10	7–8	–				–			
	C _{ГК} : C _{ФК}	2,0	> 1,5	> 1,0	1,0	–				–			
Физико-химические свойства	pH	7,0–7,5	7,0–7,5	7,2–7,3	7,2–7,6	–				–			
	Содержание легкорастворимых солей, %, слой 0–60 см	< 0,10		< 0,15		увеличение на 10–15 % за ротацию				увеличение более 15 % за ротацию			
	Емкость поглощения, мг-кв/100 г почвы	35–55	35–45	25–35	20–30	уменьшение на 10–15 % за ротацию				уменьшение более 15 % за ротацию			
	Солонцеватость, % Na ⁺ в ППК	< 5	< 5	< 3	< 3	слабосолонцеватые				среднесолонцеватые			
		несолонцеватые											
Содержание элементов питания	Легкогидролизуемый азот, мг/кг (по Тюрину-Кононовой)	41–70				31–40				< 30			
	Подвижный фосфор, мг/кг (по Мачигину)	16–45				11–15				< 10			
	Обменный калий, мг/кг (по Мачигину)	201–400				101–200				< 100			
Относительное снижение потенциального плодородия вследствие деградационных процессов	переувлажнение	0				0,15				0,25			
	засоление	0				0,15				0,30			
	осолонцевание	0				0,10				0,25			
Санитарно-гигиеническое состояние	Техногенное загрязнение кор-необитаемого слоя [65]	выше фонового, но ниже ПДК				на уровне ПДК по общесанитарным показателям, но ниже транслокационного ПДК				превышает ПДК при лимитирующем транслокационном показателе			

Важным показателем мелиорируемого агроландшафта должен быть удельный вес гидромелиорации в общем мелиоративном комплексе, который определяется как отношение площадей с оросительными мелиорациями к общей площади мелиорированных земель в пределах агроландшафта, включая создание природоохранных и буферных зон. Он не должен превышать 0,5 [66, 67].

Создание экологически безопасных мелиоративных систем предполагает минимизацию антропогенной нагрузки на орошаемые агроландшафты. Экологически безопасные мелиоративные системы в сочетании с системой земледелия обеспечивают оптимальное природно-антропогенное равновесие, создают и поддерживают определенный агромелиоративный режим, который способствует расширенному воспроизводству почвенного плодородия, получению устойчиво высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

Следует отметить, что оптимальные размеры экологически устойчивых мелиоративных систем различаются по природно-географическим зонам: в лесостепной – 2–3 тыс. га, в степной – 5–6 тыс. га, сухостепной – 10–30 тыс. га, а в полупустынной – достигают 50 тыс. га и даже более. Как видно, с нарастанием сухости климата увеличиваются и площади мелиоративных систем.

Ограничения по показателям благоприятного экологического состояния почв мелиоративных систем в орошаемых агроландшафтах приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Показатели благоприятного экологического состояния орошаемых почв и ландшафтов [68, 69]

Ландшафтно-географическая зона	Нисходящий поток q , мм	Степень засоления почв, %	Содержание гумуса, %	Пределы регулирования влажности корнеобитаемого слоя почвы, доли от НВ	pH	Окислительно-восстановительный потенциал E_h , мВ
Лесостепная	40–60	0,1–0,3	2–3	0,7–0,9	6,0–7,0	450–600
Степная	30–40	0,1–0,3	5–7	0,65–0,8	7,0–7,5	400–600
Сухостепная	40–80	0,2–0,3	3–4	0,7–0,85	7,0–8,0	350–500
Полупустынная	80–00	0,3–0,4	2–3	0,7–0,9	7,5–8,0	350–450

Допустимые уровни регулирования почвенных влагозапасов для сухостепной зоны и полупустынной зон, земель с каштановыми почвами находятся в пределах 0,7–0,9 от наименьшей влагоемкости (НВ), для степной зоны, черноземов – в пределах 0,65–0,8.

Степень засоления почв в лесостепной и степной зонах не должна превышать 0,3 %, а в сухостепной и полупустынной – колеблется от 0,2 до 0,4 %.

По содержанию гумуса самые высокие ограничения для черноземных почв – 5–7 %, для почв каштанового ряда – 2–4 %.

Соблюдение ограничений по мелиоративной деятельности сводит к минимуму интенсивность обмена гидрогеохимическими потоками между геологическим и биологическим круговоротом [70]. Это, в свою очередь, обеспечивает экологическую устойчивость мелиоративных систем и воспроизведение почвенного плодородия длительно орошаемых почв.

При обосновании строительства новых оросительных систем для сохранения экологической устойчивости агроландшафтов следует придерживаться следующих критериальных значений (таблица 20).

Таблица 20 – Критериальные значения показателей экологически устойчивого функционирования геосистем локального уровня

Ландшафтно-климатические условия		Лесостепная зона	Степная зона	Сухостепная зона	Полупустынная зона
Основные типы почв		Черноземы выщелоченные и оподзоленные	Черноземы, темно-каштановые	Темно-каштановые	Светло-каштановые, бурые
Значение показателя	Глубина залегания грунтовых вод, м	≥ 4–5	≥ 7–8	≥ 5–7	≥ 4–5
	Содержание гумуса в почвах, %	3–4	5–7	3–4	2–3
	pH	6,0–7,0	7,0–7,5	7,0–8,0	7,5–8,0
	Засоление почв, %	0,1–0,3	0,1–0,3	0,2–0,3	0,3–0,4
	Осолонцевание почв (содержание Na в ППК, %)	< 0,5	< 1	< 3	< 5

5.2.6 Оценка различных факторов отрицательного влияния 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 этого плохо работающая коллекторно-дренажная сеть провоцирует подтопление орошаемых и прилегающих к ним территорий [13, 30, 71].

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 располагаются на глубине менее 3 м, наблюдается гидроморфный, а менее 1,5 м – сильно гидроморфный режим.

Грунтовые воды являются одним из отрицательных факторов, влияющих на плодородие почв [72].

В первую очередь следует также оценить уровень залегания грунтовых вод и их минерализацию. Если он выше критического, то происходит накопление водорастворимых солей (вторичное засоление) и обменных натрия и магния (осолонцевание) в корнеобитаемом слое.

Для обеспечения оптимального почвенного плодородия орошаемых полей необходимо, чтобы глубина залегания грунтовых вод была больше критической. Ее контроль осуществляется по общепризнанной классификации (приложение М, таблица М.1) [73].

По степени минерализации грунтовые воды различаются на пресные, слабо-, средне-, сильноминерализованные и рассолы (приложение М, таблица М.2).

Подъем грунтовых вод содействует не только возникновению таких деградационных процессов как переувлажнение и заболачивание, но и подтопление. Степень подтопления земель при различных глубинах грунтовых вод по природным зонам оценивается по таблице 21.

Таблица 21 – Степень подтопления земель с учетом типов режимов почвообразования зональных почв

Природный тип гидрогеологического режима	Степень подтопления земель при глубинах грунтовых вод, м				
	не подто- пленные	подтопление			
		слабое	среднее	сильное	очень сильное
Лесостепная зона – черноземы выщелоченные и оподзоленные					
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
Лугово-черноземные почвы					
Субгидроморфный	3	2–3	1–2	1	1
Степная зона – черноземы и темно-каштановые почвы					
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
Черноземно-луговые почвы					
Субгидроморфный	4–6	3–4	3	2	1
Лугово-черноземные почвы					
Гидроморфный	3–4	2–3	1–2	1	1
Сухостепная зона – каштановые почвы					
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
Каштановые луговые почвы					
Субгидроморфный	4–6	3–4	3	2	21
Лугово-каштановые почвы					
Гидроморфный	3–4	2–3	1–2	1	< 1
Полупустынная зона – светло-каштановые, комплексные солонцеватые почвы					
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
Пустынная зона – бурые почвы					
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
Солонцеватые					
Субгидроморфный	4–5	3–4	2–3	1–2	< 1
Засоленные					
Гидроморфный	3–4	2–3	1–2	1	< 1

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. В настоящее время существует классификация С. Я. Бездниной [74–77], в 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 и характеристика их классов представлена в приложении Н (таблицы Н.1, Н.2). При использовании коллекторно-дренажных вод необходимо руководствоваться классификацией оценки качества поливных вод (см. приложение Н). Нередко отмечается загрязнение источников орошения органическими и неорганическими веществами. Нормирование содержания микроэлементов и органических веществ следует проводить в случае опасности загрязнения ими оросительных вод (по указанию санитарной эпидемиологической службы). Содержание микроэлементов, в том числе и тяжелых металлов, а также органических веществ не должно превышать допустимые величины, указанные в приложении Н (таблицы Н.3, Н.4).

В различных природных зонах при орошении земель развиваются процессы засоления, осолонцевания и содообразования почв. Интенсивность и характер этих процессов зависит не только от качества оросительной воды, так и от свойств почв, глубины залегания и минерализации грунтовых вод (таблица 22) [78–81].

Таблица 22 – 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 Na / Ca+Mg в грунтовой воде	Глубина залегания уровня, м				
		1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
1	2	3	4	5	6	7
3	0,5	<u>1,3</u>	<u>2,0</u>	<u>2,5</u>	<u>2,9</u>	<u>3,2</u>
		2,1	1,3	0,9	0,8	0,7
	1,0	<u>1,3</u>	<u>2,0</u>	<u>2,5</u>	<u>2,9</u>	<u>3,2</u>
		1,2	0,9	0,8	0,7	0,7
	2,0	–	<u>2,0</u>	<u>2,5</u>	<u>2,9</u>	<u>3,2</u>
			0,1	0,4	0,5	0,6

Продолжение таблицы 22

1	2	3	4	5	6	7
5	0,5	–	<u>1,0</u> 2,0	<u>1,9</u> 1,1	<u>2,4</u> 0,9	<u>3,0</u> 0,7
	1,0	–	<u>1,0</u> 0,8	<u>1,9</u> 0,7	<u>2,4</u> 0,6	<u>3,0</u> 0,6
	2,0	–	–	–	<u>2,4</u> 0,2	<u>3,0</u> 0,5
7	0,5	–	–	<u>1,2</u> 1,4	<u>2,1</u> 0,9	<u>2,8</u> 0,7
	1,0	–	–	<u>1,2</u> 0,5	<u>2,1</u> 0,5	<u>2,8</u> 0,6
	2,0	–	–	–	–	<u>2,8</u> 0,4
10	1,0	–	–	–	<u>1,3</u> 0,3	<u>2,5</u> 0,6
	2,0	–	–	–	–	<u>2,5</u> 0,2

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.

В связи с вышеизложенным, необходимо учитывать определенные экологические ограничения, позволяющие установить экологически безопасные нормы водопотребности сельскохозяйственных культур в каждом конкретном случае с учетом того, что для сохранения почвенного плодородия требуется снижение оросительных норм.

Факторами, оказывающими отрицательное воздействие на плодородие орошаемых почв, является несоблюдение ключевых элементов технологии выращивания сельскохозяйственных культур. К ним, в первую очередь, относятся севообороты, поливной режим сельскохозяйственных культур.

Кроме снижения водной нагрузки на почвы требуется особое внимание уделять структуре посевных площадей при составлении севооборотов и нормированию внесения удобрений и пестицидов.

Структура посевных площадей оценивается по процентам отклонения от проектных данных и составляет 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 %) [82].

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

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.

Удобрения могут оказывать как положительное, так и отрицательное влияние 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.

О вкладе средств химизации в химическую деградацию почв можно судить по результатам таблицы 23, из которой видно, что наибольшее количество загрязнителей поступает с осадками сточных вод (ОСВ), а затем с органическими и минеральными удобрениями.

Кроме ТМ, в почве обнаруживаются остатки пестицидов, если содержание их выше ПДК, то они становятся загрязнителями и так же способствуют нарастанию деградационных процессов в почве [83]. О загрязненности почв тяжелыми металлами и другими загрязняющими веществами можно судить при сопоставлении их фактического содержания с предельно-допустимыми концентрациями [49, 17, 84, 85].

Таблица 23 – Источники поступления и вынос ТМ в результате применения средств химизации, % от суммарного прихода [83]

Металл	Поступление на поверхность					
	с минеральными удобрениями	с известковыми удобрениями	с органическими удобрениями	с ОСВ	с атмосферными осадками	вынос с урожаем и внутрипочвенный сток
Cd	2,5	14,0	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

Присутствие загрязнителей выше ПДК свидетельствует о деградиационном состоянии почв, показатели ниже ПДК позволяют судить об удовлетворительном ее состоянии.

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

5.3 Методика составления шкал оценки агропроизводительной способности почв и эколого-мелиоративного состояния длительно орошаемых почв

5.3.1 Оценка агропроизводительной способности почв на основе почвенно-экологических индексов и бонитировки почв

Если в процессе оценки почвенного плодородия орошаемых земель обнаруживаются негативные и деградиационные почвенные процессы, необходимо провести оценку агропроизводительной способности почв. Она может осуществляться на основе системы бонитировки почв двумя методами:

- 1) через расчет почвенно-экологических индексов,
- 2) на основе существующего бонитета почв различных регионов.

Оценка почв на основе почвенно-экологических индексов, предложенная И. И. Кармановым и Т. А. Фриевым [86], дает возможность осуществлять количественную оценку почвенно-экологических условий территорий (участков).

Почвенно-экологические индексы рассчитываются по следующей основной формуле [86]:

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

где $ПЭ_u$ – почвенно-экологический индекс;

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

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

$\sum t^{\circ} > 10$ – среднегодовая сумма температур более 10 °С;

KU – 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 приложения П.

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

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

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

где t° – среднемесячная температура воздуха;

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

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

Число 0,05 вычитается из $KУ$ в связи с тем, что при величине $KУ$, 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:

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

где $t^{\circ}_{\max}$ – среднемесячная температура самого теплого месяца;

$t^{\circ}_{\min}$ – 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 KK выражается с округлением до целых чисел. Величины KK более 200 принимаются равными 200. Число 100 прибавляется к величине KK в качестве коэффициента пропорциональности.

При расчете по формуле за 100 принят экологический индекс для черноземов центральной части Краснодарского края ($v = 1,20$; $n = 1,00$; $\Sigma t^{\circ} > 10 = 3500$; $KУ = 0,80$; $KK = 162$). В таблице 24 представлены приблизи-

тельные величины почвенно-экологических индексов для почв, находящихся в конкретных климатических условиях.

Таблица 24 – Величины почвенно-экологических индексов для некоторых почв [86]

Почва	Территория	Величина <i>ПЭи</i>
Дерново-подзолистая суглинистая	Ярославская область	49
Серая лесная суглинистая	Тульская область	63
Чернозем типичный мощный	Курская область	75
Чернозем типичный мощный	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:

- 1) минерализацией и низким качеством поливной воды,
- 2) близким залеганием грунтовых вод,
- 3) 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 таблицы 25. Снижение каждой градации на четыре 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 25 – 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

Считаем, что целесообразнее сделать поправки на те факторы, которые способствуют изменению ряда свойств почвы, вызывая ее деградацию [87].

Так, 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 $\frac{ПЭи}{ПЭи_{\phi}}$, в котором: $ПЭи$ – почвенно-экологический индекс, отражающий зональные условия; $ПЭи_{\phi}$ – почвенно-экологический индекс фактический (претерпевший изменения в силу антропогенного воздействия, например орошения).

Для зоны орошаемых черноземов $Кэу$ составляет более 1,5 единиц, 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 требуется провести 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 (таблица 26–28) [88–93].

Таблица 26 – Бонитировка плакорных почв Ростовской области

Индекс	Почва	Бонитировочный балл
Ч ₁	Черноземы типичные малогумусные сверхмощные (черноземы предкавказские промытые)	151–160
Ч _П	Черноземы карбонатные малогумусные сверхмощные (черноземы предкавказские карбонатные)	141–150
Ч ₁	Черноземы типичные малогумусные сверхмощные (черноземы приазовские промытые)	131–140
Ч ₁ ^к	Черноземы карбонатные малогумусные мощные (черноземы приазовские карбонатные)	121–130
Ч ₂	Черноземы обыкновенные среднегумусные среднемощные на лессовидных породах	111–120
Ч ₂	Черноземы обыкновенные среднегумусные среднемощные на глинах	101–110
Ч ^ю	Черноземы южные на лессовидных породах	91–100
К ₃	Темно-каштановые на лессовидных породах	71–80
К ₃	Темно-каштановые на глинах	61–70
К ₂	Каштановые	51–60
К ₁	Светло-каштановые	41–50
С _н	Солонцы глубокостолбчатые	31–40
С _н	Солонцы среднестолбчатые каштановой зоны	21–30
С _н	Солонцы среднестолбчатые корковые черноземной зоны	11–20
С _н	Солонцы среднестолбчатые корковые каштановой зоны	1–10
С _к	Солончаки, бугристые пески	0–1

Таблица 27 – Бонитировка почв Нижнего Дона и Северного Кавказа

Балл	Ростовская область	Краснодарский край	Ставропольский край
1	2	3	4
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

Продолжение таблицы 27

1	2	3	4
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

Таблица 28 – Предварительная бонитировочная (оценочная) шкала
плакорных почв России (по С. С. Соболеву и М. Н. Малышкину)

Бонитировочный балл	Северный Кавказ	Центрально-Черноземная полоса	Западная Сибирь и Казахстан	Восточная Сибирь	Нечерноземный центр	Дальний Восток
1	2	3	4	5	6	7
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 слабослонцеватые	(Дерново-карбонатные типичные и выщелоченные)	Луговая темноцветная мощная

Продолжение таблицы 28

1	2	3	4	5	6	7
70–80	Черноземы малогумусные на плотных породах	—	Черноземы выщелоченные тучные; лугово-черноземные; серые осолоделые	—	(Дерново-слабо-подзолистые)	Луговая темноцветная среднемощная
60–70	Горно-каштановые и коричневые почвы	—	Черноземы карбонатные; черноземы обыкновенные	Черноземы выщелоченные	(Дерново-средне- и сильно-подзолистые?)	Луговая темноцветная осолодело-оподзоленная
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 очень удобно пользоваться расчетными величинами суммарного показателя свойств почв для основных зональных почв (таблица 29) [94].

Таблица 29 – 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 [94]. Величина $V = 1$ 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 поправочные коэффициенты разработаны в масштабе страны и ими можно пользоваться при окончательной установке балла бонитета почв. Например, установлены поправочные коэффициенты на степень смывости при водной эрозии (таблица 30), на гранулометрический состав почвы (таблица 31).

Существуют поправочные коэффициенты на особенности территорий.

Таблица 30 – Поправочные коэффициенты для почв, подверженных водной эрозии (по С. С. Соболеву)

Почва	Поправочный коэффициент на степень смытости		
	Несмытые (мощность гумусового горизонта не уменьшена эрозией)	Слабосмытые	Среднесмытые
Дерново-подзолистые, слабо- и среднеокучуренные	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

Анализ показывает, что для солонцеватых (засоленных) почв поправочные коэффициенты составляют: для слабосолонцеватых (слабозасоленных) – 0,8–0,9; для среднесолонцеватых (среднезасоленных) – 0,8–0,7; для сильносолонцеватых (сильнозасоленных) – 0,7–0,6 [88, 95, 96].

Как видно из приведенного анализа, имеется множество поправочных коэффициентов, которые можно использовать к существующим зональным бонитировочным шкалам (таблица 32–35).

Предлагается из множества поправочных коэффициентов брать не менее трех, в случае, если они приближены к единице (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 (см. таблицу 35).

Таблица 31 – Поправочные коэффициенты на гранулометрический состав (по Н. А. Качинскому)

Зона, подзона и почва	Гли- нис- тый	Тяжело- суглини- стый	Средне- суглини- стый	Легкосуг- линистый	Супесча- ный	Песчаные мелкозер- нистые	Песчаные крупнозер- нистые
Подзолистая зона:	–	–	–	–	–	–	–
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
Черноземная зона и полупустыня:	–	–	–	–	–	–	–
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 32 – Поправочные коэффициенты (Кп) к водно-физическим свойствам мелиорируемых почв

Плотность сложения в пахотном слое		Водопрочность ^{*)} в пахотном слое (0–30см)	
т/м ³	Кп	%	Кп
Свежевспаханная Вспушена 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

Примечание – ^{*)} Водопрочность – сумма водопрочных агрегатов более 0,25 мм, % (метод Савинова).

Таблица 33 – Поправочные коэффициенты к физико-химическим свойствам

Засоление		Щелочность		Солонцеватость		Кислотность Нг		Насыщенность основаниями	
Степень	Кп	Степень	Кп	Степень	Кп	Степень	Кп	V	Кп
Незасоленные	1,0	Нещелочные	1,0	Несолонцеватые	1,0	Нейтральная	1,0	Высокая	1,0
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 34 – 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

Таблица 35 – 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 чернозем стал среднесолонцеватым (поглощенного натрия около 10 %, $Kn = 0,8-0,9$), уплотнился до $1,33 \text{ т/м}^3$ ($Kn = 0,75$), водопрочность агрегатов стала неудовлетворительной ($Kn = 0,75$), содержание гумуса низкое ($Kn = 0,75$), тип гумуса – фульватно-гуматный ($Kn = 0,75$), обеспеченность питательными элементами низкая ($Kn = 0,75$). При наличии такого количества поправок следует сделать только две поправки по 0,75, в результате чего оценочный балл составит всего 53.

Коэффициент изменения свойств почв ($K_{св.п.}$) определяется отношением $\frac{B_z}{B_\phi}$ (где B_z – зональный бонитет почвы, B_ϕ – фактический бонитет почвы

с учетом поправок), и будет равняться $\frac{94}{53} = 1,8$, то есть свойства почв перенесли существенные изменения.

$K_{св.п.}$, 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, 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, наблюдается угнетение растений и снижение урожая на 10–20 % (таблица 36) [17].

Таблица 36 – 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	–	–

На слабо- и среднесолонцеватых почвах урожай уменьшается от 10 до 25 %. От 25 % и больше наблюдается снижение урожайности на сильносолонцеватых почвах и солонцах (таблица 37).

Таблица 37 – 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	< 5	> 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	< 10	25–50	4,0–6,0
Солонцы	> 20	< 10	до 60	8,0 и более

На основе предложенных подходов нами проведена комплексная оценка агропроизводительной способности длительно орошаемых почв по ключевым участкам различных типов почв (таблица 38).

Баллы бонитета исследуемых почв по зональности взяты с учетом величины суммарного показателя свойств почв, разработанные И. И. Кармановым [95]. Они свидетельствуют о ее снижении по всем ключевым участкам. Так балл бонитета серых лесных почв в условиях длительного орошения по сравнению с бонитетом зональным снизился на 28 %.

В наибольшей степени теряют агропроизводительную способность почвы, которые длительно орошались слабоминерализованными водами, на которых ее снижение составило 40–49 %, а также почвы, обладающие природными неблагоприятными свойствами. К ним, например, относятся чернозем южный и бурые полупустынные почвы. Чернозем южный к тому же и более 30 лет орошается водой плохого качества.

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 ($K_{св.п}$), рассчитанный по отношению балла зонального к баллу фактического бонитета почв, также указывает на потерю агропроизводительной способности исследуемых длительно орошаемых почв. $K_{св.п}$, составляющие более 1,5, уже свидетельствуют о неблагоприятном состоянии почвенного покрова. Такой коэффициент получен на тех же орошаемых участках, на которых снизилась агропроизводительная способность почв.

Авторами также проведена оценка агропроизводительной способности орошаемых почв на основе почвенно-экологических индексов с поправками на мелиоративные условия, оказывающие влияние на почвенное плодородие и эколого-мелиоративное состояние земель (таблица 39).

Таблица 38 – 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
1	2	3	4	5	6	7
Серые лесные (Рязанская область)	81	Водопрочность – 31 % Гидролитическая кислотность – 3,54 ммоль(экв)/100 г Насыщенность основаниями – 53 %	0,85 0,85 0,85	58	28	1,40
Черноземы типичные (Хохольский район, Воронежская область)	100	Водопрочность – 38 % Плотность сложения почвы – 1,29 т/м ³ Гидролитическая кислотность – 3,2 ммоль(экв)/100 г	0,85 0,75 0,85	64	36	1,56
Чернозем обыкновенный (Богучарский район Воронежской области)	96	Водопрочность – 35 % Плотность сложения почвы – 1,32 т/м ³ Гидролитическая кислотность – 2,0 ммоль(экв)/100 г	0,85 0,75 1,00	61	37	1,57
Чернозем обыкновенный (Аксайский район Ростовской области)	94	Поглощенный Na – 6 % Плотность сложения – 1,33 т/м ³ Водопрочность – 28 % Гумус – 3,8 % Обеспеченность питательными элементами – низкая	0,8–0,9 0,75 0,75 0,75 0,75	53	44	1,77
Чернозем обыкновенный (Багаевский район Ростовской области)	110	Гумус – 3,7 % Водопрочность – 35 % Плотность сложения – 1,25 т/м ³	0,8 0,8 0,75	66	40	1,67

Продолжение таблицы 38

1	2	3	4	5	6	7
Чернозем обыкновенный (Неклиновский район Ростовской области)	100	Щелочность – 1,2 мг-экв/100 г Поглощенный Na – 5 % Плотность сложения – 1,20 т/м ³ Водопрочность – 20 % Гумус – 3,6 % Обеспеченность питательными элементами – низкая	0,86 0,75 0,75 0,80 0,80 0,75	60	40	1,66
Чернозем южный (Сальский район Ростовской области)	82	Щелочность – 1,33 мг-экв/100 г Поглощенный Na – 10 % Гумус – 3,48 %	0,85 0,70 0,75	43	48	1,91
Темно-каштановые (Саратовская область)	86	Водопрочность – 32 % Плотность сложения – 1,38 т/м ³	0,85 0,75	55	36	1,56
Бурые полупустынные (Светлоярский район Волгоградской области)	78	Водопрочность – 33 % Гумус – 1,6 % Плотность сложения – 1,30 т/м ³	0,85 0,60 0,85	40	49	1,95

Таблица 39 – Шкала оценки агропроизводительной способности почв по *Пэи* с поправкой на мелиоративные условия

Почва	Балл по <i>Пэи</i>	Мелиоративные условия	Поправочные коэффициенты	Балл <i>Пэи</i> с учетом поправочных коэффициентов	Снижение агропроизводительной способности, %
Серые лесные (Рязанская область)	63	Поливная вода – I класс Глубина грунтовых вод – более 3 м Минерализация грунтовых вод – менее 1 г/дм ³	0 0 0	63	0
Черноземы типичные (Хохольский р-на Воронежской области)	75	Поливная вода – I класс Глубина грунтовых вод – более 3 м Минерализация грунтовых вод – менее 1 г/дм ³	0 0 0	75	0
Чернозем обыкновенный (Богучарский р-на Воронежской области)	90	Поливная вода – II класс Глубина грунтовых вод – более 3 м Минерализация грунтовых вод – более 1 г/дм ³	4 0 0	86	5
Чернозем обыкновенный (Аксайский район Ростовской области)	95	Поливная вода – III класс Глубина грунтовых вод – 2–3 м Минерализация грунтовых вод – 3–5 г/дм ³	8 4 4	79	17
Чернозем обыкновенный (Багаевский район Ростовской области)	95	Поливная вода – I класс Глубина грунтовых вод – 1,5–2 м Минерализация грунтовых вод – 4–6 г/дм ³	0 8 4	83	13
Чернозем обыкновенный (Неклиновский район Ростовской области)	95	Поливная вода – III класс Глубина грунтовых вод – более 3 м Минерализация грунтовых вод – более 1 г/дм ³	8 0 0	87	9
Чернозем южный (Сальский район Ростовской области)	47	Поливная вода – III класс Глубина грунтовых вод – более 3 м Минерализация грунтовых вод – менее 1 г/дм ³	8 0 0	39	17
Темно-каштановые (Саратовской области)	45	Поливная вода – I класс Глубина грунтовых вод – более 3 м Минерализация грунтовых вод – менее 1 г/дм ³	0 0 0	45	0
Бурые полупустынные (Светлоярский район Волгоградской области)	43	Поливная вода – I класс Глубина грунтовых вод – более 3 м Минерализация грунтовых вод – менее 1 г/дм ³	0 0 0	43	0

К мелиоративным условиям нами отнесены: качество поливной воды, характеризующее 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 %. На участках, где рассматриваемые мелиоративные условия были благоприятными, они не снижали их агропроизводительный потенциал.

5.3.2 Оценка агропроизводительной способности почв на основе урожайности возделываемых культур

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

При оценке агропроизводительной способности длительно орошаемых почв на районном и региональном уровне 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 10 лет. Балл фактической урожайности определяется по формуле:

$$Y_{\phi(\text{балл})} = \frac{Y_{\phi}}{Y_{np(\text{max})}} 100, \quad (10)$$

где $Y_{\phi(\text{балл})}$ – балл фактической урожайности;

Y_{ϕ} – урожайность фактическая в ц/га, т/га, к. ед./га, з. ед./га;

$U_{np(max)}$ – урожайность проектная (максимальная) в ц/га, т/га, к. ед./га, з. ед./га.

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

В различных регионах России и некоторых странах СНГ применяются критерии балльной оценки по урожайности [89, 90–92, 95, 97, 98]. Оценочная шкала эффективности использования мелиорированных земель представлена в таблице 40.

Таблица 40 – 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

Оценка агропроизводительной способности длительно орошаемых почв по баллу фактической урожайности представлена в таблице 41.

Таблица 41 – Балл фактической урожайности на длительно орошаемых почвах по стационарным участкам

Почва	Культура	Урожайность максимальная, т/га	Урожайность фактическая, т/га	Снижение урожайности, %	Балл фактической урожайности
1	2	3	4	5	6
Чернозем обыкновенный, орошаемый пресной водой (Багаевский район Ростовской области)	Озимая пшеница	4,8	3,36	30	70
	Ячмень	4,5	3,38	25	75
	Люцерна на сено	15,0	11,28	25	75
	Кукуруза на зерно	10,0	5,28	53	53
	Средний балл по фактической урожайности				68
	Балл по свойствам почв				66
	Балл по <i>ПЭи</i> с поправками на мелиоративные условия				83
Чернозем обыкновенный, орошаемый	Подсолнечник	3,0	1,77	41	59
	Картофель	30,0	13,5	55	45

Продолжение таблицы 41

1	2	3	4	5	6
слабоминерализованной водой (Аксайский район Ростовской области)	Капуста	35,0	16,5	53	47
	Средний балл по фактической урожайности				50
	Балл по свойствам почв				53
	Балл по <i>Пэи</i> с поправками на мелиоративные условия				79
Чернозем обыкновенный (Неклиновский 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 мелиоративные условия				87
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 <i>Пэи</i> с поправками на мелиоративные условия				39

Расчеты баллов по урожайности показали, что они зависят не только от эколого-мелиоративных условий длительно орошаемых участков, но и от требований возделываемых культур к условиям произрастания. Значительные снижения урожая сельскохозяйственных культур наблюдаются на участках, которые орошаются слабоминерализованными водами и к тому же, 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 Ростовская область), который отличается близким залеганием минерализованных грунтовых вод, балл по фактической урожайности составил 68, по свойствам почв – 66, а по *Пэи* – 83 балла.

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 по баллу фактической урожайности возделываемых культур

6 Требования и ограничения к мероприятиям для сохранения почвенного плодородия длительно орошаемых земель

6.1 Требования к выбору технологий орошения

Выбор технологии орошения определяется следующими показателями:

- скоростью впитывания воды в почву,
- степенью естественной дренированности территории,
- уровнем залегания грунтовых вод (УГВ),
- уровнем минерализации грунтовых вод,
- степенью засоления почв,
- плодородием почв (бонитировочный балл),
- уклонами поверхности орошаемого массива,
- качеством 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 таблице 42 [99].

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, предпочтение отдается дождевальной технике. При низкой впитывающей способности предпочтение отдается поверхностным способам полива, и если по тем или иным причинам их невозможно применить, то применяется дождевание на фоне мелиоративных мероприятий, обеспечивающих повышение впитывающей способности почв (рыхление, щелевание и т. д.) и не допускающих ирригационной эрозии [99].

Таблица 42 – Количественные значения типовых качественных показателей выбора технологии орошения

Наименование показателя	Размерность	Показатель (качественное значение)		
		низкий	средний	высокий
		критериальное значение показателя (количественное)		
Впитывающая способность почв	см в первый час	< 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	м ³ /га в год	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. Бездნიной)	класс	III	II	I

Степень естественной дренированности территории определяет необходимость применения дренажа или комплекса противофильтрационных мероприятий. При средней и высокой дренированности территории, при оросительных нормах до 3000 м³/га систематический дренаж не применяется. Возможно применение 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) [99]. Уровень залегания грунтовых вод и степень их минерализации определяют необходимость устройства дренажа и величину поливной нормы. При близком залегании УГВ (менее 3,0 м) устройство дренажа обязательно [100]. При среднем и высоком

показателях залегания УГВ необходимость устройства дренажа определяется степенью естественной дренированности территории [99].

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, требуется устройство дренажа и жесткое нормирование поливных норм. Степень засоления почв определяет выбор мелиоративных мероприятий, предупреждающих деградацию и снижение плодородия почв. При низкой степени засоления почв (менее 0,5 %) и орошении пресной водой можно обойтись такими агроприемами, как внесение органических удобрений. При средней степени засоления почв (0,5–1,0 %) необходимо предусмотреть мелиоративную обработку и проведение фитомелиораций. С ростом степени засоленности (более 1 %) наряду с мелиоративной обработкой и проведением фитомелиораций необходимо предусматривать химмелиорации, а при наличии дренажа – промывки [99].

Низкое значение бонитировочного балла (менее 80) орошаемых почв требует применения комплекса агромелиоративных мероприятий, таких как фитомелиорация и химическая мелиорация, внесение оптимальных норм органических и минеральных удобрений. При средних значениях бонитировочного балла (80–100) необходимо применять комплекс агромелиоративных 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 [99].

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 приложении Н, как наиболее полно отражающую механизм воздействия оросительной воды на почвенные процессы и, в зависимости от класса воды, предусмотрен комплекс мероприятий, снижающих ее негативное воздействие.

6.2 Требования к химической мелиорации

Негативные процессы, происходящие на орошаемых и осушаемых землях, сопровождаются потерей кальция, приводящих к осолонцеванию, ошелачиванию, подкислению почв [101].

Кроме этого, с урожаями злаковых культур ежегодно отчуждается 20–40 кг СаО, гороха, вики, льна – 40–60 кг, картофеля, сахарной свеклы, кукурузы – 60–120 кг, клевера, люцерны, подсолнечника – 120–250 кг, а капусты – 300–500 кг СаО. Данный вынос является полезным и продуктивным. Однако непродуктивные потери кальция в регионах в большинстве случаев превышают полезный вынос, поэтому для устойчивого и экологически безопасного развития сельского хозяйства необходимо прогнозировать долгосрочную динамику почвенной кислотности и щелочности, сопутствующих свойств почвы, и правильно управлять ею [102].

Это возможно путем проведения мелиорации почв. При планировании мелиорации в федеральных и региональных (территориальных) программах в области мелиорации земель предусматриваются приоритеты определенных видов мелиорации земель в зависимости от природно-климатических особенностей соответствующих территорий и нужд сельского хозяйства [6]. Виды и масштабы применения мелиорации земель определяются на основе норм и правил.

Без улучшения свойств почв, т. е. без проведения мелиорации земель невозможно повысить почвенное плодородие длительно орошаемых земель. При планировании мелиорации в федеральных и региональных (территориальных) программах в области мелиорации земель предусматриваются приоритеты определенных видов мелиорации земель в зависимости от природно-климатических особенностей соответствующих территорий и нужд сельского хозяйства [6].

Следует отметить, что проведение мелиоративных работ с нарушением проекта влечет наложение административного штрафа.

Цель химической мелиорации заключается в проведении комплекса мелиоративных мероприятий по улучшению химических и физических свойств почв посредством регулирования состава катионов почвенного поглощающего комплекса, заменой водорода, алюминия, железа, марганца в кислых почвах или натрия, а зачастую и магния, в щелочных почвах на кальций.

На кислых почвах проводят известкование и фосфоритование. На щелочных – гипсование и кислование.

Для обоснования технологии химической мелиорации и вида мелиоранта, в первую очередь проводится оценка свойств почв по результатам почвенно-мелиоративных изысканий, и составляются карты и картограммы:

- карта глубин залегания и минерализации грунтовых вод,
- картограммы кислотности и щелочности, степени солонцеватости и засоленности 0–40 см слоя почв,
- картограммы глубин залегания кислых горизонтов и показатели pH,
- картограммы глубин залегания солевого и солонцеватого горизонтов,
- картограмма уровня залегания карбонатов с содержанием более 3 %,
- картограмма уровня залегания гипса с содержанием более 0,3 %,
- картограммы мощности гумусового горизонта,
- картограмма глубины залегания уплотненного горизонта (плотность сложения почв более 1,4 т/м³),
- картограммы обеспеченности почв питательными элементами,

- картограммы загрязнения почв тяжелыми металлами,
- картограммы мелиорации кислых или солонцов и солонцовых почв с дозами мелиорантов.

В настоящее время различают три вида доз внесения мелиорантов: мелиоративную, агрономическую и экологическую. Мелиоративную и экологически безопасную дозы внесения мелиорантов получают расчетным путем. Доза внесения мелиоранта в почву не должна превышать экологически безопасную дозу.

Для солонцовых почв расчет дозы внесения мелиоранта [17, 103]:

- для малонатриевых солонцов нейтрального засоления доза гипса (глиногипса) определяется по обменному натрию с учетом полного его замещения на кальций мелиоранта по формуле:

$$D = 0,086 \cdot Na \cdot h \cdot d \cdot K, \quad (11)$$

где D – доза мелиоранта, т/га;

0,086 – содержание гипса, соответствующее его 1 мг-экв, г;

Na – содержание поглощенного натрия, мг-экв/100 г почвы;

h – мощность мелиорируемого слоя, см;

d – плотность сложения мелиорируемого слоя, т/м³;

K – коэффициент, учитывающий влажность и процентное содержание гипса в мелиоранте,

- для малонатриевых солонцов с большим содержанием обменного магния по содержанию обменных натрия и магния по формуле [103]:

$$D_z = 0,086 \cdot h \cdot d \cdot [Na + (Mg - 0,3E)] \cdot K, \quad (12)$$

где Mg – содержание обменного магния, мг-экв/100 г почвы;

E – емкость катионного обмена, мг-экв/100 г почвы;

$0,3E$ – количество допустимого содержания обменного Mg^{2+} , безопасного для развития растений.

Остальные показатели, как в формуле (11),

– для средне- и многонатриевых солонцов учитывается только активная часть поглощенного натрия по формуле [103]:

$$D_r = 0,086 \cdot (Na - 0,03E) \cdot h \cdot d \cdot K, \quad (13)$$

где E – емкость поглощения или сумма обменных оснований, мг-экв/100 г почвы;

0,03 – доля неактивного натрия (3 % от емкости обмена).

Остальные показатели, как в формуле (11).

При наличии соды или высокой щелочности ($HCO_3^- > 1,4$ мг-экв/100 г) доза гипса определяется по формуле [103]:

$$D_e = 0,086[(Na - 0,05E) + (S - M) \cdot h \cdot d] \cdot K, \quad (14)$$

где Na – содержание обменного натрия, мг-экв/100 г почвы;

E – емкость катионного обмена, мг-экв/100г;

S – сумма $HCO_3^- + CO_3^{2-}$ в водной вытяжке, мг-экв/100г почвы;

M – сумма $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ в водной вытяжке, мг-экв/100г почвы;

h – мощность мелиорируемого слоя, см;

d – плотность сложения почвы, т/м³,

– при содержании кальция в почвенном поглощающем комплексе (ППК) ниже предельно-допустимых параметров (ПДП) расчет ведется по методу «донасыщения» по формуле [103]:

$$D_r = 0,086 \cdot h \cdot d \cdot (Ca_c - Ca_s), \quad (15)$$

где Ca_c – количество ионов кальция, поглощаемого солонцовой почвой из насыщенного раствора гипса, мг-экв/100 г почвы;

Ca_z – количество ионов кальция, поглощаемого зональной почвой из насыщенного раствора гипса, мг-экв/100 г почвы,

– для высокодисперсных солонцов, или когда мелиорация проводится мелиорантами с неизвестной мелиорирующей основой, доза их устанавливается по порогу коагуляции следующим образом: в цилиндры высыпают по 100 г размолотой почвы, предназначенной для мелиорации, затем в каждый из них добавляют возрастающее количество мелиоранта, например, 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5 г. В цилиндры наливают равное количество воды, тщательно все перемешивают и оставляют на ночь. Минимальное количество мелиоранта, при котором осветлился раствор в цилиндре, является расчетной дозой. Расчет производится по формуле:

$$D = M \cdot h \cdot d, \quad (16)$$

где M – количество мелиоранта, внесенное в цилиндр с осветлившимся раствором, г;

h – мощность мелиорируемого слоя, см;

d – плотность сложения мелиорируемого слоя, т/м³.

Дозы фосфогипса, глиногипса, глауконита, удобрительно-мелиорирующих компостов и смесей рассчитываются по формуле:

$$D_{\phi, \text{гл}} = D_{\Gamma} \cdot K, \quad (17)$$

где K – коэффициент, учитывающий в мелиоранте содержание гипса.

Например, если фосфогипс содержит 93 % CaSO_4 , то $K = \frac{100}{93} = 1,08$,

– для высококарбонатных содовозасоленных солонцов, которые наиболее эффективно мелиорировать серной кислотой, расчет дозы проводится по формуле:

$$D = 0,049 \cdot (Na + S) \cdot h \cdot d, \quad (18)$$

где 0,049 – коэффициент перевода мг-экв серной кислоты в граммы;

Na – содержание обменного натрия, мг-экв/100 г почвы;

S – сумма $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^-$ в водной вытяжке, мг-экв/100г почвы;

h – мощность мелиорируемого слоя, см;

d – плотность сложения мелиорируемого слоя, т/м³.

Расчет дозы серной кислоты, вносимой на поверхность почвы, рассчитывается по формуле [17]:

$$D_k = 0,049 \cdot (Na + S) \cdot h \cdot d \cdot 100 / P, \quad (19)$$

где D_k – доза кислоты, т/га;

Na – содержание обменного натрия, мг-экв/100 г почвы;

S – сумма $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^-$ в водной вытяжке, мг-экв/100г почвы;

h – мощность мелиорируемого слоя, см;

d – плотность сложения мелиорируемого слоя, т/м³;

P – процентное содержание химвелиоранта в перерасчете на чистый гипс.

Доза серной кислоты, вносимой в карбонатный слой, определяется по формуле [17]:

$$D_k = 0,049 \cdot (Na + S - \text{CO}_{2\text{карб}}) \cdot h \cdot d \cdot 100 / 2P, \quad (20)$$

где Na – содержание обменного натрия, мг-экв/100 г почвы;

S – сумма $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^-$ в водной вытяжке, мг-экв/100г почвы;

$CO_{2\text{карб}}$ – содержание карбонатов в слое почвы, куда вносится кислота (электролит травления стали), %;

h – мощность мелиорируемого слоя, см;

d – плотность сложения почвы, т/м³;

P – процентное содержание химвелиоранта в перерасчете на чистый гипс.

Это расчет дозы на 100 % серную кислоту. С изменением концентрации применяемой кислоты вводится поправочный коэффициент. При 100 % серной кислоты он равен 1, а с понижением концентрации на каждый процент увеличивается на 0,01. Например, для 95 % кислоты он равен 1,05.

При использовании мелиорантов, например, фосфогипса, содержащих элементы разного класса опасности, используется для расчета экологически безопасной дозы формула В. М. Игамбердиева и Ю. В. Алексеева [103]. Формулы расчета доз мелиорантов должны учитывать региональные особенности солонцов и солонцовых почв.

Главные требования к проведению известкования кислых почв:

- точное определение степени нуждаемости почв в известковании с составлением картограмм,

- установление очередности известкования полей с учетом кислотности почв и физиологических требований сельскохозяйственных культур к кислотности и известкованию,

- в первую очередь известкуют сильно нуждающиеся, во вторую – средне и в третью очередь – слабо нуждающиеся почвы. В севооборотах с большим удельным весом льна и картофеля слабо нуждающиеся почвы не известкуют, а в севооборотах с чувствительными к кислотности культурами (свекла, капуста) проводят известкование не только сильно, но и средне нуждающихся почв. В севооборотах, насыщенных зерновыми культурами, известь следует вносить под озимые зерновые и яровые, покровные культуры и многолетние травы,

– выбор качественных дешевых и удобных для доставки известковых материалов. В зависимости от технологии известкования технические требования к этим материалам различные и определяются в основном по гранулометрическому составу, влажности и химическому составу. Для известкования непригодны кальциевые соли сильных кислот (гипс), которые приводят, наоборот, к подкислению почв,

– известкование проводится в сроки, отвечающие требованиям возделываемых культур и удобные для проведения этих работ механизированным способом.

Для известкования почв используют три группы материалов [104]:

- 1) известковое удобрение, получаемое в результате промышленной переработки карбонатных пород (известковая мука),
- 2) рыхлые (мягкие) карбонатные породы (мел, туф, гаша),
- 3) известьсодержащие отходы промышленности (цементная пыль, сланцевая зола, шлаки, дефекат).

Расчеты изначально ведутся на чистый CaCO_3 .

Мелиоративные дозы карбоната кальция по величине гидролитической кислотности определяются по формуле:

$$I_{\text{м}} = 5 \cdot H_{\text{г}} \cdot d \cdot h, \quad (21)$$

где $I_{\text{м}}$ – доза CaCO_3 , т/га,

5 – для нейтрализации 1 мг-экв водорода на 100 г почвы требуется 1 мг-экв или 50 мг CaCO_3 ;

$H_{\text{г}}$ – гидролитическая кислотность пахотного слоя, мг-экв/100 г почвы;

d – плотность сложения почвы, т/м³;

h – мощность пахотного слоя, м.

Существуют и другие методы. Действие полных норм мелиорантов не менее 7–10 лет.

Таким образом, для повышения почвенного плодородия длительно орошаемых земель необходимо проведение мероприятий по химической мелиорации, но при соблюдении определенных требований и ограничений.

6.3 Требования к агротехническим мероприятиям

6.3.1 Севообороты в системе орошаемого земледелия

Научно обоснованные севообороты являются главным звеном системы поливного земледелия. Размещение сельскохозяйственных культур должно быть направлено на повышение эффективности использования орошаемых земель и имеющихся материально-технических ресурсов.

Рациональные севообороты способствуют повышению плодородия почв, оптимальному использованию водных, трудовых и технических ресурсов, обеспечивают высокую экономическую эффективность капитальных вложений.

При обосновании различных структур посевных площадей следует строго дифференцировать сельскохозяйственные культуры по их приспособленности к возделыванию в различных рельефных и почвенных условиях с учетом их почвозащитной роли и реакции на эродированность почв, а также особенностей пахотных угодий хозяйств.

Структура посевных площадей зависит от специализации хозяйства, удельного веса поливных земель в общем объеме пашни, водообеспеченности орошаемых массивов, способа подачи воды, трудоемкости и уровня механизации, рентабельности.

Очень важно оптимально разместить основные сельскохозяйственные культуры по лучшим предшественникам и обеспечить использование земли таким образом, чтобы поддержать благоприятные физико-химические свойства почвы, проводить борьбу с сорной растительностью, болезнями и вредителями культурных растений. Выбранный в хозяйстве севооборот должен

обеспечить равномерно-оптимальное использование рабочей силы и техники во времени.

Основные сельскохозяйственные культуры на орошаемых землях должны давать наибольшую прибавку урожая, обеспечивать высокую рентабельность и коэффициент использования пашни в течение вегетационного периода.

Мелиорация агроландшафтов требует расширения видов и сортов возделываемых культур, варьирования норм высева, способов посевов. Структура посевных площадей должна определяться системой севооборотов, адаптированных к элементам агроландшафта. Разработке и построению севооборотов должно предшествовать тщательное изучение природно-экономических и микроклиматических условий агроландшафта, биологических особенностей сельскохозяйственных культур, а также параметров технологии их возделывания.

Орошаемый севооборот должен разрабатываться во взаимоувязке с организацией использования всех имеющихся в хозяйстве сельскохозяйственных угодий и севооборотов, в том числе и богарных. В хозяйстве может быть один или несколько севооборотов. Их количество должно быть упорядочено с организационно-производственной структурой хозяйства. Севообороты могут быть заложены в пространстве и во времени.

Для правильного преобразования агроландшафтов большое значение имеет выбор размеров севооборотов участков орошения. Размер поля должен обеспечивать рациональное использование дождевальных машин, мелиоративной и сельскохозяйственной техники.

В орошаемом земледелии в качестве оптимальных рекомендуются следующие площади севооборотов:

- овощных – 100–150 га,
- кормовых и зернокормовых – 300–500 га,
- рисовых – 600–800 га.

На орошаемых агроландшафтах при выборе севооборотов важно уделять внимание оптимизации размера площадей посевов различных сельскохозяйственных культур с точки зрения их влияния на природную среду. Для этого можно использовать коэффициент экологической стабилизации ландшафта – КЭСЛ (отношение площади, занимаемой сельскохозяйственными культурами, оказывающими стабилизирующее влияние, к площади культур, оказывающих дестабилизирующее влияние на экологию ландшафта), предложенный А. В. Кирейчевой и Н. М. Решеткиной [105]. Значение КЭСЛ – 0,5 соответствует агроландшафту с ярко выраженной нестабильностью, 0,5–1,0 – нестабильному, 1,0–3,0 – условно стабильному и более 4,5 – ландшафту с ярко выраженной стабильностью. Поэтому величину КЭСЛ можно считать ограничением при выборе тех или иных севооборотов для эксплуатации.

Согласно научно обоснованным системам земледелия, с учетом технических возможностей оросительных систем, в структуре площадей предусматривается отводить под кормовые культуры не менее 65 % пашни.

В группе кормовых культур около 50 % площадей целесообразно отводить под многолетние травы (люцерна, кострец безостый, козлятник восточный и др.), среди зерновых культур должны преобладать озимые и кукуруза [106, 107].

Тип севооборота определяют следующие факторы: специализация хозяйства, место его расположения, потребность рынка и продукции сельского хозяйства, почвенно-климатические условия территории хозяйства, водно-физические и химические свойства почв и др.

В условиях узкой специализации хозяйств используются различные типы севооборотов: зерновые, зерно-кормовые, зернопропашные, кормовые, овощные и др. с ускоренной ротацией – двух-, трех-, четырехпольные.

В условиях орошения для крупных хозяйств оптимальным считаются 5–8-польные севообороты. В поймах рек и на участках местного стока могут вводиться 4–5-польные севообороты.

Эффективность применения севооборотов с короткой ротацией и малым числом культур на орошаемых землях во многом будет зависеть от того, насколько полно учтены при их разработке природно-климатические и экономические условия зоны и данного конкретного хозяйства. Главное в севооборотах с короткой ротацией – строгое чередование бедных азотом (зерновых) культур с биомассой, обогащенной азотом (бобовые культуры, свекла, кукуруза и др.). При этом в результате активного разложения органического вещества формируется высокоэффективное плодородие, почва освобождается от токсинов, обеспечиваются благоприятные условия для роста и развития растений и создания высокого урожая.

На орошаемых землях базовыми культурами интенсивных севооборотов признаны – люцерна и кукуруза. По данным исследований в орошаемых севооборотах необходимо иметь не менее трех полей люцерны, которая высевается, как правило, под покров ярового ячменя.

При выращивании кукурузы в основных и промежуточных посевах заслуживают внимания и широкого распространения ее смеси, особенно многокомпонентные (кукуруза, подсолнечник, сорго, соя), которые отличаются не только высокой продуктивностью, но и сбалансированностью корма по сахаропротеиновому соотношению [108].

Сложившаяся экономическая ситуация требует изменений и корректировок разработанных ранее зональных систем земледелия с применением интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур. В системе севооборотов должна учитываться возможность расширения спектра сельскохозяйственных культур за счет высокоинтенсивных, наиболее продуктивных и высокодоходных.

Для хозяйств, занимающихся интенсивным откормом животных, в структуре посевных площадей ведущими должны являться такие культуры, как кукуруза, горох, соя, амаранты, доля которых должна составлять 55–60 %; в хозяйствах, занимающихся производством молока и говядины, многолетние бобовые травы должны составлять не менее 30–35 %.

Большое почвозащитное значение имеет насыщение севооборотов культурами промежуточного посева. Использование кормовых культур в смеси с традиционными культурами – такие посевы обеспечивают повышение продуктивности мелиорированных земель на 20–25 % и способствуют восстановлению плодородия почв. Это позволяет уменьшить нормы внесения органических и минеральных удобрений для поддержания бездефицитного баланса гумуса в почве при интенсивном ее использовании; недопустимо получение урожая путем мобилизации почвенного плодородия без компенсации потребления растениями его компонентов.

Удельный вес кормовых культур в специализированных кормовых севооборотах может составлять 60–80 %. Под посев промежуточных культур в орошаемых севооборотах можно отводить до 30 % севооборотной площади. Представленные двумя-тремя культурами кормовые севообороты позволяют получать до 165 ц кормовых единиц, тогда как в чисто зерновых севооборотах снижается до 90–110 ц кормовых единиц с гектара севооборотной площади [109].

В балансе кормов для животноводства ведущее место должно быть отведено зернофуражным культурам (кукуруза, соя, овес, горох, ячмень и др.). Подбор культур определяет в значительной степени вид животных, тип кормления и способ содержания скота.

Организация производства высокобелковых кормов и основанного на нем сбалансированного кормления животных возможна лишь в 5–6-польных севооборотах.

При специализации на производстве продукции птицеводства и свинины должны быть приняты севообороты, основанные на использовании зернофуражных культур; при производстве молока и выращивании телок – севообороты с преобладанием культур, обеспечивающих получение сочного зеленого корма (кормовая свекла, однолетние травы), а также зернофуражных культур (кукурузы, ячмень, горох и др.).

Для молочных ферм рекомендуются севообороты с посевом люцерны (люцернозлаковой), кукурузы (с соей), озимых (на корм скоту), кормосмесей, кормовых корнеплодов.

Учитывая фитосанитарное состояние почвы, доля овощных культур не должна превышать 60 %.

Севообороты должны быть мобильными, т. е. дающими возможность при изменении конъюнктуры рынка заменять входящие в него культуры без ущерба продуктивности севооборотной площади и почвенному плодородию. Если при размещении посевов сельскохозяйственных культур на орошаемых участках показатели почвенного плодородия и мелиоративной обстановки не отвечают требованиям культур, необходимо вносить поправки на уровень планируемой урожайности и корректировать технологический процесс их возделывания (в том числе и режим орошения).

Культуры в севообороте должны отличаться по количеству и соотношению выносимых макро- и микроэлементов питания, их использованием по глубине почвенного профиля. Состав и чередование культур в севообороте должны обеспечивать возможность воспроизводства почвенного плодородия.

Севообороты являются ведущим фактором воспроизводства органического вещества почвы – гумуса и, следовательно, плодородия длительно орошаемых земель. Усиление положительной роли севооборота как биологического фактора – это способ регулирования поступления количества и качества органического вещества в почву, скорости его трансформации, фитосанитарного состояния посевов, повышения экологичности используемых технологических приемов. Являясь источником поступления органического вещества в почву в виде корневых и пожнивных остатков, сельскохозяйственные культуры, возделываемые в севообороте, оказывают значительное влияние на баланс гумуса, биологическую активность, агрохимические и агрофизические свойства почвы. Разнокачественность поступающих растительных остатков, выражаемая в различном соотношении в них углерода к азоту, сопровождается неодинаковой скоростью их гумификации и качеством обра-

зуюемого гумуса. Следовательно, меняя состав культур и их соотношение в севообороте, а также регулируя количество поступающих в почву растительных остатков, можно в определенной степени влиять на плодородие почвы.

Схемы чередования культур в севооборотах должны строиться не только по принципу их специализации, а с учетом механизмов трансформации органического вещества, поступающего в почву в виде растительных остатков определенного количества и качества. При этом необходимое качество достигается за счет изменения соотношения злакового и бобового компонентов севооборотов.

Количество поступающих в почву растительных остатков определяется полнотой использования и хозяйственной ценностью получаемой продукции. В этом случае необходимо учитывать, что в сложившихся производственных условиях ежегодно отчуждается до 90 % сформированной биомассы, что является главной причиной снижения запасов гумуса в почве. Поэтому усиление биологической роли севооборота с позиций улучшения плодородия состоит, прежде всего, в увеличении возврата в почву органического вещества растительного происхождения. Эта задача решается за счет широкого использования нетоварной части урожая в качестве органического удобрения. Особенно заметно увеличивается количество органического растительного вещества и повышается биологическая активность почвы при введении в севооборот смесей многолетних бобово-злаковых трав.

Кроме этого, поступление органического вещества в почву можно увеличить с помощью сидерации, используя как специальные посевы, так и часть урожая основной культуры, а также промежуточные культуры на сидерат. Посев промежуточных культур в качестве сидеральных не только способствует увеличению поступления органического вещества в почву, но и выступает как почвозащитный фактор, усиливая биологическую роль севооборота.

В севообороте целесообразно иметь культуры, относящиеся к различным семействам (бобово-злаковые, бобовые крестоцветные и др.). Изменение

структуры севооборота должно осуществляться на основе замены родственными группами культур. Недопустимо длительное последовательное возделывание культур с однотипной корневой системой.

Оптимальное соотношение культур в орошаемом севообороте, обеспечивающее положительный баланс гумуса за счет пожнивно-корневых остатков, приведено в таблице 43. Доля однолетних и многолетних трав должна быть больше доли пропашных и зерновых. В этом случае биомасса пожнивно-корневых остатков, остающаяся в поле в целом по севообороту, будет сопоставима с выносом биомассы урожаем.

Таблица 43 – Оптимальные значения соотношения сельхозкультур в орошаемом севообороте [10, 106, 110]

Показатель		Оптимальное значение
1	$\frac{\text{Площадь трав и повторных посевов}}{\text{Площадь пропашных и зерновых культур}}$	> 1
2	$\frac{I_n \text{ биомасса пожнивно-корневых остатков}}{I_n \text{ общая биомасса}}$ – для степной зоны, – для сухостепной зоны	0,95–1,0 ≥ 0,85–0,95

Наибольшее количество пожнивно-корневых остатков остается в почве после многолетних бобовых трав, например, люцерны – 9,34–12,28 т/га, они же оставляют в почве и наибольшее количество азота – 155–175 кг/га.

У бобовых культур содержание азота в корнях, определяющее удобрительную ценность пожнивных остатков, достигает 2,0–2,5 %, тогда как у других культур оно не превышает 0,5–1,0 %.

Пожнивные остатки люцерны по содержанию в них сухого вещества и азота могут быть приравнены в расчете на 1 га к 30 т навоза, клевер и клеверо-злаковые смеси – к 24 тоннам.

В севообороте необходимо наиболее полно использовать вегетационный период, вводя уплотнение культур, по возможности увеличить долю многолетних трав, промежуточных культур и культур-фитомелиорантов.

Годы экономической стагнации привели к уменьшению мероприятий и сокращению затрат, направленных на воспроизводство почвенного плодотворения.

родия. Поэтому в настоящее время весьма актуальным является поиск эффективных ускоренных экологически безопасных и экономически выгодных путей восстановления деградированных почв. Одним из таких методов является фитомелиорация, которая основывается на мелиорирующем потенциале самих растений.

В этой связи на орошаемых землях необходимо вводить в севообороты сельскохозяйственные культуры, обладающие хорошими фитомелиоративными свойствами. Наиболее эффективными фитомелиорантами считаются многолетние травы, которые благодаря накоплению органического вещества стабилизируют гумусовое состояние почвы, способствуют улучшению ее водно-физических свойств, снижают интенсивность происходящих эрозийных процессов.

Подбор культур-фитомелиорантов необходимо осуществлять, прежде всего, исходя из основных почвенных показателей, определяющих общее мелиоративное состояние используемых почв. К таким показателям относятся: содержание гумуса, плотность сложения почвенного профиля, смывость и дефлированность, засоленность и солонцеватость почв, глубина залегания грунтовых вод и их минерализация [111].

Результаты исследований по выявлению мелиорирующих способностей растений позволяют рекомендовать к использованию наряду с традиционно соле- и солонцеустойчивыми культурами (люцерна, подсолнечник, сорго, сахарная свекла) нетрадиционные (сильфия, топинамбур, овсяница, козлятник восточный), растения дикорастущей флоры (солодка, кохия, солекорния и другие солеросы).

Для улучшения плодородия орошаемых земель, наряду с люцерной, необходимо расширять площади посева клевера лугового и козлятника восточного, которые могут стать альтернативой люцерне в кормопроизводстве и которые, к тому же, отличаются достаточной зимостойкостью, продуктивностью в течение ряда лет и высоким содержанием протеина.

В севообороте должно быть предусмотрено рациональное использование оросительной воды. Ее сброс (сток) за пределы севооборотной площади не допустим.

При подборе культур в севооборотах необходимо также учитывать водообеспеченность (гидромодуль) оросительной системы. При низком гидромодуле (0,4–0,6 л/с на га) следует размещать такие культуры, которые используют поливную воду в основном весной и летом, с незначительным процентом промежуточных культур. При высоком гидромодуле (более 0,7) приемлемы любые культуры.

В хозяйствах, имеющих площадь орошения до 500 га, наиболее целесообразно выращивать кормовые и овощные культуры, картофель.

Построение севооборотов на действующих оросительных системах должно быть взаимосвязано так же с техническими параметрами поливной сети и дождевальной техники. На ровных и малоуклонных полях наиболее целесообразной является прямоугольная организация полей. Поля на эрозионно опасных склонах необходимо располагать с учетом рельефа местности. Границы севооборота должны совпадать с границами низших природных морфологических частей агроландшафта.

Таким образом, в современных условиях хозяйствования научно обоснованные севообороты являются главным звеном системы орошаемого земледелия. Рациональные севообороты повышают плодородие почв, экономическую эффективность капитальных вложений, обеспечивают производительное использование водных, трудовых технических ресурсов, обеспечивают стабильность мелиорируемого агроландшафта. Орошаемые севообороты должны постоянно совершенствоваться в соответствии с изменением климатических условий, внедрением новых культур и перспективных сортов, изменением технологий орошения и возделывания растений с учетом ресурсосбережения. Совершенствование севооборотов предусматривается осуществлять по следующим направлениям:

- в структуре площадей под кормовые культуры отводить не менее 65 % пашни, в группе кормовых культур около 50 % площадей целесообразно отводить под многолетние травы,
- в условиях орошения для крупных хозяйств применять 5–8-польные севообороты, на малых участках (менее 500 га) и участках местного стока – 2–5-польные севообороты,
- доля однолетних и многолетних трав в севообороте должна быть больше доли пропашных и зерновых,
- сочетание основных, пожнивных и поукосных культур для того, чтобы поле постоянно находилось под укрытием растений,
- введение в севообороты достаточных площадей зернобобовых, крестоцветных и других культур для создания биоразнообразия,
- подбор культур с учетом их фитомелиорирующей способности с целью улучшения условий для произрастания последующих культур и воспроизводства плодородия почвы.

6.3.2 Обработка почв

Агротехнические требования, предъявляемые к качеству обработки почвы, зависят от технологии возделывания сельскохозяйственной культуры. Глубина вспашки зависит от мощности плодородного слоя, особенностей возделывания культуры, засоренности поля, необходимости заделки органических и минеральных удобрений, а также растительных остатков. На орошаемых землях юга России в качестве основной обработки почвы используется отвальная вспашка плугами с предплужниками, которая способствует хорошему крошению почвы, повышает ее водопроницаемость и увеличивает устойчивые запасы влаги, повышает эффективность борьбы с сорняками и вредителями.

Агротехника возделывания яровых зерновых и зернобобовых культур предусматривает основную обработку на глубину 20–22 см, озимых зерно-

вых – на глубину 23–25, пропашных – 25–27 см. Отклонение от установленной глубины вспашки не должно превышать ± 2 см.

Поверхность вспаханного поля должна быть слитной и слабогребнистой.

При основной обработке должны учитываться определенные требования и особенности. Так при вспашке пласта люцерны следует учитывать ее высокую способность к отрастанию. Поэтому дернина предварительно должна быть обработана лемешным луцильником на глубину 8–10 см или тяжелой дисковой бороной на глубину 10–12 см. Надо учитывать, что при ежегодной отвальной вспашке на одинаковую глубину образуется плужная подошва, что ведет к резкому ухудшению водопроницаемости почвы, стоку поливной воды по уплотненной подошве. На таких участках сток поливной воды происходит на 30–40 % интенсивнее, чем при отвальной вспашке на разные глубины.

Доказано, что одним из эффективных приемов рационального использования поливной воды на зерновых культурах, под посев которых была проведена мелкая плоскорезная или поверхностная обработка почвы, а также на посевах многолетних трав, особенно второго и третьего годов использования, является проведение щелевания на глубину 27–30 см. При этом интенсивность впитывания воды усиливается примерно в 2,5–3 раза, при уменьшении стока за пределы поля в 2–3 раза [112].

При работе щелевателя отклонения фактической глубины от заданной не должны превышать ± 2 см. Нарезка щелей проводится с расстоянием 1–2 м в одном направлении или перекрестно. Отклонение фактического межщелевого интервала от заданного не должно превышать ± 3 см. При работе агрегатом высота прищелевого валика не должна отклоняться ± 1 см.

В орошаемом земледелии на тяжелосуглинистых почвах в полевых севооборотах рекомендуется вместо отвальной вспашки периодически проводить плоскорезную и поверхностные обработки. Под озимые и яровые колосовые, используемые на зеленый корм после стерневых предшественников,

под пожнивные и поукосные культуры рекомендуется проводить плоскорезную обработку с оставлением стерни на поверхности.

Плоскорезная обработка должна соответствовать следующим агротехническим требованиям:

- при плоскорезной обработке должно быть качественное крошение почвы. При оптимальной влажности почвы (60–70 % от наименьшей влагоемкости) основную массу должны составлять фракции размером 3–5 см – при мелком рыхлении и 3–10 см – при глубоком,
- обработка без оборота пласта должна проводиться на однородную глубину. При мелкой обработке (8–12 см) средняя глубина рыхления не должна отклоняться от заданной на 2 см, при глубокой – на 4–5 см,
- количество поврежденной стерни за один проход агрегата не должно превышать 10–15 % при поверхностной и 15–20 % для глубокой обработки,
- после обработки поверхность участка должна быть ровной. В местах прохода стоек плоскореза допускается образование бороздок не более 20 см, а в стыке проходов и в стыке лап агрегата – образование валиков высотой не более 5 см.

Освоение энергосберегающих почвозащитных технологий позволяет снизить расход топлива на 18–20 % и увеличить производительность пахотных агрегатов на 30 % [112, 113].

Под кукурузу целесообразно рано весной провести рыхление чизель-культиватором на 16–20 см с прикатыванием, а затем предпосевную культивацию на глубину 8–10 см. Чизелевание в более поздние сроки нецелесообразно, так как оно иссушает верхний слой почвы.

Установлено, что на орошаемых землях междурядную культивацию нужно проводить глубже, чем на неорошаемых, с изменением глубины рыхления по периодам развития растений.

Проведение обработки почвы должно обеспечивать выравнивание поверхности почвы, ликвидацию микрорельефа, окультуривание пахотного слоя, усиление биологической активности и улучшение пищевого режима почв, за-

делку в почву растительных остатков и органоминеральных удобрений.

Таким образом, для эффективного использования ресурсного потенциала длительно орошаемых деградированных почв в состав комплекса агротехнических мер входят: рациональное формирование структуры посевов сельскохозяйственных культур; использование водоохраных приемов обработки почвы, включая щелевание, послеполивное рыхление, в более общем случае – применение почвозащитной, контурно-мелиоративной и полосной систем земледелия [112].

6.3.3 Требования к режимам орошения сельскохозяйственных культур

В основе управления плодородием орошаемого агроландшафта лежит режим орошения сельхозкультур, который не только является лимитирующим фактором и гарантом получения запланированного урожая сельхозкультур, 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 не только на локальном, но и на региональном уровне. 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 др., многолетние исследования ученых РосНИИПМ, ВолжНИИГиМ [106, 114–123] отражают зональные особенности орошаемых почв и указывают на необходимость снижения оросительных норм при осуществлении 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 улуч-

шить 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, включает:

- обеспечение благоприятного водного и пищевого режимов пахотного горизонта почвы,
- предотвращение ухудшения мелиоративной обстановки: подъема уровня грунтовых вод, засоления, осолонцевания,
- предотвращение снижения содержания гумуса в региональных почвах,
- предотвращение разрушения агроструктуры пахотного горизонта почв и их уплотнения,
- предотвращение загрязнения почвогрунта, грунтовых вод и водоисточников нитратами, тяжелыми металлами, радионуклидами и пестицидами,
- предотвращение неблагоприятного изменения pH почвенного раствора.

Экологически обоснованный режим орошения сельскохозяйственных культур должен обеспечивать повышение производительности земледелия, получение агро-эколого-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. В настоящее же время неконтролируемость поливных норм может приводить к резкому ухудшению мелиоративного состояния и плодородия почв. С этой точки зрения необходимо применение дифференцированных режимов орошения с учетом биологических особенностей сельскохозяйственных культур, почвен-

ных 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 [124].

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 т. п.,
- 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 т. п.,
- качественный уровень оперативного планирования орошения и управления им (от которых зависит 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 средняя интенсивность дождя будет 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 достоковой 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 следующие:

- 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, с 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 (что в большей степени проявляется в начале и в конце вегетации), оптимизации объема поданной ороси-

тельной 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 % от 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 величин поливных норм до 200–350 м³ на 1 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 влагозарядочных поливов на черноземных почвах, а при необходимости (в засушливый период) замена их на предпосевные поливы невысокой нормой (например, под озимую пшеницу или весной под кукурузу), рассчитанные лишь на увлажнение пахотного слоя почвы до 80–85 % НВ.

Методики оценки воздействия различных элементов системы поливов на почвенное плодородие должны базироваться на предложенной системе требований и ограничений и быть направлены на предупреждение ухудшения состояния почвенного плодородия и мелиоративной обстановки.

6.4 Требования к агрохимическим мероприятиям

Система удобрений призвана обеспечить растения доступными элементами питания для формирования планируемого уровня урожайности культур и требуемого качества продукции, сохранение и воспроизводство почвенного плодородия, а также экологическую безвредность производства продукции растениеводства на поливных землях.

Изменения природно-техногенных процессов, протекающих в длительно орошаемых почвах, часто вызываются побочными эффектами внесения удобрений, что необходимо учитывать при проектировании систем внесения удобрений. Например, внесение калийных (хлорсодержащих) удобрений усиливает процессы засоления почв. Причем, органические и минеральные удобрения оказывают различное воздействие на протекающие в почвенном субстрате природно-техногенные процессы (см. таблицу 1 раздела 5).

Преимущественно система удобрений в полях орошаемого севооборота должна быть комплексной (органоминеральной), предусматривающей внесение органических и минеральных форм удобрений.

Основными задачами, которые необходимо решать на основе использования научно обоснованных доз удобрений, являются:

- обеспечение формирования действительно возможного в конкретных почвенно-климатических условиях уровня урожайности сельскохозяйственных культур,
- выравнивание гумусированности и эффективного плодородия орошаемых почв по содержанию основных макроэлементов питания на уровне оптимальных (фоновых) значений.

Механизмом, обеспечивающим решение этих требований, является определение доз удобрений на основе прогнозного ротационного баланса, детерминированного в зависимости от гумусированности и уровня эффективного плодородия по обеспеченности доступными элементами питания почвы орошаемого участка.

Результатом действия этого механизма должно стать поддержание гумусированности и обеспеченности основными элементами питания на уровне оптимальных значений, не допуская как снижение обеспеченности элементами питания ниже оптимального уровня, так и значительного его превышения.

6.4.1 Требования к системе минеральных удобрений

Воздействие на протекающие в почве природно-техногенные процессы минеральных удобрений зависит от их химического состава, а также кислотности (либо щелочности). Поэтому при выборе для внесения конкретного вида минерального удобрения необходимо учитывать агромелиоративные свойства орошаемого поля, биологию возделываемых культур. В этой связи мы считаем агроэкологически целесообразным применение в большинстве случаев комплексных минеральных удобрений, так как с их помощью возможно точно возместить потребность растений в элементах питания и добиться выравнивания эффективного плодородия почв.

Важно отметить, что с современной экологической точки зрения внесение любых минеральных удобрений оказывает отрицательное воздействие на большинство протекающих в почве процессов, но является пока что в большинстве случаев единственным средством возместить вынос элементов питания с урожаем сельскохозяйственных культур. Кроме этого, с помощью минеральных удобрений можно добиться выравнивания содержания подвижных форм азота, фосфора и калия в почве на агро-эколого-экономически оптимальном уровне.

Для более точной оценки воздействия на плодородие минеральных удобрений необходимо производить ее для конкретных видов и сортов. Надо учитывать не только химический состав основного элемента удобрения, но и возможные загрязнители. Так, для большинства фосфорных удобрений характерно наличие в них радионуклидов и тяжелых металлов, но оно особенно велико в отходах химической промышленности (шлаках). Нередко в качестве

калийного удобрения применяется калий хлористый – электролит отработанный, в котором возможно повышенное содержание тяжелых металлов, например, свинца.

На сохранение экологического равновесия на орошаемых землях и повышение их плодородия большое влияние оказывают такие свойства минеральных удобрений, как их способность изменять реакцию почвенного раствора, вызывать засоление, а также содержание в их балласте вредных веществ, в первую очередь тяжелых металлов. Поэтому применение тех или других видов минеральных удобрений должно быть дифференцированным. При нежелательном, например, подкислении почвенного раствора необходимо или применять неподкисляющие удобрения, или, в случае их отсутствия, использовать нейтрализующие вещества. При опасности загрязнения почвы тяжелыми металлами выше предельно-допустимых концентраций (ПДК) следует отказаться от удобрений, содержащих их в своем составе.

Нормы удобрений – важнейшая количественная характеристика, от правильной экспериментальной обоснованности которой зависит успешное решение стоящих перед системой удобрений задач. Они должны обеспечивать растения полевых культур доступными элементами питания в количествах, необходимых для формирования продуктивности посевов заданного уровня и качества продукции растениеводства. Не менее важно, чтобы нормы удобрений обеспечивали сохранение и расширенное воспроизводство почвенного плодородия, а также его выравнивание на уровне оптимальных значений. Определение доз удобрений на основе учета потребности растений в элементах питания для получения определенного уровня урожайности и их активного баланса в системе «почва – растение – удобрение» проводится с использованием расчетных методов.

Балансовый метод по выносу питательных веществ растениями на основе коэффициентов возмещения обеспечивает расчет доз, при использовании которых решается как задача получения планируемой урожайности, так, в значительной степени, и выравнивание почвенного плодородия на уровне

оптимальных значений. Этот метод предлагается в качестве основного для использования на орошаемых землях [8, 125].

Дозы удобрений, необходимые для формирования урожайности заданного уровня, определяются на основе расходов элементов питания на построение единицы товарной продукции, которые изменяются в зависимости от условий выращивания и используемых сортов. При благоприятных условиях выращивания (высокопродуктивные сорта, рациональный режим орошения и система удобрений, отсутствие болезней, вредителей, сорняков, полегания) расход элементов питания на единицу товарной продукции культуры уменьшается, при неблагоприятных (экстенсивный сорт, плохой посевной материал, нерациональный режим орошения и питания, засоренность посевов, поражение болезнями и вредителями, полегание) – увеличивается.

Дозы удобрений необходимо строго дифференцировать от задаваемого (планируемого) уровня урожайности.

Уровень задаваемой урожайности будет зависеть и от особенностей других подсистем системы земледелия на мелиорированных землях – сорта, обработки почвы, системы защиты от вредных объектов и других.

Для сохранения плодородия почв и его выравнивания на уровне оптимальных значений, учитывая поступление элементов питания с пожнивными корневыми остатками (приложение Р) и последствие вносимых в севообороте органических удобрений, дозы удобрений под полевые орошаемые культуры должны быть следующими:

- дозы азотных удобрений – при низкой обеспеченности почв азотом должны возмещать вынос на 90–100 %, при средней степени обеспеченности – на 80–90 %, при высокой и очень высокой – на 60–80 %,

- дозы фосфорных удобрений – при низкой обеспеченности подвижным фосфором должны составлять 150 %, при средней – 125–150, при достаточной – 100–125, при высокой – 95–100 и очень высокой 50–75 % его выноса с планируемым урожаем,

- дозы калийных удобрений – при низкой обеспеченности почв под-

вижным калием составляет 120–125 %, при средней – 100–125 %, при достаточной 60–100 %, высокой – 40–60 % и очень высокой – 20–40 % выноса этого элемента планируемым урожаем (приложение С).

Система удобрений для многолетних севооборотов, применяемых в коллективных хозяйствах с большой площадью орошаемой пашни, складывается из системы удобрений под отдельные культуры, входящие в севооборот. При этом для системы удобрений всего севооборота сохраняются неизменными принципы необходимости обеспечения возделываемых в севообороте культур необходимым количеством элементов питания с целью выхода на заданный уровень продуктивности единицы севооборотной площади; выравнивание на уровне оптимальных значений почвенного плодородия в течение одной или нескольких ротаций.

Доза удобрений, обеспечивающая формирование планируемого уровня урожайности и качества продукции исходя из закономерностей потребления элементов питания, вносится в сроки, соответствующие началу максимального периода их потребления.

Из минеральных форм на орошаемых землях целесообразно широко использовать как твердые удобрения, так и жидкие.

Из минеральных удобрений при использовании твердых форм под основную обработку почвы полностью вносятся фосфорные и чаще всего калийные удобрения. Из общей дозы азотных удобрений под основную обработку вносятся 50 или 75 %, остальная их часть используется для проведения подкормок в течение вегетации, цель которых повышение качества продукции и снижение загрязнения почвы, грунтовых вод и водных источников. Подкормки вносятся с учетом результатов почвенной и особенно растительной диагностики, под многоукосные культуры (люцерна, суданская трава на сено и зеленый корм) общая доза удобрений для обеспечения равномерного питания отавы после всех укосов делится на несколько поукосных.

Из свойств минеральных удобрений на кратность внесения в наибольшей степени влияет их растворимость. На почвах легкого гранулометриче-

ского состава возрастает необходимость более дробного внесения, особенно легкорастворимых форм. Естественно, что при увеличении кратности внесения удобрений возрастают экономические затраты, которые выступают одним из факторов, ограничивающих число сроков внесения. К ним относятся также и способы внесения.

Кратность, сроки, способы внесения удобрений в малопольных севооборотах и бессменных посевах практически ничем не отличаются от используемых в многопольных севооборотах. При дальнейшей дифференциации на продукцию растениеводства в зависимости от ее качества значительно возрастает значение подкормок вегетирующих растений, если получаемая прибыль позволит производить затраты на тканевую и листовую диагностику и технологические операции по проведению подкормок.

При использовании наземных разбрасывателей внесение удобрений ограничивается только периодом, когда поле не занято посевом культур, или, когда их продвижение по полю с вегетирующими растениями не наносит последним заметного вреда. При фертигации эта проблема полностью снимается – с поливной водой можно вносить удобрения в течение всей вегетации.

Уровень урожайности и его качество (с учетом их снижения при бессменном возделывании культур) могут быть достигнуты в основном с помощью использования минеральных удобрений.

В целом, удовлетворение потребности растений в элементах питания для получения планируемого хозяйством экономически целесообразного уровня урожайности должно стать основой стратегии использования минеральных удобрений при их дефиците и дороговизне, суть которой следующая:

- при дефиците и дороговизне минеральных удобрений их следует вносить требуемой нормой на ограниченной площади, прежде всего под культуры, обеспечивающие наибольшую их окупаемость (озимая пшеница, кукуруза на силос и зерно), а не рассредоточивать их по всей орошаемой пашне,

- минеральные удобрения нецелесообразно вносить на полях с очень низкой обеспеченностью почвы элементами питания, так как получить на

них высокий урожай даже при значительных прибавках от удобрений невозможно,

- в связи с тем, что бессменное возделывание зерновых повышает кислотность почвы, применение минеральных удобрений, подкисляющих почвы, должно быть ограничено, или вместе с ними необходимо вносить нейтрализующие вещества,

- минеральные удобрения можно не вносить на полях с высоким и очень высоким эффективным плодородием, где большая урожайность может быть получена за счет резервов почвы, но при этом надо вести контроль за изменением содержания питательных веществ в ней, чтобы не допустить чрезмерного ее истощения,

- на полях, где по уровню эффективного плодородия требуется применение минеральных удобрений, первоочередно они должны вноситься под культуры, обеспечивающие наибольшую их окупаемость.

6.4.2 Требования к системе органических удобрений

Сохранение почвенного плодородия и экологического состояния орошаемых земель требует более значительного использования органических удобрений.

Навоз крупного рогатого скота (КРС) является основным видом органических удобрений, применяемым в настоящее время в Российской Федерации и, конкретно, в орошаемых агроландшафтах. При оценке воздействия на плодородие орошаемых почв органических удобрений (навоза КРС на соломенной подстилке) необходимо учитывать степень его перепрелости, либо точно определять содержание в нем элементов питания растений. Приводимые в большинстве источников данные о содержании подвижных форм азота, фосфора и калия в навозе КРС являются очень осредненными и лишь условно могут использоваться в определении необходимых доз органических удобрений. Содержание элементов питания в навозе КРС напрямую и очень

сильно зависит от степени его перепрелости. Так, по данным ВолжНИИГиМ, содержание подвижных форм азота, фосфора и калия составило соответственно в свежем навозе 0,09 %, 0,10 % и 0,25 %, а в перегнившем – 0,98 %, 0,58 % и 1,78 % для одной и той же фермы [8, 126]. Поэтому, при неравномерном либо избыточном внесении сильно перегнившего навоза КРС повышается вероятность загрязнения почвогрунтов нитратами, что необходимо учитывать при оценке воздействия внесения органических удобрений на плодородие почв. Другие виды органических удобрений требуют дополнительной обработки.

Органические удобрения вносятся преимущественно под основную обработку почвы.

Многokратно возрастающая роль органических удобрений и прежде всего высококачественного навоза в системе удобрений, используемых в индивидуальных хозяйствах, связана с тем, что при бессменном возделывании зерновых культур потери гумуса из почвы значительно больше, чем в севообороте. Кроме того, на всех бессменных посевах отмечена токсичность почвы. Основной путь ее ликвидации – повышение биогенности почвы. Это возможно: в малопольных севооборотах – введением бобовых культур, чередованием культур на основе плодосмена, применением органических удобрений; в бессменных посевах – применением органических удобрений, в том числе сидеральных.

Значение органических удобрений в малопольных севооборотах и бессменных посевах выше, чем на многопольных. На первых порах необходимо придерживаться правила неприменения низких доз органических удобрений, чтобы не получить нежелательное снижение содержания гумуса от их внесения.

Использование навоза ограничено его производством в орошаемых хозяйствах и экономической целесообразностью внесения на полях, сильно удаленных от навозохранилищ. В этих случаях навоз следует заменять сидеральными удобрениями.

Таким образом, для снижения непроизводительных потерь питатель-

ных веществ из почвы, устранения возможного отрицательного влияния удобрений на окружающую среду и плодородие орошаемых почв необходимо соблюдать следующие агротехнические требования [8, 127, 128]:

- доза не должна превышать потребности культуры с учетом типа почвы. Высокие дозы удобрений, особенно азотных, нужно вносить дробно,
- приближать срок внесения удобрений к моменту потребления их растениями. В течение всего периода вегетации важно поддерживать сбалансированный тип минерального питания с учетом различий в потребности растений на разных фазах развития,
- снижать выщелачивание удобрений, особенно азотных, за счет глубокой заделки их осенью, локального и ленточного внесения в почву при подкормках,
- использовать медленнодействующие капсулированные удобрения (МФУ), ингибиторы нитрификации. Естественные органические удобрения (навоз, торф, компосты, биомасса сидератов и т. д.) могут рассматриваться так же, как медленнодействующие комплексные удобрения,
- совместно вносить минеральные и органические удобрения (навоз, солому, сидераты), что способствует биологическому закреплению азота в почве и более рациональному его использованию. Установлено, что при этом улучшается структурное состояние почв, повышается водопроницаемость, а следовательно, не допускается смыв внесенных удобрений в водные источники. Для условий орошения необходимы удобрения со структурообразующими добавками,
- на орошаемых землях поддерживать оптимальную влажность почвы, так как при обильных поливах будет происходить вынос питательных веществ за пределы корнеобитаемого слоя. При иссушении почвы резко снижается эффект от удобрения, нарушается ход синтеза белка и происходит накопление нитратов в растительной продукции. Возделывание люцерны снижает возможность проникновения нитратов в грунтовые воды, так как глубокая корневая система их перехватывает,

- там, где природные условия способствуют вымыванию из почв большого количества нитратов, севообороты необходимо насыщать промежуточными культурами, вводить в их состав растения, поглощающие много азота (кукуруза, подсолнечник, суданская трава),
- недопустимо вносить твердые и жидкие удобрения в открытую оросительную сеть и вододелительные узлы,
- при возделывании культур в прифермских севооборотах их потребность в питательных веществах можно удовлетворять внесением навоза. Однако при возникновении азотного голодания следует проводить азотные подкормки,
- необходимо внесение навоза на старопахотных орошаемых участках с пониженным содержанием доступных форм фосфора и калия, обеспечивающих наибольшую окупаемость.

Применение удобрений в условиях орошения самым тесным образом связано с комплексом агротехнологических мероприятий. Только при высокой культуре земледелия удобрения являются важным фактором повышения урожайности и качества сельскохозяйственных культур, высокой экономической эффективности производства сельскохозяйственной продукции при сохранении почвенного плодородия длительно орошаемых земель.

6.4.3 Требования к системе защиты растений

Научное обеспечение экологизации защиты растений заключается, в основном, в расширении исследований по выявлению особенностей саморегуляции численности вредных и полезных видов в агробиогеоценозах, углубленного изучения и количественной оценки параметров биоценотических процессов в агроценозе – фитофагии, энтомофагии, эпифитотических вспышек и конкуренции между культурными растениями и сорняками. Цель системы защиты полевых культур от болезней, вредителей, сорняков – управление численностью вредных объектов, обеспечивающее достижение заданных

технико-экологических показаний [129].

Современная концепция фитосанитарного контроля агроэкосистем, имея своей целью обеспечение урожая требуемого качества при снижении затрат на его производство и уменьшении отрицательного воздействия на окружающую среду, связывает в единое целое использование устойчивых сортов, адаптированных технологических приемов, методов биологической борьбы с вредными организмами и сводит применение химических средств защиты растений к минимуму. Эта стратегия определяет необходимость системного подхода и связывает экологические требования защиты внешней среды с экономическими целями растениеводства.

Основой систем защиты растений от вредителей, болезней и сорняков должны служить, прежде всего, организационно-хозяйственные и агротехнические приемы, способствующие оптимизации фитосанитарной ситуации в посевах, которые при необходимости снижения вредоносности вредных видов можно дополнять различными биологическими и химическими методами.

В комплексе защитных мероприятий ведущее место принадлежит агротехническому методу, использующему такие приемы, которые позволяют создать благоприятные условия для роста и развития культур и в тоже время обеспечить ликвидацию массового размножения вредных организмов или вызвать депрессию в их развитии.

Большинство агротехнических приемов не требуют специальных затрат. Правильное чередование культур в севообороте, оптимальный способ обработки почвы, а также сочетание разных видов удобрений, сроки, способы посева и нормы высева, приема ухода за культурами после посева дают возможность снижать численность вредных организмов, уменьшать их вредоносность, способствовать повышению урожая.

Химический способ борьбы с вредителями и болезнями культурных растений включает химические вещества пестициды, которые разделяются на следующие группы: инсектициды, фунгициды, гербициды и дефолианты. Инсектициды применяют при уничтожении вредных насекомых, фунгици-

ды – при борьбе с болезнями растений, гербициды – для борьбы с сорными растениями, дефолианты – для освобождения от листьев.

Для снижения экологического вреда при использовании в системе защиты полевых культур от вредных объектов химического метода необходимо применять менее токсичные препараты с возможно более коротким периодом распада, не обладающих канцерогенными свойствами. Применять пестициды необходимо при развитии вредных объектов до уровня экологического порога их вредоносности, используя при этом только способы, не наносящие вреда полезной флоре, фауне, водным источникам, человеку. Необходимо строгое соблюдение норм внесения пестицидов и инструкций по соблюдению техники безопасности работы с ними. Не должны нарушаться зоны, в которых введен запрет на использование пестицидов. В чистоте должны содержаться приканальные и придорожные зоны.

На засоренных полях, особенно многолетними, трудноискоренимыми сорняками, применяются комплексные методы борьбы с использованием гербицидов. Применение гербицидов в орошаемых севооборотах должно носить системный характер. При обработке посевов следует учитывать особенности работы с химическими препаратами. Применение гербицидов оправдано, если засоренность вызывает потери больше, чем затраты на их применение.

Необходимо точно диагностировать состав сорной флоры, что позволит действовать целенаправленно – не следует обрабатывать посевы, которые пострадали от морозов, в засушливый период; применять гербициды с одним и тем же действующим веществом. Норму расхода препарата следует корректировать применительно к видовому составу сорняков, фазе их роста [130].

При использовании пестицидов должны выполняться следующие агротехнические требования [129]:

- обработку почвы и посевов ядохимикатами проводят в сжатые агротехнические сроки,
- расход рабочей жидкости на единицу обрабатываемой площади дол-

жен быть постоянным на все время работы, а сама жидкость должна быть однородной по составу,

- отклонение концентрации рабочей жидкости от заданной должно быть в пределах +5 %,

- распыляющие устройства должны обеспечивать равномерное распределение рабочей жидкости и порошка по обрабатываемому участку с заданной нормой,

- отклонение расхода жидкости отдельными распылителями штангового опрыскивателя в процессе работы не должно превышать 5 %,

- механические повреждения растений при опрыскивании допускаются в пределах 1 %,

- скорость передвижения агрегатов во время опрыскивания должна быть в пределах 4–10 км/ч,

- рекомендуется опрыскивать посеы при скорости ветра не более 5 м/с, а опылять – не более 3 м/с при температуре воздуха не более 23 °С,

- рабочие органы машин должны иметь устойчивость к действию на них ядохимикатов.

Протравливание семян должно соответствовать следующим агротехническим требованиям:

- протравливание сухих семян осуществляют за месяц-два до посева, при этом расход химических препаратов на обработку семян сокращается примерно на 25 % по сравнению с их обработкой в период посева, при влажности семян свыше 15 % протравливание производят за 2–3 дня до посева,

- покрывают семена препаратом полностью и равномерно, при этом процесс должен быть стабильным, обеспечивающим заданную норму расхода суспензии,

- травмирование семян при следовании через протравливатели не должно быть более 0,1 %.

К настоящему времени отказываться от использования пестицидов еще нельзя. Поэтому при применении химических средств защиты растений особое внимание необходимо уделить организационно-хозяйственным мероприятиям.

Для работы с химикатами в хозяйстве должны быть организованы постоянные звенья, личный состав которых ежегодно проходит специальное обучение по технологии работ.

На посевах всех культур севооборотов должны проводиться систематические обследования полей с целью развития болезней, вредителей, сорняков, составляться карты засоряемости полей, разрабатываться прогнозы развития вредных объектов, планироваться система защиты от них, обеспечиваться технологическая дисциплина при ее реализации и соблюдаться необходимая пространственная изоляция посевов.

Биологический способ защиты растений от вредителей, болезней и сорной растительности предусматривает использование полезных организмов (бактерий, вирусов, насекомых, грибных биопрепаратов).

Биологические методы защиты растений включают различные меры по снижению численности вредителей до не влияющих на урожай значений. Они состоят в поддержании численности природных энтомофагов, искусственном наращивании их численности, применении энтомопатогенов [130].

Таким образом, совершенствование защиты растений на современном этапе развития предусматривает широкое применение системного подхода, основанного на организационно-технологических и биологических методах с ограниченно-необходимым применением химических средств защиты растений. Обеспечение стабильного фитосанитарного состояния агроэкосистем, в частности, средствами защиты растений в современных экономических условиях целесообразнее вести не столько через внедрение самостоятельных систем интегрированной защиты растений, сколько путем перехода к конкретной агрофитосанитарии – поддержанию фитосанитарного здоровья агроэкосистем и защиты растений в технологии выращивания культур с учетом местных условий.

Структура интегрированной системы защиты от болезней, вредителей, сорных растений должна соответствовать почвенно-климатическим условиям места расположения орошаемого севооборотного участка и отдельных его

полей, определяющих видовой и количественный состав вредных объектов. Эти требования соответствуют сущности и задачам адаптивно-ландшафтных систем земледелия, направленных на создание благоприятных условий для культурных растений и подавление вредных организмов.

7 Комплекс агромелиоративных мероприятий по восстановлению почвенного плодородия длительно орошаемых земель

7.1 Оптимизация уровня грунтовых вод

Эффективность орошения определяется техническим состоянием оросительных систем. Но в России и в странах ближнего зарубежья большая часть каналов различного уровня располагается в земляном русле и без наличия хорошо функционирующей коллекторно-дренажной сети способствует поднятию грунтовых вод, часто минерализованных, к поверхности. В результате чего происходит не только переувлажнение орошаемых массивов, но и засоление и осолонцевание почв [131–134]. Пополнению грунтовых вод и их поднятию к поверхностным слоям способствуют несовершенные технологии орошения сельскохозяйственных культур.

Для сохранения плодородия длительно орошаемых почв, в первую очередь необходимо создать такие условия, при которых не происходило бы подъема грунтовых вод. Но, 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 эколого-мелиоративного состояния агроландшафтов [17, 135]. Для сдерживания поднятия грунтовых вод к поверхности на орошаемых агроландшафтах необходимо создавать и поддерживать допустимые нормативы водопользования (таблица 44). Следует отметить, что величина инфильтрационного питания грунтовых вод не должна превышать: для степной зоны 10 % от оросительной нормы; для сухостепной – 15 %; для полупустынной – 20–25 %. Пределом допустимости может служить отклонение от указанных значений в 1,5 раза [136].

Таблица 44 – Экологически допустимые нормативы водопользования
в различных природно-географических зонах [101, 105, 137]

Природно-географическая зона	Экологически благоприятная оросительная норма, мм	Экологически допустимое значение			
		ирригационного питания грунтовых вод*	инфильтрационного питания*	коэффициент дренированности территории	УГВ, м
Лесостепная	60–100	0,08–0,1	0,25–0,5	0,68–0,95	4–5
Степная	130–275	0,1–0,15	0,05–0,08	0,73–0,93	5–7
Сухостепная	350–550	0,20–0,25	0,08–0,013	0,85–0,91	3–5
Полупустынная	600–880	0,25–0,50	0,013–0,20	0,87–0,80	2,5–3

Примечание – * – От площади сельхозугодий.

Для создания экологически безопасных мелиоративных систем с уровнем грунтовых вод ниже критической глубины требуется минимизировать антропогенную нагрузку и оптимизировать их размеры. Они различаются по природно-географическим зонам: в лесостепной зоне – 2–3 тыс. га, в степной – 5–6, сухостепной – 10–30, а в полупустынной допускается более 50 тыс. га. Также немаловажно придерживаться пределов регулирования влажности корнеобитаемого слоя почвы, которые для лесостепной зоны находятся в долях 0,7–0,9 от наименьшей влагоемкости (НВ), в степной – 0,65–0,8, сухостепной – 0,7–0,85, в полупустынной – 0,7–0,9 от НВ.

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 недопущения переполивов при возделывании сельскохозяйственных культур.

Каналы и оросители 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 [138, 139].

В первую очередь к ним следует отнести геосинтетические материалы: геомембраны, геотекстили, геокомпози́ты, георешетки, геосетки, бентоматы, габионы, которые в различных сочетаниях позволяют создать противофильтрационные конструкции и способы их укладки, практически обеспечивающие повышение КПД каналов до 0,97–0,98.

Критерием для оценки и выбора противофильтрационных мероприятий служит слой воды, теряемый из канала через смоченный периметр в течение суток. Если из канала теряется слой воды более 30 см, то необходимо осуществить противофильтрационные мероприятия, а если 5–10 см – канал работает удовлетворительно. При этом каналы или отдельные отрезки, имеющие слабо фильтрующие грунты, устойчивые к размыву и к 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 дает возможность автоматизировать распределение воды по орошаемой площади, повышает коэффициент земельного использования, не мешает 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 по материалу могут быть цементные, железобетонные, полимерные, стальные, металлобетонные, чугунные [140].

Таким образом, для создания «эталонной» оросительной системы необходимо придерживаться основных положений [141]:

- противофильтрационные 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.

Коллекторно-дренажная сеть – это та часть оросительной системы, которая поддерживает необходимый уровень грунтовых вод, создает нисходящие токи в почве, перехватывает напорный (восходящий) поток грунтовых вод и отводит воду с орошаемых земель [142].

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

Дренажи различают по продолжительности действия, по расположению на территории и по конструкции (типу).

По продолжительности действия различают дренажи постоянный и временный. Постоянный дренаж проектируется для всего срока эксплуатации системы на среднегодовую интенсивность отвода подземных вод в год расчетной обеспеченности орошения.

В период освоения засоленных земель в течение 1–3 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 этим его разделяют на систематический и ограждающий.

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

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

Существует 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, включающие глубину, междренное расстояние, ширину по дну, величину 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) является более эффективным. Открытый горизонтальный дренаж является более простым. 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 % их строительной стоимости,
- большие трудности для работы сельскохозяйственной техники.

Для устранения этих недостатков строят закрытый горизонтальный дренаж. При его устройстве закладываются на определенной глубине и расстояниях 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 от 6 до 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 с 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 и мощностью 15 м, подстилаемых песками с Кф – 0,65 м/сут, междренные расстояния должны составлять более 800 м [143].

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

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

Вертикальный дренаж, по сравнению с горизонтальным, имеет ряд преимуществ, а именно:

- не теряется полезная орошаемая площадь. При горизонтальном дренаже эти потери составляют 6–10 %,
- обеспечивает понижение грунтовых вод на значительно большую глубину и с большей скоростью понижения, чем горизонтальный,
- при вертикальном дренаже не происходит периодического подъема грунтовых вод, что способствует сохранению автоморфного процесса почвообразования,
- вертикальный дренаж с точки зрения эксплуатации более совершенен. Он полностью механизирован, а его эксплуатация автомеханизирована.

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 – это система горизонтальных (открытых или закрытых) дрен с вертикальными скважинами. Его применяют, когда один из дренажей не может обеспечить требуемого перехвата подземных вод. Если горизонтальная дрена располагается в слабопроницаемых отложениях и работа ее оказывается неэффективной, также применяют комбинированный дренаж.

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

На орошаемых землях возможно применение лучевого дренажа, представляющего собой шахтный колодец большого диаметра с горизонтальными лучами-дренами. Вода из колодца откачивается насосами. Такой вид дренажа применяется на участках, где покровные слабопроницаемые грунты имеют мощность более 5 м, а подстилающий водоносный пласт – малую мощность и водопроводимость. В таких условиях применение других типов дренажа малоэффективно.

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

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

Срок действия гидромелиоративных мероприятий следует определить до момента вывода из эксплуатации и списания всех элементов и/или частей гидромелиоративной сети,

Для устранения негативных почвенных процессов, возникающих при длительном орошении и при невозможности осуществления соответствующих мелиоративных мероприятий, применяется биологический дренаж (биодренаж). Биодренаж – естественный растительный покров, состоящий из древесных пород и сельскохозяйственных культур, обладающих высокой 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 междоузельных 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 лесона-

саждений можно использовать плодовые насаждения (абрикос, вишня, черешня), которые ежегодно могут приносить дополнительный доход [144].

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

В зависимости от возраста, глубины залегания грунтовых вод, гранулометрического состава почвы, густоты посева люцерна за вегетационный период потребляет 4–20 тыс. м³/га воды. При этом доля грунтовых вод составляет 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 [145]. 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 [146]. Лесные культуры, потребляя фильтрующуюся 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 [146]. Влага увлажняемого слоя, не превышающая влажности наименьшей влагоемкости, расходуется сельскохозяйственными культурами.

В разных зонах увлажнения формируются различные типы и виды почв. Это предопределяет образование зонального ряда почв, который во многом зависит от климатических условий. Прежде всего, это осадки, температура, испарение, гидротермический коэффициент. Так в зоне с коэффициентом увлажнения ($K_u = 0,8–1,1$ – лесостепная зона) сформировались серые лесные почвы, черноземы выщелоченные и типичные. В степной зоне ($K_u = 0,55–1,0$) – черноземы обыкновенные и южные, в сухостепной зоне ($K_u = 0,31–0,40$) – темно-каштановые, каштановые, светло-каштановые почвы, а в полупустынной зоне ($K_u < 0,3$) – бурые полупустынные почвы.

При разработке режимов орошения сельскохозяйственных культур, в первую очередь внимание уделяется потребности их в тепле и воде для получения высокой урожайности, но при этом не учитывается реакция почв на переполив при таких нормах. Отсюда, по данным ученых, применение регулярного орошения, т. е. поливы, осуществляемые ежегодно оросительными нормами по потребности культуры (биологические оптимальные оросительные нормы – БООН) приводят к ухудшению свойств почв и снижению плодородия [147–152].

Орошение сельскохозяйственных культур должно проводиться так, чтобы было комфортно не только растению, но и почве. На настоящий момент кроме биологической водопотребности культур, определяемой БООН, стали появляться понятия «почвенно-мелиоративной водопотребности агроландшафтов», «экологической водопотребности сельскохозяйственных угодий». Они формулируются как благоприятные оросительные нормы (БОН) [153], экологически благоприятные оросительные нормы для почв (ЭБОНП) [154], экологически благоприятные оросительные нормы для ландшафтов (ЭБОНЛ) [155], оросительные нормы, обеспечивающие мелиоративное благополучие орошаемых земель. Эти экологические нормы для различных типов почв представлены в таблице 45.

Таблица 45 – Экологические благоприятные оросительные нормы для различных типов почв

Зона	Почва	БООН, мм [153]	БОНП, мм [154]	ЭБОНЛ, мм [155]	ЭНВП, мм [156]
1	2	3	4	5	6
Лесостепная	Серая лесная тяжелосуглинистая	60–100	80–120	100–200	60–63
	Чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый		110–150		87–93
	Чернозем типичный тяжело- и легкосуглинистый		120–170		104–120
Степная	Чернозем обыкновенный тяжело- и легкосуглинистый	130–270	160–200	200–250	150–180
	Чернозем южный тяжело- и легкосуглинистый		400–450		200–250

Продолжение таблицы 45

1	2	3	4	5	6
Сухо- степная	Темно-каштановая, каштановая, светло-каштановая тяжелосуглинистая	400–590	600–650	300–450	240–320
Полупустынная	Светло-каштановая Бурая полупустынная суглинистая	500–670	700–800	400–600	380–550

Опыты, проведенные авторами по снижению БООН на 20 и 40 % по сравнению с оптимальной нормой для культуры, показали, что при их уменьшении на 20 % урожайность возделываемых культур уменьшалась всего на 7 %, но почвы практически сохранили свое плодородие [78]. Экономические расчеты указали на целесообразность снижения поливных норм на 20 %, а снижение норм на 40 % недопустимо.

7.2 Почвенные мелиорации

Длительное орошение может привести к возникновению негативных почвенных процессов – осолонцеванию, дегумификации, денитрификации, ощелачиванию, засолению, уплотнению почв и др. [122, 157]. 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.

7.2.1 Мелиоративные вспашки

Одним из звеньев в комплексе мероприятий по мелиорации являются глубокие мелиоративные вспашки, включающие мелиоративные обработки и глубокие рыхления. На солонцовых почвах были 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 прямо 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 почвы 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 [158].

Глубокие обработки способствуют увеличению общей порозности, улучшению водного и воздушного режима почвы и 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 применяется на глубоких и средних солонцах, на которых при обработке 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 гипса в слое 0–40 см более 0,3 %.

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 – прием самомелиорации нецелесообразен.

В зависимости от количества кальциевых солей, необходимых для вовлечения в пахотный слой для устранения обменного натрия, устанавливается глубина мелиоративных обработок.

На солонцовых комплексах, где преобладают солонцы с глубоким залеганием карбонатов кальция или гипса, или при их отсутствии, рыхление проводят на такую глубину, чтобы разрыхлить весь уплотненный горизонт (45–50 см). Используются плуги с почвоуглубителями, плоскорезы-глубокорыхлители, ярусные плуги со снятыми отвалами и промежуточными корпусами.

Мелиоративные вспашки проводятся при достижении почвой влажности, соответствующей физической спелости (60–65 % НВ).

Глубокое рыхление проводят 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 и плотность сложения в слое 0,6 м более 1,45 т/м³ у малогумусных и 1,30 т/м³ у высокогумусных почв; содержание глинистых частиц более 50 %; коэффициент фильтрации 0,1 м/сутки и менее [159, 160].

Отмечено положительное влияние глубокого рыхления на показатели орошаемых солонцовых почв [161, 162].

Глубокое рыхление целесообразно применять одновременно с предпосевными или весенними обработками при возделывании риса, многолетних трав и культур позднего сева на тяжелых глинистых почвах. Осенние обработки следует проводить на почвах, требующих проведения дополнительных агроприемов (химической мелиорации, промывок). Этот метод получил наименование комплексной мелиорации.

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, степени перемешивания карбонатного и солонцового горизонтов.

7.2.2 Химическая мелиорация

Химическая мелиорация нацелена на коренное улучшение мало- и неплодородных земель, которые на территории России занимают большие площади. На юге нашей страны проводится орошение и устраняются солонцеватость, щелочность и засоление почв. На севере, наоборот, осушаются переувлажненные земли, и ведется борьба с вредной кислотностью почв [101, 163–166].

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 располагается в зоне черноземов, а основные их площади находятся 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

ощелачивания, дегумификации, переуплотнения, которые можно устранить, используя химический способ мелиорации. При этом солонцовые почвы формируются с различным типом засоления, а именно: нейтральным, содовым и смешанным. Следует отметить, что при увеличении в ППК доли магния, он также как и натрий 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 степени солонцеватости почвы подразделяются на несолонцеватые, слабо-, средне- и сильносолонцеватые.

По химизму (типу) засоления солонцовые почвы подразделяются 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 поглощенного 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 используются, в основном, глиногипс, сыромолотый гипс, фосфогипс.

В почвах содового засоления растворимость кальциевых солей сильно понижена из-за щелочной реакции почвенного раствора, поэтому примене-

ние кальцийсодержащих мелиорантов на них малоэффективно. Наиболее часто для мелиорации таких почв используют отработанную серную кислоту и отработанный 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 на кальций [167].

Глиногипс – 70–90 % гипса, до 11 % карбоната кальция, примеси магния, натрия, калия, ряд микроэлементов: медь, марганец. Особенно эффективен на орошении. Положительное действие в течение 5–6 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 и воду. Подсушивают и гранулируют в заводских условиях, чтобы он содержал не более 15 % свободной влаги. Хорошо растворяется из-за наличия в нем кислоты.

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

Электролит травления стали – жидкий отход, получаемый после травления металлов смесью растворов серной и соляной кислот. Серной кислоты – 5,4 %, соляной кислоты – 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 также необходима для подкисления компостов.

В качестве химических средств при мелиорации солонцовых почв рекомендуются кальций- и кислотосодержащие отходы промышленности – фосфогипс (отход суперфосфатного производства) [103, 168]; отработанная серная кислота (отход нефтеперерабатывающей промышленности) [167–170]; отработанный электролит травления стали (отход машиностроительного производства) [171–173]; терриконовая порода (отход угледобывающей промышленности) [174], а также местные минеральные залежи – гипс, глиногипс, известняк, глаукониты, бентониты [103, 175–178].

Наиболее часто используемым мелиорантом является кальцийсодержащий фосфогипс [178, 179]. Следует отметить, что он не теряет первоначальную сыпучесть при увлажнении, замерзании и оттаивании. Эти свойства позволяют складировать фосфогипс в поле без укрытия.

Данный мелиорант по мелиорирующему действию близок к гипсу, но имеет кислую реакцию pH 2,5–3,0. Наличие в нем кислот определяет его лучшую растворимость, чем гипса. При взаимодействии 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 его использовании на солонцовых почвах выявлено его положительное влияние не только на урожайность культур вследствие улучшения качества почв, но и как фосфорное удобрение.

Исследования по применению фосфогипса в качестве мелиоранта для солонцов были проведены в Ростовской области, Краснодарском и Ставропольском краях, в Поволжье, на Украине, в Сибири, Казахстане, Алтае и др. [180–185].

Учеными РосНИИПМ отмечен эффект от химической мелиорации фосфогипсом уже на следующий год после внесения мелиоранта. При этом наблюдаются положительные изменения водно-физических свойств, а именно: исчезает почвенная корка, повышается фильтрация, улучшается

структура почв. При внесении расчетной дозы фосфогипса на мало- и средненатриевые солонцы уменьшается их солонцеватость в первые 2–3 года на 60–80 %, засоление – в 1,5–2 раза, нормализуется щелочность в верхнем 40–60-сантиметровом слое. Отмечается повышение содержания подвижных фосфатов в 1,5–2 раза в зависимости от дозы фосфогипса, внесенной в почву. Большое количество гипса и водорастворимого фосфора, поступающее с фосфогипсом, стабилизирует не только кальциевый режим, но и способствует улучшению гумусного состояния 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 [186, 187].

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 содействовало увеличению содержания гумуса в почве в среднем за три года на 0,2–0,4 % [188]. Сочетание фосфогипса и навоза и их совместное внесение на орошаемые земли способствует предохранению от возникновения процессов осолонцевания и ощелачивания почв [189].

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, отмечается накопление гуминовых кислот и сокращение количества фульвокислот в составе гумуса [190]. 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 два раза, щелочности до $pH = 6,0$, повышение содоустойчивости до 44 мг-экв/100 г. только в слое 0–20 см и частично в

0–30-сантиметровом слое. Глубже положительного действия мелиоранта не выявлено [191, 192].

Исследования по влиянию химической мелиорации для устранения осолонцевания и ощелачивания обыкновенных черноземов в результате орошения более 10 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 выявлено, что более эффективным является внесение именно фосфогипса, вероятно, в силу способности резко изменять реакцию почвенного раствора [30].

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 в исследованиях на Багаевско-Садковской ОС Ростовской области [17].

На темно-каштановых почвах внесение фосфогипса способствовало улучшению структуры почвенного покрова [193]. Выявлены положительные результаты мелиорирующего воздействия фосфогипса на свойства луговых солонцов [194].

В лесостепной зоне Западной Сибири многонатриевые корковые солонцы также улучшают фосфогипсом. Но их исследования указывают на эффективность повторного гипсования уменьшенными дозами [185].

В условиях южного Казахстана, где в почвах протекают процессы магниевое осолонцевания и ощелачивания, также наиболее эффективным и доступным мелиорантом является фосфогипс. Внесение в почву фосфогипса нормой 5–7 т/га обеспечивает не только снижение магния в ППК, но и повышает запасы подвижных форм фосфора в корнеобитаемом слое [184].

Солонцеватые почвы и почвы солонцовых комплексов относятся к малогумусным, поэтому целесообразным является внесение органического вещества (навоз крупного рогатого скота, птичий помет, сидераты, солома, рас-

тительные остатки и др.). Но при наличии высокой щелочности почв, органические удобрения (обладающие щелочной реакцией среды) вносятся только после ее снижения или в виде компостов. Компосты готовят путем перемешивания в определенном соотношении кальцийсодержащего вещества и органического удобрения непосредственно в поле [17, 177, 195].

Для химической мелиорации в качестве альтернативных мелиорантов предлагаются удобрительно-мелиорирующие смеси и органо-минеральные компосты, приготовленные из отходов промышленности, сельского хозяйства, местных минеральных залежей. Это средства, содержащие мелиорирующую и удобрительную основу. Наиболее действенны смеси из терриконовой породы и электролита травления стали (отработанной серной кислоты), из электролита травления стали и опилок; компосты из навоза крупного рогатого скота или птичьего помета и фосфогипса; компост из навоза (птичьего помета) и терриконовой породы; компост из навоза (птичьего помета) и глауконита [195–200]. Оптимальные соотношения удобрительно-мелиорирующих средств и характеристики используемых компонентов, представлены в приложении Т. Выявлено, что компосты, содержащие в своем составе фосфогипс, в большей степени способствовали оптимизации физических свойств деградированного чернозема, чем глауконитосодержащие. Компосты с глауконитом, также разуплотнили почву, улучшили аэрацию и структуру почв к третьему году последствия как более медленнодействующие мелиоранты, но в меньшей степени, чем фосфогипсодержащие компосты [201].

Основным способом мелиорации содово-засоленных почв (щелочных) является кислование.

Использование серной кислоты в качестве мелиоранта на содовых солонцах позволяет в некоторой степени снизить щелочность почвенного раствора, способствует ускорению вытеснения обменного натрия из ППК, переходу труднорастворимых соединений в более доступные для растений – подвижные. Кроме этого улучшаются физические свойства почвы в результате

коагуляции гидрофильных коллоидов и уменьшения дисперсности почвы. При этом для форсирования процесса мелиорации необходимо проведение промывок на фоне дренажа для обеспечения оттока солей, образующихся в результате взаимодействия серной кислоты в почве [202, 203]. Рекомендуется применение не концентрированной, а отработанной серной кислоты (ОСК) – отхода металлургической, нефтеперерабатывающей и некоторых видов химической промышленности.

Исследования, проводимые РосНИИПМ в Ростовской области по кислованию почв, показали эффективность этого метода мелиорации на карбонатных солончаковых безгипсовых и глубокогопсовых 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 [204, 205].

Почвы, обладающие наличием ионов водорода в почвенном растворе и обменных ионов водорода и алюминия в почвенном поглощающем комплексе, относятся к кислым. Такие почвы 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 этого в растениях нарушаются процессы обмена с накоплением таких соединений как нитриты, простые углеводы, органические кислоты вместо завершенных – белков, жиров, крахмала. В таких почвах уменьшается растворимость ряда микроэлементов, а главное – подавляется жизнедеятельность полезных микроорганизмов.

Цель химической мелиорации кислых почв уменьшить в корнеобитае-

мом слое содержание водорода и алюминия. Для мелиорации кислых почв в качестве химических средств нейтрализации кислотности рекомендуются такие мелиоранты, как молотый известняк (известковая мука), доломитовая мука, известняковый туф, сланцевая или торфяная зола и т. д.

Эффективность известкования зависит от степени кислотности почвы, особенностей возделывания культур, нормы и видов применяемых удобрений. По величине обменной кислотности – $pH_{КС}$ определяют потребность почвы в известковании. При $pH < 4,5$ потребность в известковании сильная, при 4,6–5,0 – средняя, при pH 5,1–5,5 – слабая, более 5,5 отсутствует [40].

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

При проведении известкования требуется учитывать особенности возделываемых культур в севообороте. Если для известкования применяют известковые удобрения, содержащие не $CaCO_3$, а $MgCO_3$ или $Ca(OH)_2$, то численную норму извести умножают на коэффициент 0,84 для $MgCO_3$; 0,74 – для $Ca(OH)_2$ и 0,56 – для CaO [206].

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, кормой и столовой свеклы, клевера, люцерны, зернобобовых, капусты, лука она равна полной норме, рассчитанной по H_T (гидролитической кислотности).

На мало буферных легких почвах норму извести необходимо снижать на 25–30 % по сравнению с полной. Оптимальная норма для льна, подсолнечника, томатов, картофеля, люпина, сераделлы – (1/2–2/3) полной нормы.

Норму извести также можно определить по величине pH 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 увеличение урожая сельскохозяйственных культур, но и на 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 зернокормовыми необходимо учитывать наиболее чувствительные к кислотности растения и известковать сначала именно 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, сыро-молотой доломитовой муки с тониной помола менее 5 мм) с использованием машин, рассеиватели которых имеют возможность работать по точному земледелию с электронными картами полей, позволяющими учитывать пестроту почвенной кислотности [207].

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 применение комплексной мелиорации, т. е. сочетание химической мелиорации и мелиоративных обработок.

Данный метод необходимо использовать на высокомагнийсодержащих сульфатно-хлоридных, хлоридно-сульфатных и сульфатных солонцах, у которых запасы гипса в слое 0–40 см недостаточны для вытеснения обменного натрия из солонцового горизонта, также при мелиорации безгипсовых и глубокогогипсовых 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 выносятся из почвы нейтральные соли, включая вторичные, и значительная часть щелочных продуктов обменных реакций [169, 208]. Выбор следует остановить на применении кислых мелиорантов [209]. 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 [169].

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

последствия комплексной мелиорации признаков восстановления негативных процессов не обнаруживалось [210].

Комплекс с южными черноземами составляли лугово-степные солонцы, которые осваивались с применением трехъярусной обработки и внесении сочетаний навоза с фосфогипсом. В результате произошло снижение плотности сложения почвы до уровня свежеспаханной, коэффициент дисперсности сократился более чем в два раза.

Отмечено существенное снижение солонцеватости (с 20–24 % от ППК до 8–9), внесение органики способствовало восполнению потерь гумуса, которые происходят в результате длительного орошения и, непосредственно, в процессе мелиоративной обработки [211].

Результаты исследований на солонцах черноземных в Ростовской области показали, что при комплексном применении мелиоративных приемов (глубокой мелиоративной обработки и химической мелиорации с использованием фосфогипса в дозе не менее 10 т/га) наблюдается коренное улучшение физических свойств исследуемых солонцов, а именно: плотность сложения почвы снижается до уровня свежеспаханной (1,15–1,16 т/м³), коэффициент дисперсности сокращается более чем в два раза, свидетельствуя о глубоких качественных изменениях в структуре солонца [212].

Установлено положительное влияние на содержание гумуса в солонце черноземном и степень его гумусированности при совместном внесении 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 [213].

Комплексная мелиорация позволяет увеличить величину мелиорируемого слоя земель, деградировавших в результате поливов водой плохого ка-

чества, с 35–40 см до 50–55 см [214, 215]. 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 [216, 217].

Комплексный подход к мелиорации солонцов доказал 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, которая 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 [218].

Кроме того, некоторые ученые полагают, что комплексная мелиорация является эффективным средством устранения последствий несовершенства имеющихся плугов для плантажной и трехъярусной обработок (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. Мелиоративные обработки можно проводить в комплексе с другими мелиорантами, органоминеральными компостами и смесями [191].

Таким образом, предложенные способы мелиорации для устранения негативных процессов, возникающих в длительно орошаемых почвах, должны применяться дифференцировано в зависимости от показателей свойств почв (таблица 46). Срок действия способов мелиорации: известкование – до 3-х лет на торфяных почвах, до 5 лет на песчаных и до 7 лет на суглинках; – гипсование – до 20 лет на неорошаемых землях и до 12 лет на орошаемых; кислование – до 5 лет,

Таблица 46 – Схема выбора приемов по показателям почвенного плодородия орошаемых земель

Условие освоения почвы	Почва	Показатель плодородия пахотного слоя (0–40 см)						Первоочередной прием по воспроизводству почвенного плодородия
		Об-мен-ный Na, % от $\sum$ ППК	Щелоч-ность HCO_3^- - Ca + Na^{2+} + Mg^{2+} , мг-экв /100г	Плот-ность сложения, т/м ³	Водо-проч-ность, %	Гу-мус, %	$\frac{\text{Сг.к}}{\text{Сф.к.}}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Зона обыкновенных (предкавказских) черноземов. Надпойменная терраса р. Дон. Сумма температур более 10 °С – 3000–3200 °С. 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 зернокормовые севообороты	Черноземы обыкновенные (предкавказские), мощные и среднеспелые, мицеллярно-карбонатные, глубокогипсовые, тяжело- и среднесуглинистые	1–5	> 0,7	1,30–1,35	30–40	3,2–3,5	2–1	Химическая мелиорация с расчетом доз мелиорантов по порогу коагуляции. Мелиоранты – лучше органо-минеральные компосты или удобрительно-мелиорирующие смеси (один раз в 4–5 лет). Дозы компостов и смесей 20–40 т/га, а дозы мелиорантов – 10–15 т/га гипса, фосфогипса – 5–7 т/га. Внесение 40–60 т/га навоза-сыпца, глубокая вспашка или глубокое рыхление (один раз в 3–4 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. Запахивание измельченной соломы или внесение компоста из измельченной соломы с добавлением азота, фосфора; применение органо-минеральной системы удобрений. Расчет минеральных удобрений проводить на запланированный урожай с учетом запасов питательных веществ в почве. Соблюдение поливных режимов. Допускается снижение норм до 20 %

Продолжение таблицы 46

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Зона обыкновенных (североприазовских) черноземов. Североприазовская эрозивно-аккумулятивная наклонная равнина. Сумма температур более 10 °С – 3200–3400 °С. Годовая сумма осадков – 420–500 мм. 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	Черноземы обыкновенные (североприазовские), мощные и среднеспособные, глубококарбонатные, глубокогипсовые, солонцеватые, тяжело- и среднесуглинистые, мало- и среднегумусные	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, органо-минеральные компосты и удобрительно-мелиорирующие смеси. Дозы фосфогипса 10–20 т/га, компостов и смесей 20–40 т/га (один раз в 4–5 лет). Глубокая вспашка или рыхление (один раз в 3–4 года) с посевом многолетних трав. 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	Южные черноземы, средние- и маломощные, малогумусные, глубококарбонатные, глубокогипсовые, тяжело- и	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 % вначале 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.

Продолжение таблицы 46

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сумма температур более 10 °С – 3000–3200 °С. 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. Орошение более 30 лет. Кормовые, зерно-кормовые севообороты	среднесуглинистые, мало- и среднегумусные							Для этого отдельно, рассчитав дозу для солонцов и черноземов, берут общую дозу с учетом соотношения почвенных разностей в комплексном покрове
	Солонцы полугидроморфные – луговые степные, хлоридно-сульфатные, солончаковатые, высоко- и глубококарбонатные, глубокогипсовые, малогумусные	15–25	0,7–1,6	1,35–1,40	10–20	1,8–2,2	1–0,5	Мелиоранты – глиногипс, фосфогипс, органоминеральные компосты. Дозы от 10 т/га фосфогипса до 40 т/га компостов. Периодичность проведения химической мелиорации 5–6 лет. Для разуплотнения через год провести глубокое рыхление, повторив его через 3–4 года. 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° С – 3400-3500 ° С. 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, также 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

Продолжение таблицы 46

1	2	3	4	5	6	7	8	9
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 уделить борьбе с уплотнением путем проведения периодически глубокого рыхления и обогащения почв органическим веществом. К перечисленным выше мероприятиям в этой зоне целесообразно добавить внесение органо-минеральных компостов, приготовленных на основе овечьего навоза и кальцийсодержащих мелиорантов (гипса, глиногипса, фосфогипса) в отношении от 1:1 до 3:1. Мероприятия по поддержанию почвенного плодородия такие же, как и в зоне южных черноземов

7.2.3 Фитомелиорация

Одним из способов повышения плодородия солонцов является фитомелиорация. Это улучшение состояния почв и их поверхности с помощью травянистой и древесной растительности, адаптированной к конкретным условиям. В качестве фитомелиорантов высеваются солонце- и солеустойчивые культуры, позволяющие не только получить урожай, но и повысить плодородие почв.

Имея свои физиологические особенности, 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 2–3 лет на засоленных почвах в результате орошения способствовало их восстановлению и возможности возделывания пшеницы. В таблице 47 представлены культуры, обладающие различной соле- и солонцеустойчивостью.

Таблица 47 – Соле- и солонцеустойчивость сельскохозяйственных культур

Культура	Солонцеустойчивость	Солеустойчивость
1	2	3
Донник белый и желтый	сильная	сильная
Пырей бескорневищный и сизый	сильная	средняя
Волоснец сибирский	сильная	средняя
Свекла столовая и сахарная	сильная	сильная
Райграс	–	сильная
Баклажаны	–	сильная-средняя
Горчица	сильная	сильная
Ячмень	сильная	средняя
Подсолнечник	средняя	сильная
Овес	средняя	средняя
Просо, могар	средняя	средняя
Люцерна	средняя	средняя
Озимая рожь	–	средняя
Томаты	–	средняя
Капуста	–	средняя

Продолжение таблицы 47

1	2	3
Пшеница	слабая	средняя
Суданская трава	средняя	слабая-сильная
Эспарцет	слабая	слабая
Кукуруза	слабая	слабая
Горох	слабая	слабая
Огурцы	слабая	слабая
Лук, картофель	—	слабая
Фасоль	слабая	слабая
Сорго сахарное и веничное	слабая	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 % – теряется половина урожая.

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

Сильносолеустойчивые культуры практически не реагируют на засоление почв до 0,4 %, при 0,5 % содержания 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 важное значение имеет создание благоприятных условий для растений с использованием дополнительных приемов (поливов, посевов под покров).

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

Сидераты, а именно, горчица, люцерна, а также 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 целая сеть подземных каналовцев. По ним соли вымываются в глубокие слои почвы. Чтобы препятствовать засолению следует на орошаемых землях включать их в севооборот и выращивать без полива. Также эффективны 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 иссополитая, солерос, кохия веничная, солодка голая и уральская, полынь солончаковая, сорняк амброзия. 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 солей с 1 га 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 [186].

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

- на засоленных почвах влажность в корнеобитаемом слое необходимо поддерживать на 5–10 % выше, чем на незасоленных почвах,
- семенной материал получать с засоленных и солонцовых почв,
- основные и дополнительные мероприятия должны способствовать снижению засоления, солонцеватости и плотности почв,
- для 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 – озимая пшеница, озимая 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.

Срок действия фитомелиоративных мероприятий до 20 лет при условии соблюдения правил эксплуатации растительных сообществ.

7.3 Почвозащитные мероприятия для борьбы с ирригационной эрозией

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 поверхностных поливах (по бороздам):
 - 1) расход воды в борозду;
 - 2) форма и величина уклона;
 - 3) водопроницаемость;
 - 4) длина поливного участка;
 - 5) устойчивость почвы к размыву;
- при поливе дождеванием:

- 1) интенсивность дождя, размер и скорость падения капель;
- 2) водопроницаемость почвы (показатели в первый час полива);
- 3) противоэрозионная стойкость почвы к размыву;
- 4) агробиоценозы и проективное покрытие почвы растениями;
- 5) уклоны поверхности.

Ирригационная эрозия накладывается на естественную, что значительно увеличивает интенсивность потерь верхнего наиболее плодородного слоя почвы. Как и другие виды эрозии, ирригационная зависит во многом 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. Уклоны поверхности орошаемых участков подразделяются на следующие классы (таблица 48).

Таблица 48 – 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
0,012–0,02	Большие уклоны	Очень сильный смыв
0,02–0,05	Очень большие уклоны	Опасный смыв
0,05–0,10	Крутые склоны	Опасный смыв
Более 0,10	Очень крутые склоны	Опасный смыв

Ирригационная эрозия проявляется в виде плоскостного смыва верхнего наиболее плодородного слоя почвы и в виде глубинных размывов временной оросительной сети. В местах многолетней нарезки ее, в результате постоянного размыва, могут вырасти 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 удоб-

рениями, пестицидами водоприемники, 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, относится низкая водопроницаемость почвы и их невысокая противоэрозионная 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 [219, 220].

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 этим бороздам. Ширина водного потока в поливной борозде – до 0,2 м. В пересчете на единицу времени это гораздо больше, чем при дождевой эрозии или при 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 кратно ширине посевного агрегата. Водный поток распределяется по всей ширине и создает небольшой

напор воды, а также сплошной посев растений снижают 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 снижается 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 В. П. Герасименко [60] (см. таблицу 14 пункт 5.2.4).

Существуют и другие показатели оценки степени деградации по эродированности почв, изложенные в выше представленном разделе 5 «Методика оценки уровня агроресурсного потенциала почв при длительном орошении».

На длительно орошаемых землях чаще всего почвы претерпевают воздействие повышенного увлажнения и изменение водно-физических и химических свойств, 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 проводить исследования на водопроницаемость и агрегатный состав и вносить соответствующие корректировки в поливные нормы, чтобы избежать ирригационного стока и безвозвратного смыва верхнего плодородного слоя почвы.

При поливе дождеванием важным фактором снижения эрозии является правильное определение достоковой поливной нормы, когда учитывается не только водопроницаемость, водоудерживающая способность, агрофон участ-

ка, но и интенсивность и структура дождя. Предельно допустимая поливная норма определяется по зависимости [221]:

$$m_{\text{дост.}} = A \cdot 0,33^d \cdot 0,316^p, \quad (22)$$

где A – поправочный коэффициент на гранулометрический состав 636,8 – для песка; 475,4 – для суглинка легких; 330,14 – для суглинков средних; 223,7 для суглинков тяжелых; 173,2 – для глины легкой; 123 – для глины 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 РосНИИПМ предлагают следующие основные элементы компенсационных мероприятий [222]:

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

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

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

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

(микрокулисная обработка, мульчирование, обработка пашни полимерами, сохранение на поверхности почвы пожнивных остатков).

Приведенные выше агротехнические приемы направлены на осуществление почвозащитных мероприятий и технологий, снижающих ирригационную эрозию путем:

- подбора и возделывания почвозащитных культур (сплошного сева и многолетних трав),
- разработки системы обработки почвы с чередованием различной глубины обработки почвы, обеспечивающей создание рыхлой почвы, способной увеличивать скорость впитывания поливной воды и повышать досточковые нормы полива,
- осуществления 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 состава длительно орошаемых земель и повышать влагоемкость почвы и устойчивость к ирригационной эрозии.

Поправочные компенсационные коэффициенты от применения агротехнических мероприятий по данным РосНИИПМ [222] приведены в таблице 49.

Таблица 49 – 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

Данные таблицы 49 показывают, что компенсационные агротехнические приемы способствуют снижению стока и увеличению на 15–20 % достоковой поливной нормы и предотвращают ирригационную эрозию почвы при нарушении технологии орошения (увеличении поливной нормы сверх расчетной). Определенную роль в уменьшении ирригационной эрозии играют мелиоративные защитные лесные насаждения. Они осуществляют разделение агротерритории на изолированные участки (поля севооборота), на которых располагаются, например, дождевальная техника, системы капельного полива.

Защитные лесные насаждения обеспечивают регулирование микроклимата, снижаются скорость ветра и потери воды на испарение, снижается температура на 3–5 градусов, увеличивается влажность воздуха и снижается испарение с уже политых полей.

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.

7.4 Агролесомелиоративные мероприятия

Агролесомелиорация земель состоит в проведении комплекса мелиоративных мероприятий, обеспечивающих коренное улучшение земель посредством использования почвозащитных, водорегулирующих и иных свойств защитных лесных насаждений согласно Федерального закона «О мелиорации земель» и Правил содержания мелиоративных защитных лесных насаждений и особенностей проведения мероприятий по их сохранению, утвержденных Приказом Минсельхоза РФ от 30.06.2020. № 367.

К функции агролесомелиорации относятся такие виды мероприятий как:

- создание массивов защитных лесных насаждений (МЗЛН) в целях защиты земель от эрозии на оврагах, балках, песках, берегах рек и других территориях;
- создание полезащитных МЗЛН по границам земель сельскохозяйственного назначения и земельных участков, в целях защиты их от воздействия неблагоприятных явлений природного, антропогенного и техногенного происхождения;
- создание пастбищезащитных МЗЛН по границам пастбищ в целях предотвращения деградации почв на пастбищах и опустынивания.

Для орошаемых земель важны два вида агролесомелиорации: полезащитная и биодренаж.

Полезащитная агроомелиорация – защита земель от воздействия неблагоприятных явлений природного, антропогенного и техногенного происхождения путем создания защитных лесных насаждений по границам земель сельскохозяйственного назначения.

Современная концепция использования комплексного влияния защитных лесных насаждений на устойчивость сельскохозяйственного производства достигается оптимальной лесистостью, сохраняющей естественное экологическое равновесие данной местности или поддерживающей относительно неизменное состояние средообразующих компонентов, что способствует со-

хранению плодородия почв и увеличению урожайности сельскохозяйственных культур.

Защитные лесные насаждения эффективно противодействуют различным негативным явлениям, снижающим плодородие почвы. Они являются средством многофункционального влияния на окружающую природную среду, нормализуют и стабилизируют экологическую обстановку, образуют устойчивые агролесоландшафты с высокой степенью саморегуляции, оптимизируют влагооборот, тепло- и газообмен территории.

Агролесомелиоративное обустройство агроландшафтов обеспечивает повышение бонитета почв на 2,5–19,3 балла в зависимости от исходного состояния плодородия почв. Средняя урожайность зерновых культур под защитой насаждений выше на 18–23 %, технических – на 20–26 %, кормовых – на 29–41 %.

Под МЗЛН наблюдаются наибольшие объемы и темпы аккумуляции веществ. Кроме этого, они улучшают гидротермический режим, более чем в четыре раза сокращают поверхностный сток, подавляют дефляционные процессы, в три раза увеличивают поглощение излишков углекислоты и других парниковых газов, обеспечивает повышение полноводности рек и водоемов и чистоту воды, расширение разнообразия флоры и фауны. На облесенных территориях существенно сокращается заболеваемость населения болезнями, вызванными загрязнением среды.

В облесенных агроландшафтах повышается биоэнергетический потенциал за счет максимального накопления энергии в сельскохозяйственной продукции. Сравнительный анализ энергетического баланса в лесоаграрных (облесенность сельхозугодий 5–7 %) и открытых аграрных ландшафтах показал, что энергетическая продуктивность 1 га пашни лесоаграрного ландшафта на 4203 МДж или на 29,5 % выше, чем открытого аграрного.

Полезатитные лесные полосы должны быть высокорослыми, устойчивыми и долговечными. Это достигается определенным подбором древесных и кустарниковых пород и схемами их смешения в соответствии с почвенно-

климатическими условиями и биологическими свойствами самих пород. В качестве главных пород, образующих основной полог в насаждении и определяющих защитные свойства полос, могут быть дуб черешчатый, орехи грецкий и черный, белая акация, виды тополя и др.

Посадка лесных полос производится одно-, двухлетними сеянцами древесных и кустарниковых пород. Дуб и орехи можно высевать семенами на постоянное место по 3–5 желудей (три ореха) в лунку. Тополь высаживаются, как правило, укорененными черенками.

Посадка производится лесопосадочными машинами или вручную под лопату или специальным мечом Колесова. Расстояния между рядами – 2,5–3 м, для тополиных полос – 3–4 м. Расстояния между посадочными местами – 0,75–1 м, а для тополя – 1–1,5 м. В особо жестких условиях (близкое залегание карбонатных пород и пр.) расстояния в ряду следует увеличивать для всех пород до 1–1,5 м.

Уход за почвой в лесных полосах начинается сразу же после посадки: боронуются и культивируются междурядья, уничтожаются сорняки в рядах. Уход за почвой продолжают до полного смыкания крон деревьев не только в рядах, но и в междурядьях. Ежегодно осенью перепахивают междурядья плугом со снятыми отвалами или плоскорезом на глубину до 20 см.

Лесоводственный уход в полезащитных полосах из белой акации, топей и орехов начинают на третий год жизни лесополосы. Он заключается в выборке сильно отставших в росте деревьев, подчистке коры на высоту $1/4$ – $1/5$ общей высоты, посадке на пень кустарника, уборке двойчаток и усохших экземпляров. В дубовых полосах такой уход начинается с 5–7-летнего возраста.

Рубки ухода в порослевых полосах сводятся к изреживанию поросли до 1–3 порослевин от пня в первые два-три года, затем с возраста 3–6 лет полосе придают оптимальную конструкцию в зависимости от породного состава.

Эффективность влияния полезащитных лесных полос на микроклимат прилегающих территорий зависит от конструкции полосы, ассортимента со-

ставляющих ее пород, формы поперечного сечения, высоты деревьев, ширины, а также скорости ветрового потока и угла его подхода к полосе. Конструкция лесной полосы определяется двумя показателями: ажурностью и ветропроницаемостью.

Защитные лесные насаждения любой конструкции уменьшают скорость ветра в приземном слое воздуха. Наибольший эффект в этом отношении лесные полосы дают при их перпендикулярном расположении к направлению ветра. С изменением ветрового потока связано снегораспределение, уменьшение расходования влаги на транспирацию сельскохозяйственными культурами, а следовательно, повышение урожайности сельскохозяйственных культур.

Ветровой поток при встрече лесной полосы плотной конструкции обтекает ее только сверху. Лесные полосы продуваемой конструкции работают как аэродинамический диффузор.

Защитные лесные насаждения ажурной конструкции делят ветровой поток на две части: одна часть проходит через полосу, не меняя основного направления, другая переваливается через насаждение.

Влияние плотной конструкции на снижение скорости ветрового потока в приземном слое (1 м) простирается на расстояние до 40 Н, ажурной – до 45 Н и продуваемой – до 50 Н. Зона наиболее эффективного действия, где скорость ветра уменьшается на 70 % и более, достигает у плотной полосы 15 Н, у ажурной – 20 Н и продуваемой – 25 Н.

Со стороны движения ветра защитное влияние защитных лесных насаждений всех конструкций сказывается в зоне 10–15 Н, а эффективная защита – не более 5 Н.

Тип лесополосы существенно влияет на разницу температуры лесополосы и открытого пространства. Так как скорость ветра и турбулентность под воздействием защитных лесных насаждений уменьшается, то влажность воздуха на межполосных полях будет выше, чем в открытой степи, а разница может достигать 10–12 %.

Степень влияния лесных полос разных конструкций на испарение находится в прямой зависимости от степени их влияния на ветер. Сильнее всего снижается испарение в приопушечной зоне (до 30–35 %). В сухие и жаркие дни защитное действие лесных полос повышается. Величина и характер распределения снега на полях в значительной мере определяют глубину промерзания и процесс оттаивания почвы. Почва под снегом промерзает на меньшую глубину, а весной раньше оттаивает, что важно для поглощения стока.

Защитные лесные насаждения надежно предохраняют снег от сноса его с полей в овражно-балочную сеть. Под влиянием защитных лесных насаждений происходит не только изменение микроклимата и увлажнения почвы, но изменяются морфологические и физико-химические свойства почвы. В результате ежегодного поступления на поверхность почвы большой массы органического вещества в виде спада и отмерших корневых систем, дополнительного увлажнения почвы, разрыхляющего действия корней лесные насаждения оказывают значительное почвоулучшающее влияние.

Эффективность защитного лесоразведения обуславливается повышением урожайности сельскохозяйственных культур, возделываемых на полях, защищенных защитными лесными насаждениями. Прибавка урожая определяется сопоставлением урожая на открытых и облесенных полях в одинаковых условиях. Для зерновых культур считается, что прибавка приблизительно равна 15–20 % от среднего урожая с незащищенных полей и составляет в среднем 2,8 ц/га. Чистый доход, получаемый от мелиоративного воздействия лесных насаждений, определяется как разница между общей стоимостью дополнительной продукции и затратами на ее освоение за вычетом сумм, недополученных хозяйством на землях, занятых лесными полосами.

Согласно расчетам лесополоса из березы начинает проявлять защитные функции с семи лет, дуб – 10 лет, хвойные – 10 лет, тополя – пять лет. Срок действия агролесомелиоративных мероприятий – в пустынной зоне до 25 лет; в остальных зонах не менее 30 и до 100 лет при условии соблюдения правил эксплуатации мелиоративных лесных защитных насаждений.

8 Комплекс агротехнических мероприятий, обеспечивающих сохранение и повышение почвенного плодородия

В сохранении плодородия и повышении эффективности использования орошаемых земель нельзя отдавать предпочтение какому-то одному агротехническому приему. Только комплекс мероприятий, с учетом конкретных условий позволит гарантировать получение сельскохозяйственной продукции независимо от складывающихся погодных условий. Научно обоснованные севообороты являются связующим звеном и служат основой и организующим началом высокой культуры земледелия.

8.1 Севообороты в системе орошаемого земледелия

Сохранение и расширенное воспроизводство почвенного плодородия орошаемых земель возможно только при использовании в каждом хозяйстве научно обоснованных эколого-ландшафтных систем земледелия. Такие системы являются надежным средством обеспечения устойчивого земледелия и сохранения природных агроресурсов.

Системы земледелия должны быть построены таким образом, чтобы воспроизводство гумуса в почвах, как и содержание основных питательных веществ, не требовало специальных затрат, а являлось следствием мероприятий, направленных на повышение продуктивности орошаемых агроценозов и защиту почв от различных видов деградации.

Структура посевных площадей должна обеспечивать высокопродуктивное использование орошаемых пахотных земель при оптимальном сочетании экономических и экологических целей. Определение набора культур, их чередование и формирование севооборотов должны проходить с учетом динамики почвенного плодородия. Научно обоснованные севообороты при минимальных дополнительных вложениях обеспечивают высокопродуктивное использование орошаемых пахотных земель. Учитывается влияния насыщения севооборотов отдельными культурами и их группами на баланс органического вещества и накопление биологического азота в почве. В сево-

оборотах происходит постепенное биологическое оздоровление почвы в результате фиксации азота, разложения пожнивных остатков, улучшения микробиоценоза почвы [62, 63, 223].

Установлено, что при орошении каждая культура требует определенной глубины и интенсивности обработки почвы, режима орошения, уровня питания. Особое значение приобретает экономический фактор – чередование культур, поскольку здесь решаются большие дополнительные организационные и агрометеорологические задачи. Так подбор культур, различных по своим биологическим особенностям, позволяет выровнять график подачи воды на поля. Без этого оросительные мощности в одни периоды сезона будут простаивать, а в другие – не успевать с поливом.

С целью достижения максимальной продуктивности пашни в степи необходимо обеспечить 13–14 % залесенность (с учетом полевых защитных полос), располагающихся с учетом особенностей ландшафта и господствующего направления ветра [62, 13].

Для хозяйств с различной специализацией рекомендуются севообороты, представленные в таблице 50.

Таблица 50 – Примерные составы орошаемых севооборотов с учетом специализации и особенностей хозяйств [224]

Специализация хозяйства	Севооборот	№ поля	Состав культур
1	2	3	4
Хозяйства, специализирующиеся на возделывании зерновых культур	3-польный	1	горох
		2	озимая + пожнивные
		3	кукуруза на зерно
	5-польный	1	горох
		2	озимые + пожнивные
		3	яровые на зерно
		4	озимые
		5	кукуруза на зерно
Хозяйства, занимающиеся выращиванием скота мясного направления	3-польный	1	вика + овес
		2	кукуруза на силос
		3	суданская трава
	5-польный	1	ячмень с подсевом люцерны
		2	люцерна
		3	люцерна

Продолжение таблицы 50

1	2	3	4
	7-польный	4	озимая пшеница + пожнивные
		5	кукуруза на силос (на зерно)
		1	люцерна под покров зерновых
		2	люцерна
		3	люцерна
		4	кукуруза на зеленый корм
		5	озимые + пожнивные
		6	кукуруза на зерно
		7	корнеплоды
Хозяйства пригородной зоны	7-польный	1	люцерна под покров зерновых
		2	люцерна
		3	люцерна
		4	капуста
		5	помидоры
		6	огурцы
		7	столовые корнеплоды
	9-польный	1	многолетние травы под покров яровых
		2	многолетние травы
		3	многолетние травы
		4	помидоры
		5	капуста
		6	огурцы
		7	столовые корнеплоды
		8	картофель
		9	перец
В условиях хронического дефицита кормового белка рекомендуются зерно-кормовые севообороты, насыщенные соей	4-польный	1	озимые
		2	соя
		3	кукуруза на зерно
		4	однолетние травы
	5-польный	1	озимые
		2	соя
		3	соя + сорго (на зерно)
		4	соя
		5	кукуруза на силос
Хозяйства, специализирующиеся на производстве кормов	7-польный	1	многолетние травы под покров ячменя
		2	многолетние травы
		3	многолетние травы
		4	многолетние травы
		5	сорго-суданковый гибрид
		6	кормосмесь (кукуруза + подсолнечник + соя)
		7	ячмень на зерно
Хозяйства, располагающие значительной	6-польный	1	однолетние травы + люцерна
		2	люцерна

Продолжение таблицы 50

1	2	3	4
площадью поливных земель		3	люцерна
		4	озимые
		5	кукуруза на силос
		6	однолетние травы
	8-польный	1	многолетние травы под покров зерновых
		2	многолетние травы
		3	многолетние травы
		4	многолетние травы
		5	озимые
		6	кукуруза на зерно
		7	кукуруза на силос
		8	однолетние травы (подсолнечник)

Учитывая имеющийся опыт у нас в стране и за рубежом, можно использовать следующие наиболее типичные севообороты.

Примеры трехпольных севооборотов:

- соя – кукуруза – травосмесь,
- яровая пшеница – озимая пшеница – кукуруза (зерно),
- свекла (кормовая) – кукуруза (зерно) – картофель,
- горох – озимая пшеница – сахарная свекла.

Примеры четырех- и пятипольных севооборотов:

- яровые зерновые с подсевом многолетних трав – многолетние травы – многолетние травы – озимая пшеница,
- озимая пшеница (+ люцерна) – люцерна – люцерна – кукуруза (на силос) – ранние яровые,
- вика – овес на сено, зеленый корм, поукосно – подсолнечник + горох и т. д.

Из двухпольных севооборотов наибольший интерес может представлять чередование посевов сои и кукурузы. Сочетание посевов яровой и озимой пшеницы, вероятно, допустимо в течение 2–3 ротаций при введении ряда обязательных условий (использовании навоза, сидератов и прочее).

При формировании иных севооборотов следует учесть отношение культур к предшественникам. Совершенно недопустимо размещение культур в севообороте по предшественникам с коротким вегетационным периодом, без посева повторных или пожнивных культур.

В приложении У приводятся рекомендуемые примерные севообороты для различных областей Поволжья.

В современных условиях целесообразность использования многолетних кормовых культур в качестве биомелиорантов определяется их оценкой по показателю энергетической эффективности – отношению аккумулированной продукции к затраченной на ее производство энергии с учетом положительного влияния на почвенно-мелиоративные условия орошаемой территории. Это дает возможность единообразно выразить и наиболее полно учесть не только прямые затраты энергии на технологию возделывания, но и энергию средств производства и полученной продукции, оценить эффективность использования для посева многолетних трав участков с различным уровнем слабоминерализованных грунтовых вод, определить пути экономии расходуемой энергии [111, 225].

Результаты исследований показали, что затраты энергии на выращивание кормовых культур в условиях различных режимов орошения на фоне УГВ 1,5–2,0 м, 2,5–3,0 м и более 5,0 м рассчитаны на основе технологических карт, типовых норм выработки, затрат ГСМ, энергетических эквивалентов использования сельскохозяйственной техники, трудовых ресурсов и т. д. При выращивании многолетних трав складываются различные затраты совокупной энергии. В условиях Поволжья они возрастали с увеличением количества поливов (при снижении УГВ) и зависели от используемых для посева семян, возделываемых культур, продолжительности использования травостоя.

С энергетической точки зрения технология считается эффективной, если получение урожайности сельскохозяйственных культур оценивается биоэнергетическим коэффициентом больше 1.

Затраты совокупной энергии за три года при выращивании урожая кормовых культур в опытах при экономном режиме увлажнения посевов на фоне УГВ 1,5–2,0 м, 2,5–3,0 м и более 5 м составили 159,2–165,2; 196,9–235,1 и 235,9–240,1 тыс. МДж/га, при оптимальном увлажнении и тех же УГВ соответственно 168,7–184,8; 222,9–228,8 и 237,6–261,6 тыс. МДж/га (таблица 51).

Таблица 51 – Биоэнергетическая эффективность возделывания многолетних трав в зависимости от режима увлажнения посевов и УГВ, 2019–2021 гг.

УГВ, м	Культура (смесь культур)	Затраты со- вокупной энергии, тыс. МДж/га	Выход с 1 га		Кoeffици- ент энерге- тической эффективно- сти
			Кормо- вых ед., т	Валовой энергии, тыс. МДж	
Экономный режим увлажнения					
1,5–2,0	Люцерна	159,2	19,67	334,4	2,10
	Люцерна + кострец безос- тый	165,2	21,28	361,8	2,19
	Козлятник восточный	156,0	21,47	365,0	2,34
2,5–3,0	Люцерна	200,5	19,82	336,9	1,68
	Люцерна + кострец безос- тый	235,1	24,20	411,4	1,75
	Козлятник восточный	196,9	23,05	391,9	1,99
> 5,0	Люцерна	235,9	14,98	254,7	1,31
	Люцерна + кострец безос- тый	235,9	19,84	337,3	1,43
	Козлятник восточный	240,1	21,18	360,1	1,50
Оптимальный режим увлажнения					
1,5–2,0	Люцерна	168,7	18,36	312,1	1,85
	Люцерна + кострец безос- тый	184,8	21,09	358,5	1,94
	Козлятник восточный	180,3	21,32	362,4	2,01
2,5–3,0	Люцерна	228,8	21,94	373,0	1,63
	Люцерна + кострец безос- тый	227,5	24,22	411,7	1,81
	Козлятник восточный	222,9	24,78	421,3	1,89
> 5,0	Люцерна	255,4	20,88	355,0	1,39
	Люцерна + кострец безос- тый	261,6	23,08	392,4	1,50
	Козлятник восточный	237,6	23,20	394,4	1,66

Выход валовой энергии при УГВ 1,5–2,0 м; 2,5–3,0 м и более 5 м при экономном режиме орошения составил соответственно 334,4–365,0; 336,9–411,4; 254,7–360,1 тыс. МДж/га, а коэффициент энергетической эффективности – 2,10–2,34; 1,68–1,99 и 1,31–1,50. При тех же условиях грунтовых вод, но при оптимальном режиме орошения выход валовой энергии в урожай возделываемых культур составил 312,1–362,4; 373,0–421,3 и 355,0–394,4 МДж/га, а коэффициент энергетической эффективности – 1,85–2,01; 1,63–1,89 и 1,39–1,66.

Полученные данные подтверждают целесообразность выращивания многолетних трав, как при близком, так и глубоком уровне залегания грунтовых вод с использованием как экономного, так и оптимального режимов увлажнения посевов.

Однако необходимо отметить, что биоэнергетическая эффективность выращивания многолетних трав в значительной степени зависит от УГВ, возделываемых культур, их смесей, используемого режима увлажнения посевов [225]. При незначительном варьировании затрат совокупной энергии при возделывании культур, одинаковом режиме увлажнения посевов и уровне грунтовых вод отмечается значительная разница по выходу валовой энергии с 1 гектара.

При экономном режиме увлажнения посевов наибольший выход валовой энергии отмечен на посевах козлятника восточного, который составил: при УГВ 1,5–2,0 м – 365,0 тыс. МДж/га, УГВ более 5 м – 360,1 тыс. МДж/га. За этот же период минимальный выход валовой энергии при данном режиме орошения составил на посевах люцерны: при УГВ 1,5–2,0 м; 2,5–3,0 м и более 5 метров соответственно 334,4; 336,9 и 254,7 тыс. МДж/га.

Выход валовой энергии на совместных посевах люцерны с кострцом безостым был выше, чем на чистых посевах люцерны и приближался к содержанию валовой энергии в урожае козлятника.

8.2 Система способов обработки почв

Обработка почвы проводится с учетом биологических особенностей возделываемых культур и водно-физическими почвенными условиями. Она включает основную и предпосевную обработки, подготовку почвы под промежуточные посевы и мероприятия по уходу за растениями в процессе вегетации [112].

Система обработки почвы в орошаемых севооборотах должна осуществляться в направлении минимизации обработки и, в первую очередь, основной, как самой трудоемкой и дорогостоящей, оказывающей наиболее сильное воздействие на почву.

На орошаемых землях в качестве основной обработки почвы используется отвальная вспашка плугами с предплужниками, которая способствует хорошему крошению почвы, повышает ее водопроницаемость и увеличивает устойчивые запасы влаги, повышает эффективность борьбы с сорняками и вредителями.

Изучались различные способы обработки почв в орошаемых севооборотах. Для оценки этих обработок был применен агробиоэнергетический метод технологического процесса возделываемых культур. Он получил широкое признание в мире как универсальный способ оценки потоков антропогенной энергии в агроэкосистемах, позволяющий все разнообразие живого и овеществленного труда выразить в единых показателях в соответствии с международной системой единиц (СИ), согласно которой количество энергии измеряется в джоулях (Дж) [226, 227].

Расчет совокупных затрат ведется на 1 га обрабатываемой площади. Расход всех ресурсов, учитываемый по различным показателям, приводится к единому показателю на основе агроэнергетических эквивалентов.

Энергоемкость, приходящаяся на один час работы силовой машины (трактора, комбайна), определяется по зависимости:

$$E_T = \frac{M_T \cdot \mathcal{E}_{TP}}{100} \cdot \left[\frac{A_T}{T_{HT}} + \frac{A_{TK} + A_{TT}}{T_{ЗТ}} \right], \quad (23)$$

где M_T – масса силовой машины, кг;

$\mathcal{E}_T$ – энергетический эквивалент силовой машины, МДж/кг;

A_T – отчисления на реновацию силовой машины, %;

A_{TK} – отчисления на капитальный ремонт силовой машины, %;

A_{TT} – отчисления на текущий ремонт силовой машины, %;

T_{HT} – нормативная годовая загрузка силовой машины, ч;

$T_{ЗТ}$ – зональная годовая загрузка силовой машины, ч.

Затраты энергии являются комплексной характеристикой любой технологической операции независимо от ценообразования и региона возделывания.

В связи с ограниченностью запасов мировых природных ресурсов и потенциальной энергии крайне нежелательно увеличение энергоемкости агротехнологий. В этой связи очень важным является разработка и применение наименее энергоемких приемов основной обработки орошаемых почв [228].

Анализ процессов в агроландшафте, сверхсложной природно-антропогенной системе возможен только на биоэнергетической основе.

В таблице 52 дана энергетическая оценка эффективности различных способов основной обработки почвы в звене орошаемого севооборота в среднем за 2019–2021 гг.

Анализ энергетической эффективности применявшихся способов основной обработки почвы показал следующее.

По комплексу показателей энергетической оценки различных способов основной обработки почвы выгодно выделился вариант «плоскорезная обработка». Он характеризовался наименьшими затратами энергии, особенно по озимой пшенице – 10,5 и по кукурузе на силос – 29,7 тыс. ГДж/га.

Таблица 52 – Энергетическая оценка способов основной обработки почвы в звене орошаемого севооборота в среднем за 2019–2021 гг.

Показатель	Культура звена севооборота						
	Вика + овес			Озимая пшеница		Кукуруза на силос	
	Способ основной обработки почвы						
	Отвальная вспашка, 25–27 см	Плоскорезная обработка, 25–27 см	Дискование, 12–14 см	Отвальная вспашка, 18–20 см	Плоскорезная обработка, 18–20 см	Отвальная вспашка, 25–27 см	Плоскорезная обработка, 25–27 см
Урожай, т/га	37,5	36,9	32,7	3,36	3,59	41,9	41,0
Валовая обменная энергия урожая, тыс. ГДж/га	120,0	118,1	104,6	55,1	58,9	259,8	254,2
Затраты совокупной энергии на производство урожая, тыс. ГДж/га	32,3	27,9	27,0	18,4	10,5	47,9	29,7
Прибавка валовой обменной энергии, тыс. ГДж/га	87,7	90,2	77,6	36,7	48,4	211,9	224,5
Энергоемкость 1 т продукции, тыс. ГДж/га	0,86	0,76	0,83	5,48	2,92	1,14	0,72
Коэффициент энергетической эффективности	3,72	4,23	3,87	2,99	5,61	5,42	8,56

Отмечена наибольшая прибавка валовой обменной энергии: 90,2 (кормосмесь), 48,4 (озимая пшеница) и 224,5 тыс. ГДж/га (кукуруза на силос) и высокий коэффициент энергетической эффективности, особенно по кукурузе на силос – 8,56.

Полученные данные подтверждают, что на плоскорезной обработке складывается меньшее количество затрат совокупной энергии, что и обуславливает снижение затрат энергии на производство 1 т урожая. На первой культуре (вика + овес) они составили 27,9 тыс. ГДж/га, на второй культуре (озимая пшеница) 10,5 тыс. ГДж/га и на третьей культуре (кукуруза на силос) 29,7 тыс. ГДж/га.

Вариант с отвальной вспашкой обеспечил прибавку валовой обменной

энергии по кормосмеси – 87,7 тыс. ГДж/га, озимой пшенице – 36,7 тыс. ГДж/га, кукурузе на силос – 211,9 тыс. ГДж/га и характеризовался коэффициентом энергетической эффективности 3,72; 2,99 и 5,42.

Отмечено, что энергетически наименее выгодной оказалась отвальная вспашка на 18–20 см под озимую пшеницу, где выявлена самая высокая энергоемкость 1 т продукции – 5,48 тыс. ГДж/га, при которой получен самый низкий коэффициент энергетической эффективности по сравнению с другими вариантами опыта – 2,99.

По энергетической ценности урожая в обменной энергии по культурам звена существенной разницы по способам основной обработки почвы не выявлено. Следовательно, обработка почвы без оборота пласта обеспечивает более высокую экономическую и энергетическую эффективность по сравнению с дискованием и классической отвальной вспашкой [226].

Таким образом, проведенная энергетическая оценка различных способов основной обработки почвы говорит о необходимости широкого внедрения разработанной почвозащитной технологии для сохранения и повышения почвенного плодородия на длительно орошаемых почвах в севооборотах сухостепной зоны Поволжья [226, 228].

Результаты многолетних исследований позволяют сделать следующие выводы [226, 228, 229]:

- на основе опытов разработана почвозащитная технология основной обработки почвы в орошаемом севообороте, позволяющая не только достичь высокой биологической продуктивности высеваемых культур, но и предотвратить развитие деградационных процессов на орошаемых землях,
- способы основной обработки оказывают существенное влияние на структуру и сложение пахотного слоя (содержание агрономически ценных почвенных агрегатов), а также на агрохимические показатели почвы,
- обоснована и доказана эффективность почвозащитной технологии основной обработки почвы в орошаемом севообороте по предотвращению

деградационных процессов, созданию благоприятных условий выращивания культур на основе оптимизации водного, пищевого режима почв и оптимального сложения пахотного слоя,

– агротехнологические приемы (способы основной обработки почвы, оптимальные севообороты, дифференцированные поливы, минеральные удобрения) сформировали разные уровни урожайности сельскохозяйственных культур. Урожайные данные по изучаемым культурам говорят о некотором преимуществе применения плоскорезной обработки почвы по сравнению с отвальной вспашкой,

– экономическая и энергетическая оценка подтверждают перспективность использования ресурсосберегающих и почвозащитных технологий обработки почвы при выращивании сельскохозяйственных культур в орошаемых севооборотах.

Таким образом, в целях эффективного использования орошаемых земель, экономии энергетических ресурсов и сохранения благоприятной экологической обстановки рекомендуется проводить выращивание сельскохозяйственных культур на основе почвозащитной технологии основной обработки почвы. Следует чередовать отвальную вспашку – одну из наиболее энергоемких операций – с обработкой почвы без оборота пласта. Отвальная вспашка, несмотря на высокую энергоемкость, по эффективности подавления сорняков, все же превосходит другие способы основной обработки. Поэтому она должна периодически использоваться в орошаемом севообороте для борьбы с сорняками.

8.3 Режимы орошения сельскохозяйственных культур

Режим орошения устанавливает сроки и нормы поливов в расчете на год определенной влагообеспеченности. Но прежде чем спроектировать ре-

жим орошения необходимо знать биологические оптимальные нормы водопотребности сельскохозяйственных культур или оросительные нормы.

На настоящий момент они разработаны для всех орошаемых регионов с учетом климатических, почвенно-мелиоративных условий, а также особенностей выращиваемых культур [230]. С этих позиций режим орошения устанавливается таким, который требует культура. Но в то же время optimum влажности почвы для каждой культуры разный. Это наглядно представлено в таблице 53 [231]. Эти особенности культур следует учитывать как при выборе видов и способов полива, а так и назначения их сроков проведения.

Таблица 53 – Optimum 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 Огурцы	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

Режимы орошения включают различные виды поливов: влагозарядковые, предпосевные и вегетационные. Влагозарядковые поливы, которые используются в течение всего вегетационного периода, необходимы для создания влаги.

В первую очередь такие поливы 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.

Для культур со слабой корневой системой, глубина проникновения которой не превышает 80–100 см, решающее значение имеют вегетационные

поливов. Они, прежде всего, необходимы для овощных культур (огурцы, капуста, помидоры и др.).

Предпосевные поливы проводятся для всех культур, если невозможно получить всходы, то есть 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, прежде всего, в начальные периоды развития культур, 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 таблице 54.

Таблица 54 – Критические фазы развития сельскохозяйственных культур

Озимые	Выход в трубку – налив зерна
Кукуруза	За 10 дней до выметывания, 20 дней после массового выметывания
Зернобобовые	Бутизация – цветение
Корнеплоды	Развитие листьев, формирование и рост корней
Картофель	Бутизация, массовое клубнеобразование

Критические фазы особенно четко проявляются у таких культур, как озимая пшеница, ячмень кукуруза, соя, сорго, и по зонам увлажнения они протекают в разные сроки (таблица 55) [78].

Таблица 55 – Продолжительность критического периода сельскохозяйственных культур по зонам природной влагообеспеченности

Культура	Период вегетации	Зоны увлажнения по Ку					
		0,20–0,30 полу- сухая	0,30–0,40 очень засушли- вая	0,40–0,50 засуш- ливая	0,50–0,60 полуза- сушливая	0,60–0,70 полу- влажная	0,70–0,80 влажная
1	2	3	4	5	6	7	8
Озимая пшеница	Выход в трубку – налив зерна	28.04– 18.06	30.04– 20.06	02.05– 22.06	03.05– 24.06	05.05– 24.06	04.05– 27.06

Продолжение таблицы 55

1	2	3	4	5	6	7	8
Кукуруза (средне- спелые гибриды)	За 10–12 дней до вы- метывания метелок – начало мо- лочной спе- лости	28.06– 01.07	01.07– 06.08	02.07– 08.08	03.07– 08.08	11.07– 08.08	11.07– 08.08
Соя	Цветение – налив бобов	–	–	01.07– 20.08	01.07– 20.08	01.07– 25.08	02.07– 28.08
Сорго	Образова- ние соцвет- ий – налив зерна	08.07– 08.08	16.07– 28.08	16.07– 27.08	05.07– 10.08	07.08– 11.08	02.07– 28.08
Ячмень	Выход в трубку – ко- лошение	09.05– 06.06	20.05– 08.06	23.05– 12.06	25.05– 15.06	28.05– 18.06	29.05– 20.06

При соблюдении режимов орошения важно не только установить сроки проведения поливов по критическим фазам развития растений и по снижению порога влажности, но и правильно рассчитать поливную норму.

Режим орошения целесообразно оптимизировать программными методами. Оросительные, поливные нормы и сроки их проведения зависят от множества факторов: сельскохозяйственной культуры, типа почвы, количества осадков, температуры и влажности воздуха и др. С помощью программных средств можно разработать оптимальный режим орошения с учетом перечисленных факторов, который позволит удовлетворить потребность растений в воде, производить полив в оптимальные сроки и обеспечить экономное ее расходование. Программа оптимизации режима орошения реализуется на современных персональных компьютерах.

Алгоритм включает в себя расчет оросительной нормы, расчет поливной нормы, расчет сроков полива.

Оросительная норма M , $\text{м}^3/\text{га}$ для сельскохозяйственной культуры рассчитывается по следующей формуле:

$$M = KU - 10A \cdot n - (W_H - W_K) - W_{\text{гр}}, \quad (24)$$

где K – коэффициент суммарного водопотребления (приложение Ф, таблица Ф.1), $\text{м}^3/\text{т}$;

U – урожайность, задается самим пользователем с клавиатуры персонального компьютера, $\text{т}/\text{га}$;

A – сумма осадков за период вегетации культуры (приложение Ф, таблица Ф.2), которое составляется пользователем программы (агрономом) по данным ближайшей метеостанции, мм ;

n – коэффициент использования осадков (приложение Ф, таблица Ф. 1), для засушливой зоны $n = 0,35\text{--}0,4$;

$W_{\text{н}}$ – запас влаги перед посевом, $\text{м}^3/\text{га}$. $W_{\text{н}} = 100 \cdot h \cdot a \cdot y_{\text{н}}$, где h – глубина активного слоя почвы (приложение Ф, таблица Ф. 1), м , a – плотность сложения почвы (приложение Ф, таблица Ф.3) в зависимости от типа почвы и глубины активного слоя почвы, $\text{т}/\text{м}^3$; $y_{\text{н}}$ – начальная влажность почвы перед посевом, равная 0,95 наименьшей влагоемкости (приложение Ф, таблица Ф.1), сама наименьшая влагоемкость $y_{\text{нв}}$ выбирается из таблицы Ф.3 приложения Ф. Таким образом, начальная влагоемкость составит $y_{\text{н}} = 0,95y_{\text{нв}}$;

$W_{\text{к}}$ – запас влаги в активном слое почвы при уборке (конечный запас), $\text{м}^3/\text{га}$. $W_{\text{к}} = 100 \cdot h \cdot a \cdot y_{\text{к}}$, где $y_{\text{к}}$ – влажность в конце вегетации (предполивная влажность); 0,75 – коэффициент (приложение Ф, таблица Ф.1) и составляет 0,75 от наименьшей влагоемкости, таким образом, конечная влагоемкость равна $y_{\text{к}} = 0,75y_{\text{нв}}$;

$W_{\text{гр}}$ – поступление грунтовых вод в активный слой почвы, $\text{м}^3/\text{га}$.

Таким образом, для расчета оросительной нормы необходимо произвести следующие вычисления:

- 1) вычислить общую потребность в воде KU ,
- 2) определить поступление влаги в почву с осадками $10A \cdot n$,
- 3) рассчитать запасы влаги в активном слое почвы перед посевом $W_{\text{и}}$,
- 4) рассчитать запасы влаги в активном слое почвы при уборке культуры $W_{\text{н}}$,

5) вычислить оросительную норму M .

Пример расчета оросительной нормы для яровой пшеницы с урожайностью 3,5 т/га на темно-каштановой среднесуглинистой почве. Посев произведен 20 апреля, уборка 20 июля. Глубина залегания грунтовых вод 10 м.

1) общая потребность в воде: $M = KY = 1100 \cdot 3,5 = 3850 \text{ м}^3/\text{га}$,

2) поступление влаги в почву с осадками за период с 20 апреля по 20 июля: $10A \cdot n = 10 \cdot 68,9 \cdot 0,4 = 276 \text{ м}^3/\text{га}$.

3) запасы влаги в активном слое почвы перед посевом:

$$W_H = 100 \cdot h \cdot a \cdot y_H = 100 \cdot 0,7 \cdot 1,39 \cdot 0,95 \cdot 22,5 = 2082 \text{ м}^3/\text{га},$$

4) запасы влаги в активном слое почвы при уборке культуры

$$W_K = 100 \cdot h \cdot a \cdot y_K = 100 \cdot 0,7 \cdot 1,39 \cdot 0,75 \cdot 22,5 = 1642 \text{ м}^3,$$

5) оросительная норма

$$M = KY - 10A \cdot n - (W_i - W_H) - W_{гр} = 3850 - 276 - (2082 - 1642) = 3134 = 3100 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Поливная норма m рассчитывается по формуле:

$$m = 100 \cdot h \cdot a (y_{HB} - y_{HПВ}), \quad (25)$$

где h – глубина активного слоя почвы, м;

a – плотность сложения почвы, т/м³;

y_{HB} – наименьшая влагоемкость;

$y_{HПВ}$ – влажность почвы перед поливом, составляет 0,75 наименьшей влагоемкости.

Вычислим поливную норму для яровой пшеницы:

$$m = 100 \cdot h \cdot a (y_{HB} - y_{HПВ}) = 100 \cdot 0,7 \cdot 1,39 \cdot (22,5 - 0,75 \cdot 22,5) = 547 = 550 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Таким образом, чтобы компенсировать дефицит влаги в почве для получения урожайности яровой пшеницы 3,5 т/га, необходимо произвести $3100 : 550 = 5,6$ полива.

Следующий шаг алгоритма – расчет сроков поливов с учетом дефицита влажности воздуха, среднесуточных температур воздуха и выпадающих осадков.

Расчет сроков полива выполняется в следующей последовательности:

6) выбираются подекадные данные о среднесуточном дефиците влажности воздуха (приложение Ф, таблица Ф.2) и вносятся в 1-ю строку таблицы 56; декады берутся за весь период вегетации орошаемой сельскохозяйственной культуры,

7) вычисляются суммы среднесуточных дефицитов влажности воздуха за каждую декаду периода вегетации орошаемой культуры умножением среднесуточных дефицитов на длину декады – 10 дней ($\sum dn$) и вносятся в строку 2 таблицы 56,

8) выбираются подекадные суммы осадков (приложение Ф, таблица Ф.2) и вносятся в строку 3 таблицы 56,

9) среднесуточные температуры воздуха (приложение Ф, таблица Ф.2) вносятся в строку 4 таблицы 56,

10) вычисляются суммы среднесуточных температур воздуха за каждую декаду умножением среднесуточных температур на длину декады ($\sum tn$) и вносятся в строку 5 таблицы 56,

11) поправочные коэффициенты на длину светового дня для широты региона (приложение Ф, таблица Ф.2) вводятся в строку 6 таблицы 56,

12) рассчитываются суммы температур с поправкой на длину светового дня ($\sum tnl$) и вносятся в строку 7 таблицы 56,

13) вычисляются суммы приведённых температур нарастающим итогом от посева до уборки ($\sum \sum tnl$) и вносятся в строку 8 таблицы 56,

14) биоклиматические коэффициенты в соответствии с суммами приведенных температур (приложение Ф, таблица Ф.4) вставляются в строку 9 таблицы 56,

Таблица 56 – Расчет суммарного испарения и сроков полива яровой пшеницы

Период	Показатель / Условное обозначение											
	Средне-суточный дефицит влажности воздуха, мб	Сумма средне-суточных дефицитов влажности воздуха за декаду, мб	Осадки, мм	Средне-суточная температура воздуха, °С	Сумма средне-суточных температур воздуха за декаду, °С	Поправка на длину светового дня	Сумма температур с поправкой на длину светового дня, °С	Сумма приведенных температур с нарастающим итогом от посева, °С	Биоклиматический коэффициент	Суммарное испарение, м³/га	Запасы влаги в почве на конец декады, м³/га	Срок полива
	d	∑dn	A	t	∑tn	l	∑tnl	∑∑tnl	K	E	Wк	
Апрель	12,3	123	8,1	12,3	123	1,20	148	148	0,30	369	1792	–
Май												
1	15,3	153	5,6	16,1	161	1,26	203	351	0,36	551	1642	–
2	15,0	150	2,0	19,2	192	1,30	250	601	0,44	660	–	13.05
3	16,0	160	1,6	19,2	192	1,33	254	855	0,47	752	–	21.05
Июнь												
1	14,0	140	7,0	19,8	198	1,36	269	1124	0,41	574	–	–
2	15,0	150	4,3	21,7	217	1,37	297	1421	0,34	510	–	–
3	17,0	170	1,3	22,6	226	1,38	312	1733	0,27	459	–	–
Июль												
1	18,5	185	25,3	23,8	238	1,37	326	2059	–	1850	–	–
2	15,5	155	13,7	23,7	237	1,34	318	2377	–	1550	–	–

15) рассчитывается суммарное испарение по формуле: $E = \sum dK_{10}$ и вносится в строку 10 таблицы 56.

16) вычисляются запасы влаги в расчетном слое почвы при наименьшей влагоемкости $W_{зв} = 100 \cdot a \cdot h \cdot y_{нв}$ (a – плотность сложения почвы и наименьшая влагоемкость $y_{нпв}$ берутся из таблицы Ф.3 приложения Ф, для глубины активного слоя почвы данной культуры и данного типа, подтипа и гранулометрического состава почвы),

17) вычисляются запасы влаги в расчетном слое почвы при нижнем пороге влажности: $W_{зв} = 0,75 \cdot W_{нв}$ (коэффициент 0,75 – доля от наименьшей влагоемкости выбирается применительно к данной культуре),

18) вычисляются запасы влаги в расчетном слое почвы в начале вегетации растений: $W_{н} = 0,95 \cdot W_{нв}$ (коэффициент 0,95 берется из таблицы Ф.1 приложения Ф для данной культуры в столбце «начальная влажность»),

19) вычисляются запасы влаги в почве на конец каждой декады, приведенной в таблице 56, по формуле: $W_{к} = W_{н} + A + m - E$ и вносятся в строку 11 таблицы 56, сумма осадков за декаду берется из таблицы Ф.2 приложения Ф и умножается на 10, так как 1 мм осадков – это $10 \text{ м}^3/\text{га}$ влаги в почве,

20) полив производится при нижнем пороге влажности почвы, который рассчитан в пункте 4, вычисляется превышение нижнего порога влажности: $\Delta = W_{к} - W_{нпв}$,

21) вычисляется, за сколько дней будет израсходовано превышение нижнего порога влажности делением этого превышения на суммарное испарение за сутки в данной декаде.

Аналогично рассчитываются сроки других поливов.

Пример расчета срока полива яровой пшеницы:

1) заполним таблицу 56 взятыми из приложения Ф (таблицы Ф.1–Ф.4) исходными или соответствующим образом обработанными данными,

2) вычислим запасы влаги в расчетном слое почвы в начале вегетации растений: $W_{н} = 0,95 \cdot W_{нв} = 0,95 \cdot 2189 = 2080 \text{ м}^3/\text{га}$ (коэффициент 0,95 возъ-

мом из таблицы Ф.1 приложения Ф для яровой пшеницы в столбце «начальная влажность»),

3) вычислим суммарное испарение за третью декаду апреля:

$$E = \sum dK_{10} = 0,3 \cdot 123 \cdot 10 = 369 \text{ м}^3/\text{га},$$

4) вычислим запасы влаги в почве на конец каждой декады по приведенной в таблице формуле $W_k = W_n + A + m - E$ и внесем в строку 11 таблицы 56, например, для третьей декады апреля $W_k = 2080 + 81 + 0 - 369 = 1792 \text{ м}^3$; $81 \text{ м}^3/\text{га} = 8,1 \text{ мм}$ сумма осадков за третью декаду апреля, берем из таблицы Ф.2 приложения Ф и умножаем на 10, т. К. 1 мм осадков – это $10 \text{ м}^3/\text{га}$ влаги в почве,

5) полив производим при нижнем пороге влажности почвы, который по нашим расчетам составляет $1642 \text{ м}^3/\text{га}$ (см. п. 4), вычисляем превышение нижнего порога влажности: $A = W_k - W_{\text{нпв}} = 1792 - 1642 = 150 \text{ м}^3/\text{га}$,

6) вычислим, за сколько дней будет израсходовано превышение нижнего порога влажности ($150 \text{ м}^3/\text{га}$), для чего это превышение разделим на суммарное испарение за сутки в первой декаде мая ($55 \text{ м}^3/\text{га}$), при отсутствии осадков $150 \text{ м}^3/\text{га}$ будет израсходовано в течение $150 : 55 = 2,7 \approx 3$ суток.

Следовательно, полив необходимо произвести не позднее 13 мая.

Аналогично рассчитываются сроки других поливов:

1) запас влаги в почве на 14 мая равен $1642 + 550 + 20 = 2192 \text{ м}^3/\text{га}$,

2) за оставшиеся 7 дней второй декады мая суммарное испарение составит: $E = \sum dK_{10} = 0,44 \cdot 7 \cdot 15 \cdot 10 = 462 \text{ м}^3/\text{га}$, 15 – среднесуточный дефицит влажности воздуха во второй декаде мая,

3) превышение нижнего порога влажности $\Delta = 2192 - 1642 = 550 \text{ м}^3/\text{га}$,

4) это превышение ($550 \text{ м}^3/\text{га}$) покроет потери на суммарное испарение $462 \text{ м}^3/\text{га}$ во второй декаде мая и останется эффективной влаги на третью декаду мая $550 - 462 = 88 \text{ м}^3/\text{га}$,

5) суммарное испарение за сутки в третьей декаде мая составит $75 \text{ м}^3/\text{га}$ (берем из строки 10 таблицы 56 суммарное испарение за декаду и делим на 10 – $752 : 10 \approx 75 \text{ м}^3/\text{га}$),

6) эффективная влага будет израсходована за одни сутки: $88 : 75 \approx 1$ сут; следовательно, полив должен быть произведен не позже 21 мая,

7) запас влаги в почве на 22 мая равен $1642 + 550 + 13 = 2205 \text{ м}^3/\text{га}$,

8) за оставшиеся восемь дней третьей декады мая суммарное испарение составит $0,47 \cdot 8 \cdot 16 \cdot 10 = 602 \text{ м}^3/\text{га}$; превышение нижнего порога влажности $\Delta = 2205 - 1642 = 563 \text{ м}^3/\text{га}$ и т. д.

Рассчитываем суммарное испарение $E = K\Sigma 7d10 = 0,44 \cdot 7 \cdot 15 \cdot 10 = 462 \text{ м}^3/\text{га}$, 15 – среднесуточный дефицит влажности воздуха во второй декаде мая; 0,44 – биоклиматический коэффициент,

9) определим превышение нижнего порога влажности:

$$\Delta = 2192 - 1642 = 550 \text{ м}^3/\text{га},$$

10) это превышение ($550 \text{ м}^3/\text{га}$) покроет потери на суммарное испарение $462 \text{ м}^3/\text{га}$ и останется эффективной влаги на третью декаду мая $550 - 462 = 88 \text{ м}^3/\text{га}$,

11) суммарное испарение за сутки в третьей декаде мая составит $75 \text{ м}^3/\text{га}$ (берем из строки 10 таблицы 56 суммарное испарение за декаду и делим на 10: $752 : 10 \approx 75 \text{ м}^3/\text{га}$),

12) эффективная влага будет израсходована за 1 сутки: $88 : 75 \approx 1$ сут; следовательно, полив должен быть произведен не позже 21 мая и т. д.

Для работы программы необходима информация, представляющая собой характеристики сельскохозяйственных культур, водно-физических свойств почв, метеорологических параметров различных территорий [232]. Для условий Поволжья разработано приложение Ф, содержащее справочную условно-постоянную информацию:

– таблица Ф.1 приложения Ф – Водно-биологические характеристики сельскохозяйственных культур,

– таблица Ф.2 приложения Ф – Метеорологические показатели,

– таблица Ф.3 приложения Ф – Водно-физические свойства орошаемых почв,

– таблица Ф.4 приложения Ф – Биоклиматические коэффициенты.

Таблица Ф.2 приложения Ф содержит переменную информацию, т. е. метеорологические показатели для конкретной местности для текущего года. Эта информация должна создаваться самим пользователем (агрономом, фермером) по данным ближайшей метеостанции по мере их поступления.

При расчете оросительных и поливных норм, сумму осадков в вегетационном периоде рекомендуется брать по средним многолетним данным. В приведенном примере расчета режима орошения таблица Ф.2 приложения Ф построена по средним многолетним данным метеостанции Саратовской области. Для каждой местности он будет специфичным, применительно к данным условиям.

На орошаемых землях используется главным образом широкозахватная дождевальная техника [233, 234]. Это вызвано ее высокой потенциальной производительностью, малыми затратами на эксплуатацию, возможностью регулирования и подбора рабочих параметров, наиболее полно соответствующих агроэкологоэкономическим требованиям к режиму орошения сельскохозяйственных культур [235, 236].

Основные технические характеристики используемых дождевальных машин приведены в таблице 57.

Состояние дождевальных машин, износ дождеобразующих устройств снижает на 25–30 % эффективность и качество полива, приводя к значительным потерям поливной воды. Средняя интенсивность дождя ДМ «Фрегат» составляет 0,27 мм/мин. Такой дождь оказывает большое энергетическое воздействие на почву, разрушая ее структуру и ухудшая водно-физические свойства. Возрастает несоответствие между впитывающей способностью почвы и интенсивностью дождя, что приводит к стоку, плоскостной эрозии, возникновению очагов подпитки грунтовых вод. Поэтому для предотвращения указанных негативных явлений необходимо применять конструкции дождевальных аппаратов, уменьшающих диаметр капель высоко расходных струй, снижать угол их наклона к горизонту до 150° , что позволяет повысить ветроустойчивость дождя и снизить потери поливной воды на снос.

Таблица 57– Агротехнические показатели полива дождевальными машинами

Марка машины	Расход воды, л/с	Напор, МПа	Площадь полива с одной позиции, га	Производительность при поливной норме 30 мм, га/ч	Интенсивность дождя, мм/мин		Средний диаметр капель, мм
					средняя	мгновенная	
ДДА-100 МА	130	0,37	–	1,56	0,1	3,5	1,4
ДКШ-64 «Волжанка»	64	0,40	1,44	0,77	0,27	1,70	1,5
«Фрегат»							
ДМ-454-100	58–100	0,5–0,7	40,5–72	0,7–1,2	0,18–0,32	1,5–2,5	0,85–1,57
ДМЧ-А	28–75	0,46–0,57	15,8–54,6	0,03–0,9	0,17–0,30	1,4–2,4	0,85–1,57
ДМЧ-Б	60–90	0,53–0,66	51,3–111,3	0,7–1,08	0,18–0,31	1,5–2,5	0,85–1,57
«Днепр»							
ДФ-120	120	0,45	2,43	1,39	0,32	2,95	1,5
ДДН-70	65	0,52	0,94	0,78	0,415	8,45	2,0
ДДН-100	100	0,65	1,45	1,2	0,27-0,30	9,7	2,5

Хороший результат по ветроустойчивости обеспечивают также насадки, имеющие два криволинейных отражателя противоположно направленные относительно друг друга, формирующие дождь с меньшим диаметром капель к горизонтальной плоскости [237].

Дефицит ресурсов и высокая стоимость энергоносителей диктует необходимость отказа от высоконапорных технологий. Одним из главных качественных показателей полива дождеванием является равномерность увлажнения участка, которая должна составлять не менее 0,7–0,8.

Для повышения качества полива в ВолжНИИГиМ разработаны: карты расстановки дождевальных аппаратов по типам, размерам и диаметрам насадок и настройке их на требуемый расход при помощи регулировочных шайб; технические решения для автоматического регулирования скорости движения ДМ и расхода воды при поливах в зависимости от уровня залегания грунтовых вод и элементов рельефа; дождевальные насадки из полимерных материалов, которые будучи в 6–8 раз дешевле аппаратов из цветных металлов, обеспечивают равноценное (по сравнению с последними) качество полива при значительно меньших затратах на проведение регулировочных работ расходных характеристик; сливные устройства для ДМ из полимерных материалов, предохраняющие от избыточного полива в зоне ее движения [236].

С целью снижения энергоемкости полива необходимо переводить широкозахватные дождевальные машины в низконапорный режим работы, что обеспечивает экономию материально-технических ресурсов на проведение поливов на 25–30 %. Перевод двухконсольных машин ДДА-100 МА в режим приповерхностного дождевания также позволяет обеспечить снижение энергоемкости полива, увеличение расхода воды машины, снижение потери воды на испарение и снос, улучшение условия труда механизаторов [235, 236].

Для снижения трудовых затрат на проведение поливов и повышения надежности работы ДМ «Фрегат» необходимо использовать совершенные средства гидравлической защиты, позволяющей дистанционно управлять

дождевальная машина, исключать ее поломки и осуществлять автоматическое управление с насосной станции. Целесообразно также использовать дождевальные машины многофункционального назначения, обеспечивающие проведение нескольких технологических операций:

- полив сельскохозяйственных культур, в т. ч. поверхностный и приповерхностный полив, обычное и мелкодисперсное дождевание,
- внесение химических удобрений, стимуляторов роста и средств защиты растений одновременно с проведением полива сельскохозяйственных культур или без него,
- движение машины без проведения полива.

В орошаемом земледелии на настоящий момент применяется два способа полива с их разновидностями – дождевание и поверхностный. Основные требования к способам полива состоят в следующем:

- обеспечивать равное увлажнение почвы и широкое применение механизации работ по уходу за посевами и уборке урожая,
- экономное использование поливной воды и высокую производительность труда,
- получение высоких урожаев при воспроизводстве почвенного плодородия и сохранения удовлетворительного состояния длительно орошаемых земель.

Выбор способа и техники полива при назначении режимов орошения определяется рядом факторов, а именно: климатическими, рельефными, почвенными, гидрологическими, биологическими, водохозяйственными, организационно-экономическими.

Сила ветра, один из важнейших показателей климатических условий, определяет возможность применения разных видов поливной техники. При скорости ветра более 2 м/с осложняется применения дальнеструйных дождевальных машин, а при ветре более 5 м/с – короткоструйных. И в том и другом случае нарушается равномерность увлажнения почвы. Кроме скорости ветра существенную роль играют температура и относительная влажность

воздуха, так как именно они во многом определяют режим орошения, а, следовательно, диктуют какие способы и техника полива должны применяться.

Рельеф, определяющий уклон местности, устанавливает какой способ полива лучше применить на участке. Так поливы дождеванием необходимо осуществлять на полях с уклоном до 0,003, а поверхностные поливы по бороздам и полосам, на участках с уклонами, составляющими от 0,001 до 0,008.

Из почвенных условий главными при выборе способов и техники полива являются скорость впитывания, коэффициент фильтрации и степень и глубина засоления почвы. На почвах с повышенной скоростью впитывания поливы лучше осуществлять дождеванием, а при пониженной – предпочтительнее поверхностные способы поливы. При наличии засоления в корнеобитаемых слоях требуется промывка почв. Ее лучше осуществлять поверхностными способами.

Гидрологические условия орошаемых участков в первую очередь характеризуются глубиной залегания грунтовых вод и ее минерализацией. При близком залегании и слабой минерализации грунтовых вод, безусловно, следует проводить поливы дождеванием и малыми поливными нормами. Поверхностные поливы на таких участках очень опасны, так как они вызовут резкое поднятие уровня грунтовых вод.

При глубоком залегании грунтовых вод (более 3 м) применим комбинированный способ полива – дождевание в вегетационный период и влагозарядка поверхностным способом.

К биологическим факторам относится продолжительность вегетационного периода растения и глубина проникновения корневой системы.

Для культур с глубокой корневой системой, таких как озимая пшеница, кукуруза, люцерна целесообразно поливать поверхностным способом, а средне- и мелкоукореняющиеся растения (картофель, горох, лук, томат и др.) лучше поливать дождеванием.

Выбор способа и техники полива также определяется водохозяйственными и организационно-экономическими условиями. При нехватке водных

ресурсов предпочтение следует отдавать дождевальнoй технике, как более экономичной, а в случае невозможности сельхозпроизводителями приобретения современной техники из-за отсутствия средств необходимо поливать поверхностными способами, учитывая все их требования, в том числе, сохранение плодородия длительно орошаемых земель. Проектный режим орошения сельскохозяйственных культур в различных почвенно-климатических зонах, представлен в таблице 58 [78].

Таблица 58 – Поливной режим сельскохозяйственных культур по природно-климатическим зонам Северного Кавказа

Год	№ по-лива	Полив-ная норма, м ³ /га	Средняя дата полива	Межполив-ной период, дни	Среднесуточ-ный расход оросительной воды, м ³ /га	Ороси-тельная норма, м ³ /га
1	2	3	4	5	6	7
Полусухая зона (Ку = 0,2–0,3)						
Озимая пшеница						
Средний (50 %)	0	1000	25.09	–	–	2000
	1	500	28.04	35	28	
	2	500	12.05	14	36	
Среднесу-хой (75 %)	0	1100	25.09	–	–	2650
	1	530	05.05	35	31	
	2	500	25.05	20	27	
	3	500	12.06	18	28	
Сухой (95 %)	0	1450	25.09	–	–	3650
	1	600	05.05	35	41	
	2	600	25.05	20	30	
	3	500	05.06	11	54	
	4	500	12.06	7	71	
Кукуруза на зерно						
Средний (50 %)	1	400	01.06	–	–	3600
	2	400	15.06	14	28	
	3	500	25.04	20	20	
	4	700	15.07	10	50	
	5	800	05.08	20	35	
	6	800	15.08	10	80	
Среднесу-хой (75 %)	0	800	01.10	–	–	4400
	1	400	01.06	–	–	
	2	400	15.06	15	27	
	3	500	05.07	20	20	
	4	700	15.07	–	–	
	5	800	05.08	10	50	
	6	800	15.08	10	80	

Продолжение таблицы 58

1	2	3	4	5	6	7
Сухой (95 %)	0	1200	01.10	—	—	5600
	1	400	01.06	—	—	
	2	400	15.06	15	27	
	3	500	05.07	22	18	
	4	700	15.07	10	50	
	5	800	05.08	—	—	
	6	800	15.08	10	80	
Люцерна прошлых лет						
Средний (50 %)		1200	15.10	—	—	5400
		800	03.06	—	—	
		800	25.06	22	36	
		800	12.07	17	47	
		900	17.08	36	22	
		900	05.09	19	47	
Среднесу- хой (75 %)	0	1200	15.10	—	—	—
	1	900	02.06	—	—	
	2	1000	26.06	—	—	
	3	1000	—	—	—	
	4	1000	—	—	—	
	5	1000	—	—	—	
Сухой (95 %)	0	1200	15.10	—	—	6900
	1	700	02.06	—	—	
	2	1000	26.06	24	29	
	3	1000	13.07	17	59	
	4	1000	24.07	11	90	
	5	1000	18.08	25	40	
	6	1000	02.09	20	50	
Очень засушливая зона (Ку = 0,3–0,4)						
Озимая пшеница						
Средний (50 %)	0	800	25.09	—	—	1800
	1	500	05.05	35	23	
	2	500	12.06	37	14	
Среднесу- хой (75 %)	0	900	25.09	—	—	2400
	1	500	05.05	35	26	
	2	500	25.05	20	25	
	3	500	12.06	18	28	
Сухой (95 %)	0	1000	25.09	—	—	3100
	1	600	05.05	35	29	
	2	50	25.05	20	30	
	3	500	05.06	12	42	
	4	500	12.06	7	71	
Кукуруза на зерно						
Средний (50 %)	0	400	01.10	—	—	2700
	1	400	12.06	15	27	
	2	400	27.06	13	31	
	3	500	10.07	15	33	
	4	500	25.07	18	28	
	5	500	12.08	—	—	

Продолжение таблицы 58

1	2	3	4	5	6	7
Среднесу- хой (75 %)	0	600	01.10	—	—	3400
	1	500	12.06	16	31	
	2	500	28.06	12	42	
	3	600	10.07	15	40	
	4	600	25.07	14	4	
	5	600	10.08	—	—	
Сухой (95 %)	0	1000	01.10	—	—	3800
	1	500	12.06	15	33	
	2	500	27.06	13	38	
	3	600	10.07	15	40	
	4	600	25.07	16	37	
	5	600	10.08	—	—	
Люцерна прошлых лет						
Средний (50 %)	0	1000	01.10	35	28	4500
	1	800	06.06	—	—	
	2	900	04.07	28	29	
	3	900	19.07	15	60	
	4	900	04.08	16	56	
Среднесу- хой (75 %)	0	1200	01.10	35	34	5400
	1	800	05.06	—	—	
	2	900	05.07	31	6	
	3	900	20.07	15	53	
	4	900	04.08	14	57	
	5	900	22.08	18	50	
Сухой (95 %)	0	1200	01.10	35	34	6500
	1	800	25.05	—	—	
	2	900	10.06	16	50	
	3	900	25.06	15	60	
	4	900	10.07	15	60	
	5	900	28.07	18	50	
	6	900	15.08	17	53	
Засушливая зона (Ку = 0,4–0,5)						
Озимая пшеница						
Средний (50 %)	0	500	25.09	35	14	1500
	1	500	05.05	38	13	
	2	500	12.06	—	—	
Среднесу- хой (75 %)	0	600	25.09	—	—	2200
	1	600	05.05	35	17	
	2	500	25.05	20	30	
	3	500	12.06	18	28	
Сухой (95 %)	0	700	25.09	—	—	2700
	1	500	05.05	35	20	
	2	500	25.05	20	25	
	3	500	05.06	11	45	
	4	500	15.06	10	50	

Продолжение таблицы 58

1	2	3	4	5	6	7
Кукуруза на зерно						
Средний (50 %)	1	400	10.06	—	—	2500
	2	400	25.06	16	25	
	3	500	10.07	15	33	
	4	600	25.07	16	37	
	5	600	10.08	—	—	
Среднесу- хой (75 %)	0	500	10.06	—	—	3200
	1	400	24.06	—	—	
	2	400	10.07	16	16	
	3	500	24.07	14	14	
	4	700	04.08	11	11	
	5	700	15.08	12	12	
Сухой (95 %)	0	900	10.06	—	—	3700
	1	400	25.06	—	—	
	2	400	09.07	14	14	
	3	60	23.07	14	14	
	4	700	02.08	10	10	
	5	700	14.08	12	12	
Люцерна прошлых лет						
Средний (50 %)	0	1000	05.10	35	28	4000
	1	700	07.06	—	—	
	2	700	05.07	38	18	
	3	800	20.07	15	4	
	4	800	06.08	17	47	
Среднесу- хой (75 %)	0	1000	05.10	35	28	4700
	1	70	07.06	—	—	
	2	700	05.07	30	23	
	3	70	22.07	15	47	
	4	800	02.08	10	70	
	5	800	20.08	18	44	
Сухой (95 %)	0	1000	01.10	—	—	6500
	1	900	06.06	35	28	
	2	1000	05.07	29	31	
	3	1000	22.07	17	59	
	4	1000	02.08	15	66	
	5	1000	20.08	18	55	
Полузасушливая зона (Ку = 0,5–0,6)						
Озимая пшеница						
Средний (50 %)	0	400	25.09	—	—	1100
	1	400	05.05	35	11	
	2	300	12.06	38	10	
Среднесу- хой (75 %)	0	500	25.09	—	—	1850
	1	450	05.05	35	14	

Продолжение таблицы 58

1	2	3	4	5	6	7
	2	450	25.05	20	22	
	3	450	12.06	18	25	
Сухой (95 %)	0	600	25.09	—	—	2400
	1	50	05.05	35	17	
	2	450	20.05	15	30	
	3	450	05.06	16	28	
	4	450	15.06	10	45	
	Кукуруза на зерно					
Средний (50 %)	1	400	07.06	—	—	2200
	2	500	22.06	15	26	
	3	600	18.07	26	23	
	4	700	06.08	19	31	
Среднесу- хой (75 %)	0	650	25.09	—	—	2950
	1	400	07.06	—	—	
	2	500	23.06	16	25	
	3	700	20.07	27	18	
	4	700	06.08	17	41	
Сухой (95 %)	0	800	26.09	—	—	3560
	1	400	20.04	—	—	
	2	460	20.05	30	13	
	3	500	20.06	30	15	
	4	700	10.07	20	25	
	5	700	28.07	18		
Люцерна прошлых лет						
Средний (50 %)	1	700	25.04			3350
	2	800	20.05	35	28	
	3	900	20.06	30	27	
	4	950	25.07	35	26	
Среднесу- хой (75 %)	0	900	20.09	35	26	4400
	1	800	24.04	—	—	
	2	800	22.05	28	28	
	3	950	21.06	27	30	
	4	950	26.07	35	27	
Сухой (95 %)	0	900	22.09	35	26	5100
	1	800	25.04	—	—	
	2	800	23.05	29	27	
	3	800	21.06	29	27	
	4	900	26.07	35	23	
	5	900	10.08	15	60	
Полувлажная зона (Ку = 0,6–0,7)						
Озимая пшеница						
Средний (50 %)	0	400	25.09	—	—	900
	1	500	05.05	—	—	
Среднесу- хой (75 %)	0	510	25.09	—	—	1610
	1	550	05.05	35	14	
	2	550	12.06	38	14	

Продолжение таблицы 58

1	2	3	4	5	6	7
Сухой (95 %)	0	600	25.09	—	—	2200
	1	600	05.05	35	17	
	2	500	12.05	20	30	
	3	500	12.06	18	28	
Кукуруза на зерно						
Средний (50 %)	1	430	10.06	—	—	1530
	2	500	15.07	35	12	
	3	600	05.08	21	24	
Среднесу- хой (75 %)	1	500	10.06	—	—	2400
	2	600	05.07	25	24	
	3	600	25.07	20	30	
	4	700	06.08	12	50	
Сухой (95 %)	0	90	25.09	—	—	3300
	1	500	10.06	—	—	
	2	600	06.07	26	19	
	3	600	28.07	22	27	
	4	700	08.08	11	54	
Люцерна прошлых лет						
Средний (50 %)	0	650	20.09	—	—	2850
	1	700	20.04	35	18	
	2	800	20.05	30	2	
	3	800	05.07	45	7	
Среднесу- хой (75 %)	0	700	25.09	—	—	3600
	1	700	25.04	35	20	
	2	700	20.05	25	28	
	3	700	20.06	30	23	
	4	800	20.07	30	23	
Сухой (95 %)	0	800	18.09	35	23	4800
	1	1000	23.04	—	—	
	2	1000	18.05	25	40	
	3	1000	15.06	28	36	
	4	1000	18.07	33	30	
Влажная зона (Ку = 0,7–0,8)						
Озимая пшеница						
Средний (50 %)	1	520	25.04	—	—	520
Среднесу- хой (75 %)	0	500	05.09	—	—	1190
	1	690	20.05	—	—	
Сухой (95 %)	0	600	05.09	—	—	1800
	1	600	25.04	35	17	
	2	600	20.05	25	24	
Кукуруза на зерно						
Средний (50 %)	1	220	10.06	—	—	1120
	2	400	05.07	15	27	
	3	500	20.07	—	—	
Среднесу- хой (75 %)	1	500	10.06	—	—	1700
	2	600	05.07	—	—	
	3	600	25.07	20	20	

Продолжение таблицы 58

1	2	3	4	5	6	7
Сухой (95 %)	0	690	01.09	—	—	2790
	1	700	05.06	—	—	
	2	700	07.07	33	21	
	3	700	25.07	18	39	
Люцерна прошлых лет						
Средний (50 %)	1	600	20.04	—	—	1960
	2	660	22.05	32	19	
	3	700	25.07	62	20	
Среднесу- хой (75 %)	0	500	15.09	—	—	300
	1	800	20.04	—	—	
	2	800	22.05	32	2	
	3	900	05.07	44	19	
Сухой (95 %)	0	600	20.09	—	—	4100
	1	800	25.04	—	—	
Сухой (95 %)	2	900	25.05	30	27	4100
	3	900	08.07	44	20	
	4	900	10.08	33	27	

Примечание – 0 – влагозарядковые поливы, 1, 2 и т. д. – вегетационные поливы.

Глубина увлажнения зависит от вида растений, как видно из таблицы 58, но также от типа почвы и рельефа местности. При орошении дождеванием в среднем она составляет 0,5–0,7 м, при поверхностных поливах 0,8–1,2 м.

Нормы водопотребности сельскохозяйственных культур по природно-климатическим зонам с различным коэффициентом увлажнения территорий представлены в ГОСТ Р 58331.3-2019 [230].

8.4 Система удобрений на орошаемых землях

Для предотвращения снижения запасов гумуса, уменьшения площадей пашни с низким содержанием доступных элементов питания, ликвидации пестроты по обеспеченности доступными формами фосфора и калия необходимы разработка и применение новых способов регулирования плодородия орошаемых почв, используя удобрения отечественного производства (приложение X) [238].

Для получения планируемой урожайности сельскохозяйственных культур и регулирования эффективного плодородия орошаемых почв в условиях

выраженной его пространственной неоднородности даже в пределах отдельных хозяйств малоприемлемы среднезональные рекомендованные дозы минеральных удобрений. Они установлены на основе усреднения результатов полевых опытов в условиях разной обеспеченности почв элементами питания. Поэтому большое распространение получили разнообразные расчетные методы уточнения доз, применение которых обеспечило реальное решение проблемы получения планируемой урожайности сельскохозяйственных культур при разном состоянии эффективного плодородия почвы конкретного орошаемого поля [238].

Наиболее распространенными из расчетных методов определения доз удобрений являются [239]:

- методы определения функций продуктивности в системе «почва – растение – удобрение»,
- балансовые методы по выносу питательных веществ растениями на основе коэффициентов использования питательных веществ и удобрений или коэффициентов возмещения их выноса из почвы.

В сухостепной зоне в 6-польном зерно-кормовом севообороте в течение 2016–2021 гг. изучалось влияние на продуктивность пашни и плодородие длительно орошаемой темно-каштановой почвы систем удобрений, основанных на использовании органических, минеральных, органоминеральных удобрений и экономного, оптимального и интенсивного режимов орошения.

Почвы опытного участка в процессе более полувекового интенсивного использования в условиях орошения потеряли до 30 % запасов гумуса. Этот процесс значительно усилился в последние десятилетия, и его приостановка была очень важна для сохранения потенциала орошаемой пашни [238].

Известно, что в составе навоза накапливается значительное количество гумифицированного материала. При длительном орошаемом земледелии, сопровождающемся высокой интенсивностью микробиологической минерализации органических остатков и снижением коэффициентов их гумификации, внесение в почву готового гумифицированного материала имеет исключи-

тельно важное значение. Существенное улучшение гумусового состояния почв, потерявших много гумуса, возможно только при внесении значительного количества органических удобрений (до 80–150 т/га). Поэтому в системах удобрений, основанных на использовании органических и органоминеральных удобрений, авторами изучались среднегодовые дозы навоза 26,6 и 53,3 т/га. В первом случае подстилочный навоз вносили один, во втором – два раза за ротацию по 160 т/га.

Дозы удобрений определены с учетом достижения бездефицитного баланса азота, фосфора и калия за ротацию севооборота исходя из обеспеченности почв участка этими элементами минерального питания. Абсолютные значения расчетных доз удобрений приведены в таблице 59.

Таблица 59 – Минеральные удобрения в зерно-кормовом орошаемом севообороте, кг д. в. /га

Удобрение	Режим орошения	Сумма за ротацию			На 1 га севооборотной площади		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Органоминеральные удобрения А*	Экономный	540,1	87,2	90,0	90,0	14,5	15,0
	Оптимальный	795,2	148,2	90,0	132,5	24,7	15,0
	Интенсивный	528,8	174,4	90,0	88,1	29,1	15,0
Органоминеральные удобрения В*	Экономный	653,6	101,2	90,0	108,9	16,9	15,0
	Оптимальный	918,5	172,8	90,0	153,1	28,8	15,0
	Интенсивный	1057,7	251,6	90,0	176,3	41,9	15,0
Минеральные удобрения А	Экономный	785,9	307,2	134,0	131,0	51,2	22,3
	Оптимальный	836,7	298,8	135,0	139,5	49,8	22,5
	Интенсивный	1015,0	350,6	164,0	169,2	58,4	27,3
Минеральные удобрения В	Экономный	804,0	358,8	127,0	134,0	59,8	21,2
	Оптимальный	949,0	370,8	143,0	158,2	61,8	23,8
	Интенсивный	1177,5	439,4	168,0	196,3	73,2	28,0

Примечание – * Вариант А – доза органических и минеральных удобрений на средний уровень урожайности культур севооборота; Вариант В – доза органических и минеральных удобрений на интенсивный уровень урожайности культур севооборота.

Режимы орошения обеспечивали поддержание предполивной влажности в активном слое почвы: экономные – на уровне 60 % НВ, умеренные и повышенные – соответственно 70 и 80 % НВ в критические периоды роста и развития культур, 60 и 70 % НВ – в остальные периоды. Режимы орошения отличались поливными нормами, числом поливов (таблица 60).

Таблица 60 – Оросительные нормы (м³/га) и число поливов при различных режимах орошения разной интенсивности

Год	Режим орошения		
	Экономный	Оптимальный	Интенсивный
2016	1350 (3)*	1700 (4)*	2150 (5)
2017	650 (1)	700 (2)*	1150 (3)
2018	550 (1)	1100 (2)	1500 (4)
2019	600 (2)*	1000 (3)*	1250 (3)
2020	1650 (3)	1650 (3)	1650 (3)
2021	3300 (7)	3200 (7)	4300 (8)

Примечание – * – один полив удобрительный, нормой 150 м³/га.

Изучение действия различных систем удобрений на урожайность культур зернокормowego 6-польного севооборота показало наибольшую эффективность при совместном внесении органических и минеральных удобрений (таблица 61).

Урожайность культур севооборота по сравнению с неудобренными посевами выше и составила по озимой пшенице и горохоовсяной смеси соответственно 0,54–1,16 и 6,00–9,60 т/га, кукурузы на силос – 7,98–21,80, люцерны на сено 2,41–6,09 т/га. Повышенная продуктивность большинства культур обеспечилась внесением органоминеральных удобрений в дозах, рассчитанных на более высокий уровень урожайности.

На продуктивность культур севооборота внесение органических удобрений влияло неоднозначно. Наибольшее увеличение урожайности озимой пшеницы от применения органики, по сравнению с неудобренными посевами, достигало 0,39 т/га.

Последствие органических удобрений на второй и третий годы после внесения превосходило минеральные удобрения по воздействию на урожай-

ность культур. Эффективность последствий органических удобрений на 4–6-й годы уменьшалась. Тем не менее, в большинстве случаев оно оказывало достоверное положительное воздействие на урожайность культур севооборота по сравнению с неудобренными посевами [228, 235].

Таблица 61 – Влияние режимов орошения и удобрений на урожайность культур зернокормowego севооборота, т/га

Режим орошения	Удобрение	Культура в 6-польном севообороте					
		Озимая пшеница	Кукуруза на силос	Овес + горох	Овес + горох	Озимая пшеница	Люцер-на на сено
Экономный	Контроль (без удобрений)	4,44	33,6	22,6	17,0	2,15	6,76
	Органические удобрения	4,83	47,18	28,3	18,93	3,31	8,5
	Органоминеральные удобрения А*	5,06	50,94	26,53	25,07	3,52	9,22
	Органоминеральные удобрения В	5,33	55,4	29,4	26,67	3,58	9,17
	Минеральные удобрения А	5,15	37,58	24,3	19,87	2,54	9,89
	Минеральные удобрения В	4,94	41,65	26,03	24,5	2,96	10,08
Оптимальный	Контроль (без удобрений)	5,13	33,75	28,43	20,83	2,58	6,88
	Органические удобрения	4,97	47,33	32,5	24,13	3,36	8,84
	Органоминеральные удобрения А*	5,31	50,96	35,17	31,4	4,06	9,49
	Органоминеральные удобрения В	5,34	55,5	35,67	32,87	4,13	9,69
	Минеральные удобрения А	5,49	38,18	30,1	25,1	3,92	9,07
	Минеральные удобрения В	5,2	41,73	31,3	27,23	4,0	9,64
Интенсивный	Контроль (без удобрений)	4,87	44,93	28,47	22,37	3,39	8,66
	Органические удобрения	4,98	52,79	33	26,9	3,8	13
	Органоминеральные удобрения А*	5,2	53,55	36	32,17	4,5	13,9
	Органоминеральные удобрения В	5,4	57,73	36,57	33,47	3,94	14,75
	Минеральные удобрения А	5,19	49,38	30,37	27,63	4,1	12,84
	Минеральные удобрения В	4,81	52,8	32,6	31,87	4,29	11,9

Примечание – В таблицах 61–67 при экономном и оптимальном режимах орошения среднегодовая доза органического удобрения 26,6 т/га, при интенсивном – 53,3 т/га; А – расчетные дозы удобрений на средний уровень продуктивности севооборота; В – расчетные дозы удобрений на интенсивный уровень продуктивности севооборота.

Улучшение обеспечения растений оросительной водой в большинстве случаев сопровождалось повышением урожайности культур севооборота. Переход от экономного к оптимальному режиму орошения на посевах озимой пшеницы, посеянной после люцерны, способствовал увеличению ее урожайности в зависимости от видов и доз удобрений на 0,14–0,69 т/га. Использование интенсивного режима орошения также обеспечило достоверную прибавку урожая, однако меньшую (на 0,04–0,53 т/га), чем при оптимальном водообеспечении. Урожайность кормовых культур севооборота возрастала по мере увеличения снабжения растений оросительной водой и в большинстве случаев наибольших размеров достигала при повышенных режимах орошения.

Отмеченная зависимость влияния систем удобрений и поливов на урожайность культур севооборота определила характер их воздействия на продуктивность севооборота в целом. Наибольшее накопление абсолютно-сухой надземной биомассы (36,78 т/га) и максимальный сбор зерновых единиц (65,16 т/га) с единицы севооборотной площади обеспечила комплексная система удобрений, включающая в себя двукратное внесение органических удобрений за ротацию при среднегодовой дозе 53,3 т/га и минеральных удобрений на 1 га севооборотной площади $N_{176}P_{42}K_{15}$ и повышенное водообеспечение (таблица 62). При использовании комплексной системы удобрений с однократным внесением органических удобрений 26,6 т на 1 га севооборотной площади и минеральных удобрений $N_{153}P_{29}K_{15}$ при оптимальном водообеспечении продуктивность севооборота уменьшилась до 33,67 т/га абсолютно-сухого вещества и 59,30 т з. е. /га. Уменьшение суммарной дозы минеральных удобрений в комплексных системах удобрений сопровождалось снижением продуктивности зернокармового севооборота в зависимости от режима орошения на 1,27–1,77 т/га абсолютно-сухой биомассы и на 2,84–3,59 т з. е. /га.

Таблица 62 – Продуктивность зернокарморового севооборота при различных вариантах удобрений и поливов, 2016–2021 гг.

Режим орошения	Удобрение	Продуктивность севооборота за ротацию, т з. е. /га	Накоплено абсолютно сухой надземной биомассы за ротацию, т/га
Экономный	Контроль (без удобрений)	36,6	21,41
	Органические удобрения	46,65	27,39
	Органоминеральные удобрения А	51,19	29,59
	Органоминеральные удобрения В	54,78	31,36
	Минеральные удобрения А	45,51	25,88
	Минеральные удобрения В	49,85	27,67
Оптимальный	Контроль (без удобрений)	41,86	24,02
	Органические удобрения	50,51	29,04
	Органоминеральные удобрения А	56,46	32,28
	Органоминеральные удобрения В	59,3	33,67
	Минеральные удобрения А	50,38	28,75
	Минеральные удобрения В	52,16	29,75
Интенсивный	Контроль (без удобрений)	47,78	27,69
	Органические удобрения	57,32	32,96
	Органоминеральные удобрения А	61,82	35,51
	Органоминеральные удобрения В	65,16	36,78
	Минеральные удобрения А	56,32	32,60
	Минеральные удобрения В	58,61	33,39

Система удобрений, основанная на минеральных удобрениях, по влиянию на продуктивность севооборотной площади была практически равноценна биологической с внесением органических удобрений. Применение всех систем удобрений способствовало росту продуктивности орошаемой пашни [240].

Анализ влияния различных систем удобрений на плодородие длительно орошаемой темно-каштановой почвы показал, что выращивание культур без применения удобрений образует дефицитный баланс гумуса, который составляет 1,247 т/га на фоне недостаточного и 1,662 т/га на фоне интенсивного водообеспечения (таблица 63).

Таблица 63 – Баланс гумуса в зерно-кормовом севообороте
в системах удобрений и водообеспечения, 2016–2021 гг.

Показатель	Система удобрений					
	Контроль (без удоб- рений)	Органиче- ские удоб- рения	Органоми- неральные удобрения А	Органоми- неральные удобрения В	Мине- ральные удобрения А	Мине- ральные удобрения В
Экономный режим орошения						
Среднегодовая про- дуктивность, т з. е./га	3,57	4,57	4,93	5,23	4,31	4,61
Баланс гумуса, т/га	–1,247	+1,022	+1,367	+1,257	–0,641	–0,946
Интенсивность ба- ланса, %	42,3	141,1	168,4	155,7	62,2	52,7
Оптимальный режим орошения						
Среднегодовая про- дуктивность, т з. е./га	4,00	4,84	5,38	5,61	4,79	4,96
Баланс гумуса, т/га	–1,478	+0,927	+0,277	+0,711	–0,883	–0,96
Интенсивность ба- ланса, %	38,5	135,7	113,0	125,2	54	53,5
Интенсивный режим орошения						
Среднегодовая про- дуктивность, т з. е./га	4,62	5,49	5,92	6,13	5,43	5,57
Баланс гумуса, т/га	–1,662	+3,097	+2,138	+2,761	–1,49	–1,642
Интенсивность ба- ланса, %	39,4	209,9	187,3	188,3	44,0	41,0

В результате этого за ротацию 6-польного зерно-кормового севооборо-
та в абсолютных показателях снижение содержания гумуса составило в зави-
симости от уровня водообеспечения 0,10–0,32 % (таблица 64).

Таблица 64 – Содержания гумуса за ротацию севооборота, 2016–2021 гг., %

Система удобрений	Уровень водообеспечения					
	Экономный		Оптимальный		Интенсивный	
	исходное	конечное	исходное	конечное	исходное	конечное
Контроль (без удобрений)	3,01	2,91	2,68	2,52	2,94	2,62
Органические удобрения	2,73	2,68	2,67	2,61	2,94	3,01
Органоминераль- ные удобрения А	3,16	3,15	2,76	2,73	3,18	3,20
Органоминераль- ные удобрения В	2,70	2,77	2,35	2,52	2,74	3,27
Минеральные удобрения А	3,30	3,03	2,58	2,43	2,83	2,69
Минеральные удобрения В	3,08	2,72	2,52	2,29	3,00	2,73

Увеличение дефицитности гумусового баланса объясняется тем, что повышенные дозы минеральных удобрений способствовали росту выносимой с урожаем части биомассы, а масса пожнивно-корневых остатков, идущая на пополнение органического вещества почвы, практически не изменялась.

При использовании органической системы удобрений сохранение и увеличение содержания гумуса было достигнуто в случае двукратного внесения органических удобрений в течение ротации при среднегодовой дозе 53,3 т/га. Внесение среднегодовой дозы 26,6 т/га привело к небольшому снижению содержания гумуса. Одной из основных причин этого был, дефицитный баланс азота [238, 239].

Для сохранения и повышения содержания гумуса в длительно орошаемой сильно дегумифицированной темно-каштановой почве наиболее эффективной была комплексная система удобрений. Расчет среднегодового баланса гумуса в основном подтвердил результаты изменения его содержания.

Изучение регулирования почвенного плодородия в течение ротации севооборота с помощью применения расчетных доз удобрений показало следующее (таблица 65).

В связи с высокой и очень высокой обеспеченностью почв опытного участка доступными формами фосфора дозы фосфорных удобрений были рассчитаны на обеспечение дефицитного баланса данного питательного элемента.

Данные о содержании в почве доступного фосфора на начало и конец шестилетней ротации свидетельствуют об отсутствии существенных изменений в обеспеченности почв этим элементом питания (таблица 66). При очень высокой обеспеченности почвы доступным фосфором дефицит его в таком количестве за шестилетнюю ротацию не сопровождается снижением плодородия.

Внесение органических удобрений способствовало сокращению дефицита баланса калия: среднегодовая доза 26,6 т/га до 54,7–75,5 кг/га при биоло-

гической и 55,1–99,6 кг/га – комплексной системе удобрений, доза 53,3 т/га – соответственно до 23,0 и 27,4–64,7 кг/га. При применении органических удобрений произошло значительное увеличение содержания обменного калия, приведшее к повышению обеспеченности почвы данным элементом.

Таблица 65 – Баланс элементов питания за ротацию севооборота, 2016–2021 гг., кг/га

Система удобрений	Баланс элементов питания					
	азота		фосфора		калия	
	за ротацию	средне-годовой	за ротацию	средне-годовой	за ротацию	средне-годовой
Экономный режим орошения						
Контроль (без удобрений)	–563,9	–94,0	–233,3	–38,9	–663,9	–110,7
Органические удобрения	–485,1	–80,9	–134,9	–22,5	–328,4	–54,7
Органоминеральные удобрения А	–94,0	–15,7	–97,8	–16,3	–330,4	–55,1
Органоминеральные удобрения В	–50,9	–8,5	–117,1	–19,5	–483,8	–80,6
Минеральные удобрения А	–13,6	–2,3	17,9	3,0	–676,9	–112,8
Минеральные удобрения В	–85,7	–14,3	42,7	7,1	–850,8	–141,8
Оптимальный режим орошения						
Контроль (без удобрений)	–655,0	–109,2	–262,8	–43,8	–765,7	–127,6
Органические удобрения	–523,8	–87,3	–162,1	–27	–453,1	–75,5
Органоминеральные удобрения А	26,5	4,4	–87,1	–14,5	–166,8	–77,8
Органоминеральные удобрения В	83,2	13,9	–82,1	–13,7	–597,3	–99,6
Минеральные удобрения А	–64,7	–10,8	–43,5	–7,3	–749,8	–125,0
Минеральные удобрения В	–49,5	–8,3	–3,6	–0,6	–888,7	–148,1
Интенсивный режим орошения						
Контроль (без удобрений)	–742,2	–123,7	–289,3	–48,2	–913,4	–152,2
Органические удобрения	403,1	–67,2	–109,9	–18,3	–138,2	–23,0
Органоминеральные удобрения А	–13,5	–2,3	40,2	6,7	–164,1	–27,4
Органоминеральные удобрения В	63,5	10,6	78,5	13,1	–388,1	–64,7
Минеральные удобрения А	–85,7	–14,3	–37	–6,2	–998,1	–166,4
Минеральные удобрения В	–17,0	–2,8	29,3	4,9	–1044,8	–174,1

Таблица 66 – Содержания фосфора и калия в пахотном слое почвы до и после ротации севооборота, 2016, 2021 гг., мг/100 г почвы

Система удобрений	Уровень водообеспечения					
	Экономный		Оптимальный		Интенсивный	
	исходное	конечное	исходное	конечное	исходное	конечное
Контроль (без удобрений)	6,7	6,9	7,6	7,2	7,2	7,1
	27,4	25,5	24,4	24,4	18,9	23,1
Органические удобрения	6,4	6,6	5,3	5,7	5,8	7,2
	20,3	32,4	18,9	30,5	21,8	35,3
Органоминеральные удобрения А	6,9	6,7	5,6	6,9	6,8	8,2
	25,5	33,8	17,1	26,3	19,5	36,3
Органоминеральные удобрения А	7,1	7,5	5,7	6,8	6	8,5
	24	38,4	17,9	33,1	16,9	33,1
Минеральные удобрения А	7,7	7,9	6,5	6,9	7,2	7,6
	24,6	24,2	26,5	24,7	24	23,1
Минеральные удобрения В	7,9	7,9	6,2	6,3	7,3	7,8
	25,7	25,6	25,5	25,4	18,8	22,6

Примечание – в числителе – P_2O_5 , в знаменателе – K_2O .

Различные системы поливов оказали различное влияние на изменение содержания гумуса. Установлено, что без внесения удобрений увеличение водоподачи и числа поливов приводит к усилению процесса дегумификации. Следует отметить, что система поливов с недостаточным водообеспечением уменьшила содержание гумуса на 0,10 %, с оптимальным – на 0,16, с интенсивным – на 0,32 %.

В орошаемом земледелии наряду с использованием солнечной энергии потребляется значительное количество энергии на проведение агротехнологических операций. В этой связи очень важным является разработка и использование наименее энергоемких приемов повышения продуктивности сельскохозяйственных культур. Анализ процессов в агроландшафте, сверхсложной природно-антропогенной системе, возможен только на биоэнергетической основе [241]. В то же время, применяемые в настоящее время методики биоэнергетической оценки агротехнологий и приемов возделывания сельскохозяйственных культур по коэффициенту энергетической эффективности нуждаются в серьезной корректировке. Для обоснования возможности применения биоэнергетической оценки агротехнологий и влияния учета энергетических вложений в сохранение плодородия почв на энергетическую

оценку земледелия проведен расчет энергетической эффективности различных систем удобрений и поливов 6-польного зерно-кормового севооборота по стандартной методике, а также с учетом воспроизводства плодородия почв. Анализ энергетической эффективности применявшихся систем поливов и удобрений представлен в таблице 67.

Таблица 67 – Энергетическая оценка различных систем удобрений и поливов севооборота, ГДж/га, в среднем за 2016–2021 гг.

Система удобрений	Валовая обменная энергия урожая	Затраты энергии	Прибавка валовой обменной энергии	Энергоемкость 1 т продукции	Коэффициент энергетической эффективности
Экономный режим орошения					
Контроль (без удобрений)	157,6	62,4	94,9	3,2	2,53
Органические удобрения	201,8	137,4	64,5	5,8	1,47
Органоминеральные удобрения А	230,6	203,0	27,7	7,6	1,14
Органоминеральные удобрения В	218,3	165,8	52,4	6,2	1,32
Минеральные удобрения А	205,2	141,5	63,8	5,8	1,45
Минеральные удобрения В	192,5	126,6	51,4	6,3	1,52
Оптимальный режим орошения					
Контроль (без удобрений)	175,5	70,1	105,1	3,1	2,50
Органические удобрения	213,7	141,2	72,2	5,3	1,51
Органоминеральные удобрения А	247,1	221,2	25,8	7,3	1,12
Органоминеральные удобрения В	237,1	211,9	24,9	7,2	1,12
Минеральные удобрения А	218,9	159,2	59,6	5,8	1,38
Минеральные удобрения В	211,1	149,9	61,0	5,6	1,41
Интенсивный режим орошения					
Контроль (без удобрений)	204,0	91,4	112,5	4,0	2,23
Органические удобрения	246,3	154,3	91,9	5,2	1,60
Органоминеральные удобрения А	275,1	220,6	54,6	6,7	1,25
Органоминеральные удобрения В	264,9	209,9	54,9	6,5	1,26
Минеральные удобрения А	247,8	182,5	65,3	5,3	1,36
Минеральные удобрения В	243,3	150,5	92,9	4;7	1,62

По комплексу показателей энергетической оценки различных систем удобрений выгодно показала себя органическая. Она характеризовалась наименьшими затратами энергии – 137,4–154,3 ГДж/га, наибольшей прибавкой валовой энергии – 64,5–91,9 ГДж/га и высоким коэффициентом энергетической эффективности – 1,47–1,60.

Менее эффективной по энергетической оценке была минеральная система удобрений, которая обеспечивала прибавки валовой обменной энергии 51,4–92,9 ГДж/га и характеризовалась коэффициентом энергетической эффективности 1,36–1,62. Энергетически наименее выгодной оказалась комплексная система удобрений, от которой получена наименьшая прибавка валовой обменной энергии – 25,8–54,9 ГДж/га и самый низкий коэффициент энергетической эффективности – 1,12–1,32.

Повышение затрат энергии почти всегда вело к росту урожайности и снижению энергетической эффективности. Наименее энергоемким было возделывание культур без внесения удобрений. В этом случае затраты энергии составили: при экономных режимах орошения – 62,4 ГДж/га; оптимальных – 70,1; интенсивных – 91,4 ГДж/га, а коэффициенты энергетической эффективности были самыми высокими (2,53; 2,53 и 2,23 соответственно). Наиболее энергоемкими оказались органоминеральные системы удобрений (затраты энергии – 165,8–221,2 ГДж/га).

Как уже отмечалось, общепринятая методика определения биоэнергетической эффективности систем земледелия и их звеньев не учитывает биоэнергетической стоимости безвозвратных потерь природных ресурсов и прежде всего гумуса.

Влияние динамики содержания гумуса в биоэнергетическом балансе орошаемого земледелия можно определить на основе теплотворной способности гумуса, которую для темно-каштановых почв условно принимают равной 5000 кал/г, что составляет 21000 Дж/г или 21 ГДж/т. Используя эту характеристику, на основе данных опытов по изменениям среднегодового ба-

ланса гумуса получена энергетическая оценка различных систем удобрений и поливов (таблица 68).

Таблица 68 – Энергетическая оценка различных систем поливов и удобрений 6-польного севооборота с учетом изменений содержания гумуса

Система удобрений	Изменение энергии гумуса, ГДж/га	Прибавка валовой энергии, ГДж/га	Коэффициент энергетической эффективности
Экономный режим орошения			
Контроль (без удобрений)	–26,19	68,71	211,0
Органические удобрения	+21,46	85,96	1,62
Органоминеральные удобрения А	+26,40	54,10	1,27
Органоминеральные удобрения В	+28,71	81,11	1,49
Минеральные удобрения А	–19,87	43,93	1,31
Минеральные удобрения В	–13,46	37,94	1,41
Оптимальный режим орошения			
Контроль (без удобрений)	–31,04	74,06	2,06
Органические удобрения	+19,47	91,67	1,65
Органоминеральные удобрения А	+14,93	40,73	1,18
Органоминеральные удобрения В	+5,82	30,72	1,15
Минеральные удобрения А	–20,16	39,44	1,25
Минеральные удобрения В	–18,54	42,46	1,28
Интенсивный режим орошения			
Контроль (без удобрений)	–34,90	77,60	1,85
Органические удобрения	+65,04	156,94	2,02
Органоминеральные удобрения А	+57,98	112,58	1,51
Органоминеральные удобрения В	+44,90	99,80	1,48
Минеральные удобрения А	–34,48	30,82	1,17
Минеральные удобрения В	–31,29	61,61	1,41

Анализ результатов расчета по этой методике показал, что в комплексных органоминеральных системах удобрений энергетически более эффективными были варианты с дозами В, рассчитанными на интенсивный уровень урожайности, то есть более высокими (кроме экономного режима орошения). В минеральных системах удобрений выше была эффективность ва-

риантов с дозами А, рассчитанными на средний уровень урожайности (более низкими).

Таким образом, благодаря учету изменений запасов энергии гумуса, можно говорить о большей перспективности органоминеральных систем удобрений по сравнению с минеральными, не только с общеэкологической, но и биоэнергетической точек зрения [238].

Возделывание орошаемых культур без удобрений при учете изменения почвенной энергетической системы не только экологически опасно, но и энергетически менее оправдано. Уровень его энергетической эффективности становится сопоставимым с производством растениеводческой продукции с использованием традиционного органического удобрения навоза (коэффициенты энергетической эффективности – соответственно 1,85–2,11 и 1,65–2,02).

Изменился характер зависимости коэффициента энергетической эффективности от энергозатрат. Снижение этого коэффициента с ростом энергозатрат происходит менее интенсивно. Тем не менее, расчет по этой методике подтверждает закон снижения энергетической эффективности при интенсификации орошаемого земледелия.

Анализ данных по биоэнергетической эффективности возделывания различных культур зернокормового севооборота показал, что при орошении в сухостепной зоне наиболее эффективно выращивание люцерны и кукурузы на силос – коэффициенты энергетической эффективности соответственно 1,39–3,35 и 1,54–3,37; наименее – горохоовсяной смеси на зеленый корм (0,56–2,27). Озимая пшеница занимает промежуточное положение (таблица 69).

Отмечается снижение энергетической эффективности при росте продуктивности всех культур севооборота, кроме того коэффициенты корреляции между урожайностью и коэффициентами энергетической эффективности отрицательные.

Таким образом, в условиях сухостепной зоны для орошаемого земледелия наиболее энергетически выгодными являются люцерна и кукуруза на силос.

Таблица 69 – Коэффициенты биоэнергетической эффективности
возделывания культур орошаемого севооборота при различных
системах удобрений и режимах орошения

Система удобрений	Кукуруза на силос	Озимая пшеница	Люцерна на сено	Горохоовсяная смесь
Экономный режим орошения				
Контроль (без удобрений)	2,69	1,73	3,35	2,03
Органические удобрения	1,93	2,73	1,65	0,91
Органоминеральные удобрения А	1,82	1,62	1,58	0,56
Органоминеральные удобрения В	2,04	1,56	1,59	0,61
Минеральные удобрения А	1,95	1,31	2,59	0,76
Минеральные удобрения В	1,54	1,00	2,54	0,79
Оптимальный режим орошения				
Контроль (без удобрений)	2,64	2,11	2,35	2,27
Органические удобрения	1,92	2,85	1,65	1,00
Органоминеральные удобрения А	1,94	1,30	1,39	0,68
Органоминеральные удобрения В	2,05	1,21	1,37	0,70
Минеральные удобрения А	1,69	1,47	1,91	0,88
Минеральные удобрения В	1,12	1,21	1,33	1,35
Интенсивный режим орошения				
Контроль (без удобрений)	3,37	2,68	2,33	2,12
Органические удобрения	2,09	1,67	2,19	0,99
Органоминеральные удобрения А	2,02	1,59	1,90	0,68
Органоминеральные удобрения В	2,12	1,72	1,79	0,74
Минеральные удобрения А	1,66	1,35	2,15	0,83
Минеральные удобрения В	1,85	1,30	2,42	0,85

Менее отзывчива на интенсификацию возделывания озимая пшеница, которая может применяться только исходя из требований организации агрономически обоснованных севооборотов [242]. Предпочтение следует отдавать органо-минеральной системе удобрений.

9 Экономическая и экологическая эффективность применения агромелиоративных и агротехнических мероприятий

9.1 Эффективность агромелиоративных мероприятий с привязкой к почвенно-климатическим зонам и почвам

Прогноз воздействия агромелиоративных мероприятий на продуктивность сельскохозяйственных культур при орошении на различных почвах представлен в таблице 70. Для прогноза использован мультипликативный вид зависимости продуктивности, который позволяет определить урожайность сельскохозяйственной культуры в конкретном году расчетного периода с проведением комплекса агромелиоративных мероприятий (КАМ) и без проведения КАМ с учетом фактического состояния сельхозугодий, системы земледелия и других факторов [243]. Проведенный прогноз свидетельствует об увеличении урожайности возделываемых культур, особенно в первые годы последствия мероприятий. В связи с тем, что КАМ включает, кроме орошения и севооборотов, химическую мелиорацию, последствие которой на свойства почв постепенно уменьшается, прогнозные расчеты показали на некоторое снижение урожайности к пятому году по сравнению с первыми годами проведения мероприятий.

Почвы, вовлекаемые в орошение, приобретают ряд негативных свойств. Это в основном связано с невыполнением тех обязательных и профилактических мероприятий, которые прописаны в проектах по строительству и реконструкции оросительных систем. На данный момент практически все типы почв в зависимости от почвенно-климатических условий, генетических особенностей, а также от антропогенных воздействий требуют проведения мелиоративных мероприятий (таблица 71). Так в лесостепной зоне преобладающей мелиорацией является осушительная. Но в то же время при периодическом недостатке атмосферного увлажнения в вегетационный период многие культуры без полива вырастить невозможно, требуется орошение. В других зонах применяются оросительные мелиорации.

Таблица 70 – Прогноз воздействия агромелиоративных мероприятий на продуктивность сельскохозяйственных культур при орошении на различных почвах

Федеральный округ	Почва	Культура	Урожайность, т/га						
			Потенциальная	Прогнозируемая					
				Без проведения КАМ	После проведения КАМ				
					Год последствия				
					1	2	3	4	5
СЗФО	серая лесная	яровой ячмень	3,7	2,3	3,7	3,8	3,6	2,9	2,4
		кукуруза на зерно	5,8	3,2	5,7	6,0	5,8	5,0	4,8
ЦФО	чернозем типичный	свекла сахарная	40,0	14,5	28,3	31,7	27,7	26,9	25,5
		озимая пшеница	5,0	2,2	4,5	4,1	4,0	3,6	2,8
		яровой ячмень	3,8	2,4	4,5	4,8	4,3	3,4	3,3
		кукуруза на зерно	9,0	4,5	6,5	7,3	6,4	6,2	5,9
ЮФО	чернозем обыкновенный	озимая пшеница	7,2	2,4	5,4	6,0	5,3	5,1	4,9
		кукуруза на силос	50,0	27,4	47,2	41,7	36,5	35,3	33,5
		кукуруза на зерно	12,0	4,0	9,0	10,1	8,8	8,6	8,1
		яровой ячмень	3,9	2,5	3,9	3,2	2,8	2,6	2,3
СКФО	каштановая почва	кукуруза на силос	47,7	25,7	35,6	39,9	34,9	33,8	32,0
		кукуруза на зерно	11,6	3,7	6,3	5,3	5,6	4,5	4,2
		озимая пшеница	6,3	2,7	4,9	4,2	3,5	3,0	2,8
		яровой ячмень	3,9	2,4	4,1	3,9	3,2	2,8	2,6

Таблица 71 – Мелиоративные мероприятия на различных почвах

Природная зона	Федеральный округ	Почва	Основные негативные почвенные процессы	Мелиоративное мероприятие
1	2	3	4	5
Лесостепная	ЦФО СЗФО ПФО	Серая лесная Чернозем выщелоченный Чернозем типичный	Переувлажнение и заболачивание, переуплотнение и слитизация, подкисление	Гидротехнические мелиорации: дренаж при осушительных и оросительных мелиорациях. Горизонтальный, вертикальный и комбинированный дренажи могут быть при определенных условиях заменены биологическим. При наличии глеевого или уплотненного горизонта – кротовый дренаж. Технические мелиорации: глубокое рыхление, кротование, щелевание. Химическая мелиорация: известкование на основе мелиорантов известняковой муки, мергеля, туфов и др., – фосфоритование (сланцевая зола, дефекат и др.)
Степная	СКФО ЮФО УФО	Чернозем обыкновенный Чернозем южный	Переувлажнение и заболачивание, переуплотнение и слитизация, вторичное засоление, подщелачивание и осолонцевание, дегумификация	Гидротехнические мелиорации: все виды дренажа, в т. ч. биодренаж, закрытая оросительная сеть, дифференцированные режимы орошения Технические мелиорации: мелиоративные вспашки, глубокое рыхление, щелевание, кротование. Химическая мелиорация: гипсование (гипс, глиногипс, глауконит, фосфогипс) и кислование (отработанная серная кислота, электролит травления стали и др.), удобрительно-мелиорирующие компосты и смеси. Фитомелиорация: посев соле- и солонцеустойчивых культур (донник, подсолнечник и др.), сидератов (люцерна, горчица, рапс и др.)

Продолжение таблицы 71

1	2	3	4	5
Сухостепная	СКФО ЮФО ПФО	Темно-каштановая, каштановая, солонцы и солонцовые комплексы	Переувлажнение, переуплотнение, вторичное засоление, подщелачивание, осолонцевание, декальцинирование, дегумификация, комплексность почвенного покрова	Гидротехнические мелиорации: дренаж, предпочтительнее биологический, дифференцированные режимы орошения. Технические мелиорации: вспашка, глубокое рыхление, мелиоративные обработки. Химическая мелиорация: гипсование (гипс, глиногипс, глауконит, фосфогипс) и кислование (отработанная серная кислота, электролит травления стали и др.), удобрительно-мелиорирующие компосты и смеси. Фитомелиорация: посев соле- и солонцеустойчивых культур (донник, подсолнечник и др.), сидератов (люцерна, горчица, рапс и др.)
Полупустынная	ЮФО	Светло-каштановая Бурая полупустынная	Переуплотнение, вторичное засоление, подщелачивание, осолонцевание, декальцинирование, дегумификация, усиление комплексности почвенного покрова.	Гидротехнические мелиорации: все виды дренажа, дифференцированные режимы орошения. Технические мелиорации: вспашка, глубокое рыхление, мелиоративные обработки. Химическая мелиорация: гипсование (гипс, глиногипс, глауконит, фосфогипс) и кислование (отработанная серная кислота, электролит травления стали и др.), удобрительно-мелиорирующие компосты и смеси. Фитомелиорация: посев соле- и солонцеустойчивых культур (донник, подсолнечник и др.), сидератов (люцерна, горчица и др.).

При всех видах мелиорации для устранения переувлажнения и заболачивания используется дренаж – горизонтальный, вертикальный, комбинированный, биологический. Для усиления их эффекта дополнительно могут нарезаться кротодрены или проводиться глубокое рыхление.

Для предотвращения переувлажнения, подъема уровня грунтовых вод, экономии оросительной воды следует коренным образом изменить и технологию орошения, переходя на дифференцированные режимы с сокращением оросительных норм до 20 %.

Для всех типов почв при орошении характерно наличие процессов переуплотнения и слитизации, которые ликвидируются также проведением глубоких рыхлений.

Вышеперечисленные процессы, как видно из таблицы 71, устраняются промывками, мелиоративными обработками и химической мелиорацией.

Почвы, расположенные в зональном ряду от степной до пустынной зон, а именно черноземы, каштановые, бурые полупустынные при орошении, в связи с образованием негативных процессов, нередко подвергаются дегумификации и денитрификации.

Для получения положительного баланса гумуса необходимо создавать соответствующие условия для протекания процессов гумификации и нитрификации, а именно: поддерживать периодически увлажнение на уровне 60–70 % НВ, то есть приближаться к естественным условиям почвообразования. Необходимость применения КАМ на различных орошаемых почвах подтверждаются расчетами прибавок урожайности возделываемых культур, годовым экономическим эффектом и окупаемостью затрат на КАМ (таблица 72).

Сравнительный анализ прибавок урожая различных культур без проведения комплекса агромелиоративных мероприятий (орошение, химическая мелиорация, севообороты) и с проведением показали увеличение урожайности культур в СЗФО, ЦФО, ЮФО. Например, в ЮФО в черноземной зоне – от 108 до 138 % при годовом эффекте от 21,69 тыс. руб. /га до 39,03 тыс. руб./га при окупаемости затрат от 0,5 до 0,9 лет.

Таблица 72 – Экономический эффект проведения комплекса агромелиоративных и агротехнических мероприятий

Федеральный округ	Почва	Культура	Урожайность, т з. ед./га		Прибавка		Годовой экономический эффект, тыс. руб./га	Окупаемость, год
			Без проведения КАМ	С проведением КАМ	т з. ед./га	%		
СЗФО	Серые лесные	Лен долгунец	3,53	7,38	3,85	109	27,75	1,1
		Ячмень	2,78	5,75	2,97	106	23,5	0,9
		Кукуруза на зерно	3,68	7,23	3,55	96	33,1	1,5
ЦФО	Чернозем типичный	Сахарная свекла	6,05	12,4	6,35	104	10,3	1,9
		Озимая пшеница	1,73	3,69	1,96	113	14,7	1,6
		Ячмень	2,50	5,46	2,96	118	20,62	1,5
		Кукуруза на зерно	3,42	7,24	3,82	119	24,94	1,2
ЮФО	Чернозем обыкновенный	Озимая пшеница	2,20	4,97	2,77	125	26,50	0,8
		Кукуруза на зеленую массу	2,86	5,94	3,08	108	27,95	0,5
		Кукуруза на зерно	3,10	6,82	3,72	120	39,03	0,6
		Соя на зерно	1,93	4,59	2,66	138	21,69	0,9
СКФО	Каштановая почва	Кукуруза на силос	2,00	3,96	1,96	98	17,25	1,2
		Кукуруза на зерно	1,42	3,22	1,80	126	10,85	1,7
		Яровой ячмень	2,40	4,32	1,80	80	13,02	1,3
		Озимая пшеница	1,80	3,90	2,10	116	14,20	1,5

В каштановой зоне (СКФО) эти показатели ниже из-за худших почвенно-климатических условий.

9.2 Экономическая и экологическая эффективность агромелиоративных мероприятий

Во всем мире происходит выбытие земель из сельскохозяйственного использования. Исходя из этого, в мелиорации практически нуждается большинство почв. Так Россия – страна в наибольшей степени обеспечена земельными ресурсами, но в то же время только 13 % из этих ресурсов используется в сельском хозяйстве, а на долю самых ценных земель (пашни) приходится только 8 %. Поэтому необходимо их рационально использовать и постоянно повышать производительность. Исходя из этого, для сравнительного анализа экономической эффективности различных приемов химической мелиорации солонцовых почв использован метод расчета годового экономического эффекта на 1 га промелиорированной площади по формуле [244]:

$$\mathcal{E}_e = \mathcal{E}_i - EK, \quad (26)$$

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:

$$\mathcal{E}_{к.з.} = \frac{\Delta\Pi}{K}, \quad (27)$$

где $\Delta\Pi$ – прирост годовой прибыли, руб. /га;

K – капитальные затраты, руб./га.

Окупаемость – это 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 [245].

В большинстве методик критериями эффективности является объем полученной дополнительной продукции и чистый доход. Однобокость подхода к оценке комплексных мероприятий не позволяет рассчитать экологический эффект, в частности, почвенного плодородия [246].

Интегральным показателем, характеризующим экологическую функцию почвы, является гумусное состояние [247]. От него зависят как водно-физические, так и физико-химические и биологические свойства почв. Чтобы оценить почвенное плодородие в денежном выражении, нами взята формула расчета стоимости плодородной почвенной массы прироста за год в среднемноголетнем ряду на площади мелиорации [248, 249]:

$$C_{\text{пот}} = P(C_z - C_y), \quad (28)$$

где $C_{\text{пот}}$ – стоимость плодородной почвенной массы, наращенной год на площади мелиорации;

P – площадь мелиорации нетто, га;

C_z – стоимость гумуса, наращенного за год на каждом гектаре площади мелиорации:

$$C_z = \frac{10000 \cdot K_{\kappa} \cdot M \cdot \Gamma \cdot \Pi_{\text{oy}}}{100 \cdot K_o \cdot E} = \frac{100 \cdot K_{\kappa} \cdot M \cdot \Gamma \cdot \Pi_{\text{oy}}}{K_o \cdot E}; \quad (29)$$

C_y – стоимость накопленных за год, азота, фосфора и калия на каждом гектаре площади мелиорации:

$$C_y = \frac{10000 \cdot K_m \cdot M \cdot 1,15 (A \cdot U_a + \Phi \cdot U_\phi + K \cdot U_\kappa)}{100} = 115 \cdot K_m \cdot M (A \cdot U_a + \Phi \cdot U_\phi + K \cdot U_\kappa) \quad , \quad (30)$$

где K_κ – коэффициент, учитывающий качество гумуса плодородной почвенной массы, который определяется по соотношению гуминовых и фульвокислот. Показатели K_κ по типам почв приведены в таблице Ц.1 приложения Ц [249];

M – мощность плодородного слоя почвы, наращиваемого за год в среднемноголетнем ряду, см;

Γ – содержание гумуса в плодородном слое почвы, %;

U_{oy} – стоимость органических удобрений с учетом приобретения, транспорта, складирования, внесения и НДС, руб./т;

K_o – коэффициент перевода вносимых органических удобрений в подстилочный навоз (приложение Ц, таблица Ц.1) [249];

E – образование гумуса из подстилочного навоза, % (см. таблицу Ц.2 приложения Ц) [249];

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 одной тонне плодородной почвенной массы в переводе в действующее вещество, кг;

U_a, U_ϕ, U_κ – стоимость азотных, фосфорных и калийных удобрений с учетом приобретения, транспорта, складирования, внесения и НДС, руб./т;

10000 – перевод гектара в м²;

1000 – перевод килограмма в тонны;

100 – перевод сантиметра в метры;

1,15 – коэффициент, учитывающий стоимость микроэлементов, содержащийся в плодородной почвенной массе.

Показатели G , A , Φ , K принимаются по данным результатов почвенных исследований земель, подлежащих мелиорации и уже промелиорированных.

Показатель M принимается на основе рекомендаций специализированных научно-исследовательских организаций.

Так как последствие химической мелиорации на свойства почв и, соответственно, на урожайность возделываемых культур продолжается 6–8 лет, затраты на ее проведение рассматриваются как капитальные.

9.2.1 Химическая и комплексная мелиорации

Солонцовые почвы юга России представлены двумя категориями:

- почвы, обладающие природной солонцеватостью, располагаются в комплексе, в котором, среди зональных почв, встречаются пятна солонцов,
- почвы вторично осолонцованные в результате выщелачивания кальция из почвенного поглощающего комплекса (ППК) и замены его на натрий.

Такие явления особенно присущи массивам, орошаемых не только слабominерализованной водой сульфатно-натриевого состава, но и при поливах большими оросительными нормами пресной водой, содействующей вымыванию кальция.

И те, и другие почвы нуждаются в проведении химической мелиорации, которая особенно приоритетна в условиях орошения. Солонцеватость провоцирует возникновение таких негативных явлений как уплотнение и потеря гумуса, поэтому земли, подверженные проявлению при орошении негативных почвенных процессов, нуждаются в коренной мелиорации, которая требует больших капитальных затрат. Затраты на проведение химической и комплексной мелиорации в черноземной зоне представлены в таблице 73, а экономический эффект в таблице 74.

Таблица 73 – 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

Таблица 74 – 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 4 года	Стоимость продукции в среднем за 4 года, тыс. руб. /га	Годовой экономический эффект, тыс. руб. /га	Окупаемость капитальных затрат, год	$\mathcal{E}_{к.з.}$
Черноземы. Химическая мелиорация						
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
Комплексная мелиорация (с мелиоративной вспашкой)						
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
Солонцы лугово-степные. Химическая мелиорация						
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
Комплексная мелиорация (с мелиоративной вспашкой)						
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

Затраты на хранение, перевозку и внесение удобрений и мелиорантов в почву осуществляют по соответствующим региональным нормативам, скорректированным на индекс роста цен или существующим расценкам за выполнение данного вида работ [250].

Большая часть затрат на выполнение остальных элементов технологий химической и комплексной мелиораций выбиралась непосредственно из технологических карт.

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, включающей дополнительно мелиоративную вспашку, очень важно с точки зрения возврата плодородия землям, частично или полностью потерявшим его, а также с необходимостью 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 при 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 также выделяются 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 обеспечивает снижение солонцеватости почв и получение достаточной дополнительной продукции для окупаемости вложенных капитальных затрат, особенно на солонцах. Коэффициент экономической эффективности затрат получен на варианте $\Phi - 10 \text{ т/га} + \text{Н} - 20 \text{ т/га}$ выше, чем на других вариантах как на черноземах южных, так и на солонцах. На этом же варианте 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 таблице 75. Несмотря на то, что глауконит – мелиорант местного значения и его доставка 10 т/га обходится в два раза дешевле, чем фосфогипса, в целом, расходы на химическую мелиорацию этим мелиорантом довольно велики (23421 руб./га).

Это связано с тем, что его стоимость, как и глиногипса, принадлежащих к природным залежам, значительно выше, чем фосфогипса – отхода промышленности, требующего утилизации.

С точки зрения экономической эффективности, рассчитанной по формуле 26, вариант с глауконитом 10 т/га + Н – 20 т/га является наихудшим после варианта с внесением 40 т/га навоза в чистом виде (таблица 75).

Наилучшими вариантами, как и на почвах с комплексным покровом, являются $\Phi - 10 \text{ т/га} + \text{Н} - 40 \text{ т/га}$ и $\Phi - 5 \text{ т/га} + \text{Н} - 40 \text{ т/га}$. Это подтверждают данные сравнительного анализа по приведенным затратам, которые определяются суммированием текущих затрат на возделывание сельскохозяйственных культур и капитальных затрат, приведенных к годовой размерности (таблица 76).

Таблица 75 – 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, год	$\mathcal{E}_{к.з.}$
		Озимая пшеница		Кукуруза на зеленую массу		Кукуруза на зерно		Соя 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	166	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. к. е./га, П – прибавка, т. к. е./га.

Таблица 76 – Сравнительная экономическая эффективность проводимых химических мелиораций на черноземах обыкновенных, орошаемых слабоминерализованной водой

Показатель	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 4 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 4 года	3,27	4,39	5,04	4,19
Стоимость продукции средняя за 4 года, руб./га	49050	65850	75600	62850
Условный чистый доход, руб./га в год	30812,5	44607,5	53414,5	41099,5
Дополнительная прибыль, обусловленная химической мелиорацией, руб./га	–	13795	22602	10287
Уровень рентабельности 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

Из таблицы 76 видно, что дополнительная прибыль, на варианте с 10 т/га Ф составила 13795 руб./га, на варианте Ф – 5 т/га + Н – 40 т/га – 22602 руб. /га, а на варианте Гл. – 10 т/га + Ф – 20 т/га – 10287 руб./га. Вложения капитальных затрат эффективны при коэффициенте их экономической эффективности равном единице. По этому показателю наиболее эффективен вариант с Ф – 5 т/га + Н – 40 т/га (0,86). Он же выделяется по окупаемости капитальных затрат.

Экологический эффект нами выявлялся по увеличению почвенного плодородия, основными показателями которого являются общие запасы гумуса и питательных элементов до и после проведения химической мелиорации. Из таблицы 77 видно, что наименьшая стоимость полученного плодородного слоя за год получена на варианте с внесением чистого навоза 40 т/га и составила всего 1559 руб./га. В то же время на наилучших вариантах по экономической эффективности она составила: Ф – 10 т/га + Н – 40 т/га – 7110руб./га, Ф – 5 т/га + Н – 40 т/га – 5196 руб./га, Гл. – 10 т/га + Н – 20 т/га – 5034 руб./га.

Таблица 77 – 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 NPK за год, руб. /га	Стоимость плодородной почвенной массы за год, руб./га	ЭЭ _{х.м.} , руб./га
	запасы гумуса, т/га	запасы NPK, кг/га	запасы гумуса, т/га	от мелиорации		запасы NPK, 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 (ЭЭ_{х.м.}) [250], которая включает 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 $\mathcal{E}\mathcal{A}_{X.M.}$ еще раз подтвердил нецелесообразность применения навоза в чистом виде. На это указывают и расчеты полученной выгоды, осуществленной по методическим рекомендациям [251] (таблица 78).

На варианте $\Phi - 10 \text{ т/га} + \text{Н} - 40 \text{ т/га}$ и $\Phi - 5 \text{ т/га} + \text{Н} - 40 \text{ т/га}$ выгода составила 19,45 и 15,85 тыс. руб. /га, с местной гипсосодержащей залежью глауконитом в два раза меньше, а на варианте с чистым фосфогипсом (40 т/га) – 12,15 тыс. руб./га.

Таблица 78 – 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
$\Phi - 10 \text{ т/га}$	3,94	59,10	25,66	33,44	12,15
$\text{Н} - 40 \text{ т/га}$	3,42	51,30	25,10	26,20	4,91
$\Phi - 10 \text{ т/га} + \text{Н} - 40 \text{ т/га}$	4,59	68,85	28,11	40,74	19,45
$\Phi - 5 \text{ т/га} + \text{Н} - 40 \text{ т/га}$	4,25	63,75	26,61	37,14	15,85
$\text{Гп.} - 10 \text{ т/га} + \text{Н} - 20 \text{ т/га}$	3,81	57,15	26,17	30,98	9,69
Контроль	2,93	43,95	22,66	21,29	—

Экономическая эффективность по применению удобрительно-мелиорирующих компостов на деградированном черноземе обыкновенном представлена в таблице 79.

Таблица 79 – Экономическая эффективность применения мелиорантов и удобрительно-мелиорирующих компостов для химической мелиорации черноземов обыкновенных

Вариант опыта	Дозы, т/га	Затраты на мелиорацию, тыс. руб./га	Годовой экономический эффект, тыс. руб./га	Окупаемость кап. затрат, лет
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
$\text{Пп} + \Phi (1:1)$	19	20,52	65,3	0,3
$\text{Пп} + \text{Гл} (1:1)$	25	10,32	52,2	0,2
$\text{Пп} + \Phi + \text{Гл} (1:1:1)$	17	15,89	70,0	0,2

В каштановой зоне Ростовской области в радиусе 50 км расположены гипсоносные карьеры, поэтому нами проведен сравнительный анализ эконо-

мической эффективности глиногипса (Гг) из этих карьеров и фосфогипса, доставленного из Белореченска. Технологическая схема к стоимости химической мелиорации в каштановой зоне представлена в таблице 80.

Таблица 80 – Технологическая схема к стоимости химической мелиорации в каштановой зоне

Способ мелиорации	Фос- фогипс – 10 т/га	Фосфо- гипс – 5 т/га	Фосфо- гипс – 15 т/га	Глино- гипс – 12 т/га	Глино- гипс – 6 т/га	Глино- гипс – 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. за 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 % (таблица 81). 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 Ф – 20,63 тыс. руб. При таком эффекте капитальные затраты окупаются соответственно за 1,2–1,7 лет. 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 81 – Экономический эффект приемов химической мелиорации почв комплексного покрова в каштановой зоне

Способ мелиора- ции	Капиталь- ные затра- ты, тыс. руб./га	Дополнитель- ная продукция, т з. е. /га	Стоимость до- полнительной продукции, тыс. руб./га	Годовой экономиче- ский эф- фект, тыс. руб./га	Окупае- мость капи- тальных затрат, год
		в среднем за четыре года			
Каштановая почва					
Химическая мелиорация					
Ф – 5 т/га	14,06	0,87	13,05	10,94	1,3
Ф – 10 т/га	24,28	1,63	24,45	20,81	1,2
Ф – 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
Солонец					
Ф – 5 т/га	14,06	0,71	10,65	8,54	1,6
Ф – 10 т/га	24,28	1,26	18,90	15,26	1,6
Ф – 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 с дозой 10 т/га. Дозы 5 т/га фосфогипса и 6 т/га глиногипса на солонцовых почвах каштановой зоны по экономическим показателям нецелесообразны.

9.2.2 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, а почвы для сохранения естественных процессов почвообразования требуют гораздо меньше влаги, чем растения.

Проведенные авторами опыты по уровням увлажнения черноземов позволили выявить, насколько целесообразно снижать урожайность возделываемых культур.

ваемых культур в целях сохранения почвенного плодородия и экономии поливной воды. Экономия водных ресурсов оценивается, в основном, следующими показателями: расход оросительной воды единицы продукции (1 ц, 1 т), экономией воды на единицу площади ($\text{м}^3/\text{га}$) и выходом дополнительной продукции на 100 м^3 .

Полевые опыты, проведенные на различных видах черноземов, подтвердили целесообразность снижения оросительных норм на 20 % без ущерба урожаю возделываемых культур и почвенному плодородию (таблица 82). Как видно из таблицы 82, урожайность культур, (озимая пшеница, кукуруза на зерно, соя, кукуруза на зерно) на всех видах черноземов на варианте с расчетной нормой по потребности растений в среднем за четыре года увеличилась от 67 %, орошаемых пресной водой до 56 %, орошаемых слабоминерализованной водой, по сравнению с контролем (богарой). Всего на 4–5 % снижалась урожайность культур при уменьшении оросительной нормы на 20 %, т. е. в пределах достоверности полевого опыта.

Но в то же время на этом варианте уменьшался расход воды на получение 1 ц к. ед. прибавки урожая и увеличивался выход дополнительной продукции на 100 м^3 воды по сравнению с аналогичными показателями на расчетном варианте.

Таблица 82 – Влияние уровней увлажнения на урожайность сельскохозяйственных культур и расход оросительной воды в среднем за четыре года

Вариант	Урожайность, ц к. ед./га	Прибавка, ц к. ед./га	Оросительная норма, $\text{м}^3/\text{га}$	Расход оросительной воды на 1 ц к. ед. прибавки, м^3	Выход дополнительной продукции на 100 м^3 , ц к. ед.	Экономия оросительной воды на 1 га по сравнению с 1м, м^3
1	2	3	4	5	6	7
Черноземы обыкновенные, орошаемые пресной водой (ОПХ «РООМС», Багаевский р-н, Ростовская область)						
Богара	41,6	–	0	0	0	0
1м – расчетная норма	69,5	27,9	1855	66,5	1,50	0

Продолжение таблицы 82

1	2	3	4	5	6	7
0,6m	55,0	13,4	1113	83,0	1,20	–742
0,8m	67,3	25,7	1484	57,7	1,73	–371
1,3m	58,9	17,3	2412	139,4	0,72	+557
Черноземы обыкновенные, орошаемые слабоминерализованной водой (ООО «Приазовье», Неклиновский р-н, Ростовская область)						
Богара	33,8	0	0	0	–	0
1m – расчет- ная норма	52,6	18,8	923	49,1	2,00	0
0,6m	40,9	7,1	554	178,0	1,28	–369
0,8m	51,4	17,6	738	41,9	2,38	–185
1,3m	43,4	9,6	1200	125,0	0,80	+277
Чернозем южный, орошаемый пресной водой (ООО «Цимлянский», Мартыновский р-н, Ростовская область)						
Богара	40,5	0	0	0	0	0
1m – расчет- ная норма	68,0	27,5	1365	49,6	2,00	0
0,6m	51,4	10,9	819	75,1	1,33	–546
0,8m	66,2	25,7	1092	42,5	2,35	–273
1,3m	55,5	15,0	1638	109,2	0,91	+273

Уменьшение оросительной нормы на 40 % увеличивает урожайность культур по сравнению с богарой всего на 20–30 % в зависимости от погодных условий. Это, безусловно, перечеркивает целесообразность введения такого режима, а увеличение нормы на 20–30 % также не оправдывается не только снижением урожайности по сравнению с расчетной нормой в пределах 20–30 % и значительным увеличением затрат воды на получение 1 ц к. ед. дополнительной продукции, но и, в целом, снижения плодородия почв.

Из таблицы 82 также видно, что экономия оросительной воды от 369 до 742 м³/га при режиме 0,6m по сравнению с 1m (расчет нормы по потребностям растений) не обеспечивает достаточной урожайности. А при режиме 0,8m, когда экономия воды составляет от 185 до 371 м³/га, урожайность культур практически находится на уровне урожаев, полученных на расчетном режиме 1m, но в то же время плодородие почв улучшается. Увеличение поливных норм от 273 до 557 м³/га отрицательно сказывается как на урожайности, так и на свойствах почв. Расчет экономической эффективности при разных

уровнях увлажнения в среднем за четыре года представлен в таблице 83, из которой видно, что на всех черноземах показатели по экономической эффективности практически одинаковые на вариантах 1m и 0,8 m.

Таблица 83 – 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, год
Черноземы обыкновенные, орошаемые пресной водой					
Богара	20,75	62,40	41,65	4,99	0,50
1m	23,23	104,25	81,08	3,34	0,29
0,6m	22,23	82,50	60,21	4,04	0,37
0,8m	22,73	100,95	78,22	3,38	0,29
1,3m	23,96	88,35	64,39	4,07	0,37
Черноземы обыкновенные, орошаемые слабоминерализованной водой					
Богара	20,75	50,70	29,95	6,14	0,69
1m	23,23	78,90	55,67	4,42	0,42
0,6m	22,23	61,35	39,12	5,44	0,57
0,8m	22,73	77,10	54,37	4,45	0,42
1,3m	23,96	65,10	41,14	5,52	0,58
Чернозем южный, орошаемый пресной водой					
Богара	20,75	60,75	40,00	5,12	0,52
1m	23,23	102,0	78,77	3,42	0,29
0,6m	22,23	77,10	54,87	4,32	0,41
0,8m	22,73	99,30	76,57	3,43	0,30
1,3m	23,96	83,25	59,29	4,32	0,40

Так стоимость урожая на черноземах обыкновенных, орошаемых пресной водой, составила на варианте с 1m – 104,25 тыс. руб./га, а на варианте 0,8m – 100,95 тыс. руб./га. На черноземах обыкновенных, орошаемых слабоминерализованной водой, эти данные соответственно составили 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 таблице 84.

Таблица 84 – Экологический эффект по почвенному плодородию и эколого-экономический эффект при разных уровнях увлажнения черноземов

Вариант опыта	Гумус				Питательный элемент (NPK)				Экологи- ческий эффект, руб. в год	Экологи- экономи- ческий эффект, руб./га
	Запас, т/га		Наращен- ный за год, т/га	Стои- мость за год, руб./га	Запас, кг/га		Накоп- ленный за год, т/га	Стои- мость за год, руб./га		
	до оро- шения	после че- тырех лет			до оро- шения	после че- тырех лет орошения				
Черноземы обыкновенные, орошаемые пресной водой										
Контроль (без орошения)	189,2	188,5	−0,20	−50	1820	2023	0,05	750	700	42350
1m	186,4	198,1	2,93	727	1732	2184	0,11	1650	2377	83457
0,6m	183,4	183,0	−0,1	−25	1851	2137	0,07	1050	1025	61295
0,8m	188,3	201,7	3,35	831	1862	2330	0,12	1800	2631	80851
1,3m	191,8	180,5	−2,82	−699	1815	2023	0,06	900	201	64591
Черноземы обыкновенные, орошаемые слабоминерализованной водой										
Контроль (без орошения)	156,0	158,1	0,53	131	2111	2350	0,06	900	1031	30981
1m	156,5	165,9	2,35	583	2090	2626	0,13	1950	2533	58203
0,6m	159,6	162,2	0,65	161	2106	2496	0,09	1350	1511	40631
0,8m	159,1	168,0	2,23	553	2106	2595	0,12	1800	2353	56723
1,3m	158,1	155,0	−0,78	0	2111	2470	0,09	1350	1350	42490
Чернозем южный, орошаемый пресной водой										
Контроль (без орошения)	144,6	141,4	−0,80	−198	2569	2602	0,01	150	−48	39952
1m	137,8	147,2	2,35	583	2454	3018	0,14	2100	2683	81453
0,6m	144,0	147,1	0,78	194	2517	2720	0,05	750	944	55814
0,8m	139,9	146,1	1,55	385	2496	3015	0,13	1950	2335	78905
1,3m	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 1m и 0,8m и соответственно составило 2,93 и 3,35 т/га. При средней цене за 1 т органики 248 руб., стоимость почвы за 1 год по гумусу на варианте 1m равнялась 797 руб., а на варианте 0,8m – 831 руб. На контроле и вариантах 0,6 и 1,3m наращивание гумуса не наблюдалось, и даже отмечалось его убыль, выраженная в рублях соответственно: –50, –25, –699 руб./га. Особенно выделился по этому показателю вариант с увеличением водной нагрузки на 30 % (1,3m). Здесь превалировали анаэробные процессы, которые сдерживали гумификацию.

Накопление питательных элементов также зависело от уровней увлажнения черноземов. В наименьшей степени они накапливались за год на неорошаемом варианте (0,05 т/га), на варианте с недостатком влаги (0,6m) – 0,07 т/га и на варианте 1m и 0,8 m по накоплению питательных элементов (NPK) идентичны и составляли 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. Он составил на черноземе обыкновенном орошаемом пресной водой на варианте 1m – 2377 руб./га, а на варианте 0,8m – 2631 руб./га. На варианте со снижением оросительной нормы на 20 % создаются лучшие условия для протекания естественных процессов почвообразования.

Эколого-экономический эффект, полученный сложением годового экономического и экологического эффектов, наибольшим получен также на вариантах 1m и 0,8m. Он соответственно составил 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. Их эффекты определяются исходными запасами гумуса и питательных элементов, а также теми воздействиями на почвы, которые оказывают различные уровни увлажнения.

Лучшими, в целом, по эколого-экономическому эффекту являются, как и на черноземах обыкновенных, орошаемых пресной водой, варианты 1m и 0,8m. На них эколого-экономический эффект 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 всего на 3–4 % по сравнению с расчетной нормой полива (1m). Экологический эффект даже увеличивается на 10 %, а в целом, эколого-экономический эффект уменьшился всего на 3 %.

9.2.3 Севообороты с агромелиоративными приемами

Севообороты с применением соответствующих агромелиоративных приемов являются важным звеном в сохранении воспроизводства почвенного плодородия. Они классифицируются по типам и видам: типы – полевой, кормовой и специальный; виды – зернопропашной, зернотравяной и т. д. Для его поддержания при составлении севооборотов многолетние травы должны составлять не менее 35 %. Остальные культуры подбираются таким образом, чтобы получить высокодоходный севооборот, усилить микробиологическую деятельность для накопления гумуса и питательных элементов, а также не допустить заражения почвы болезнями и обеспечить успешную борьбу с сорняками.

Схемы севооборотов зачастую приходится менять, адаптируя их к изменениям свойств почв, появлению новых сортов и в зависимости от создавшихся экономических условий.

На черноземах обыкновенных, орошаемых пресной водой в Ростовской области, изучалось севообороты типа:

- кормовой (промежуточных культур 58 %),
- полевой (люцерно-кукурузный),
- полевой (зерно-кормовой).

В изучаемых севооборотах применялись агроулучшающие мероприятия, а именно: дифференцированная обработка с пятого года, сочетающая обычную вспашку с плоскорезной обработкой, в сравнении с обычной и внесение навоза в дозах 60 и 100 т/га.

Продуктивность сельскохозяйственных культур в различных севооборотах по годам и, в целом, за ротацию севооборота, представлена в таблицах 85–87, из которых видно, что наибольшая продуктивность получена в кормовом севообороте. Она составила на обычной вспашке за ротацию севооборота 85,3 т з. ед./га, а дифференцированной обработке – 81,72 %. Аналогичные результаты получены и в других севооборотах.

В люцерно-кукурузном и зерно-кормовом севооборотах продуктивность была выше при применении минеральных удобрений (МУ) и навоза.

Таблица 85 – Продуктивность сельскохозяйственных культур кормового севооборота (промежуточных культур 57,2 %)

Культура севооборота	Обычная вспашка		Дифференцированная обработка*	
	Урожайность		Урожайность	
	т/га	т з. ед. /га	т/га	т з. ед. /га
1	2	3	4	5
Злако-бобовая смесь с подсевом люцерны	25	3,5	25	3,5
	13,05	2,35	13,05	2,35
Люцерна 2-го года жизни	61,0	10,98	61,0	10,98
Люцерна 3-го года жизни	64,5	11,61	64,5	11,61
Люцерна 4-го года жизни 2 укоса + поукосно сложная кормосмесь	20,8	3,75	20,8	3,75
	75,7	16,65	75,7	16,65
Злакобобовая смесь С подсевом суданки	31,8	7,00	28,6	6,29
	20,4	2,86	25,1	3,51
Рапсо-ячменная смесь Поукосно сложная кормосмесь	18,9	4,16	17,6	3,87
	42,1	9,26	36,0	7,92
Озимая пшеница познивно: Горохо-подсолнечная смесь	4,45	4,45	4,14	4,14
	39,7	8,73	32,5	7,15
Итого	85,30		81,72	

Примечание – * – дифференцированная обработка – обычная вспашка под люцерну и подъему пласта и плоскорезная обработка с пятого года на глубину от 10–12 до 14–16 см.

Таблица 86 – Полевой севооборот (люцерно-кукурузный)

Культура севооборота	Без удобрения		Удобрение					
			Минеральное удобрение		Навоз			
					60 т/га		100 т/га	
	т/га	т з. ед. /га	т/га	т з. ед. /га	т/га	т з. ед. /га	т/га	т з. ед. /га
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Обычная вспашка								
1. Ячмень с подсевом люцерны	$\frac{4}{12,5}$	$\frac{4}{2,25}$	$\frac{4}{12,5}$	$\frac{4}{2,25}$	$\frac{4}{12,5}$	$\frac{4}{2,25}$	$\frac{4}{12,5}$	$\frac{4}{2,25}$
2. Люцерна 2-го года	61,0	10,98	61,0	10,98	61,0	10,98	61,0	10,98
3. Люцерна 3-го года	64,5	11,61	64,5	11,61	64,5	11,61	64,5	11,61
4. Люцерна 4-го года с подсевом суданки	74,2	13,36	74,2	13,36	74,2	13,36	74,2	13,36
5. Кукуруза на зерно	8,1	9,23	8,1	9,23	8,1	9,23	8,1	9,23
6. Кукуруза на зерно	7,8	8,89	9,7	11,16	10,5	12,0	11,12	12,66
7. Кукуруза на зерно	7,7	8,78	9,6	10,9	10,0	14,4	9,8	11,2
8. Кукуруза на зеленую массу	20,5	3,49	29,9	4,96	28,6	4,86	29,4	5,0
Итого	–	72,60	–	75,35	–	79,69	–	80,31
Дифференцированная обработка								
1. Ячмень с подсевом люцерны	$\frac{4}{12,5}$	$\frac{4}{2,25}$	$\frac{4}{12,5}$	$\frac{4}{2,25}$	$\frac{4}{12,5}$	$\frac{4}{2,25}$	$\frac{4}{12,5}$	$\frac{4}{2,25}$
2. Люцерна 2-го года	61,0	10,98	61,0	10,98	61,0	10,98	61,0	10,98
3. Люцерна 3-го года	64,5	11,61	64,5	11,61	64,5	11,61	64,5	11,61
4. Люцерна 4-го года с подсевом суданки	74,2	13,36	74,2	13,36	74,2	13,36	74,2	13,36
5. Кукуруза на зерно	8,1	9,23	8,1	9,23	8,1	9,23	8,1	9,23
6. Кукуруза на зерно	7,1	8,09	8,9	11,15	10,4	11,86	11,3	12,88
7. Кукуруза на зерно	6,4	7,30	8,0	9,12	8,8	10,03	8,9	10,15
8. Кукуруза на зеленую массу	19,0	3,23	23,7	4,03	26,9	4,57	8,1	4,78
Итого	–	70,05	–	75,73	–	77,89	–	79,24

Таблица 87 – Полевой севооборот (зерно-кормовой)

Культура севооборота	Без удобрения		Удобрение					
			Минеральное удобрение		Навоз			
					60 т/га		100 т/га	
	т/га	т з. ед. /га	т/га	т з. ед. /га	т/га	т з. ед. /га	т/га	т з. ед. /га
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Обычная вспашка								
1. Ячмень с подсевом люцерны	$\frac{4}{12,5}$	$\frac{4}{2,25}$	$\frac{4}{12,5}$	$\frac{4}{2,25}$	$\frac{4}{12,5}$	$\frac{4}{2,25}$	$\frac{4}{12,5}$	$\frac{4}{2,25}$
2. Люцерна 2-го года	61,0	10,98	61,0	10,98	61,0	10,98	61,0	10,98
3. Люцерна 3-го года	64,5	11,61	64,5	11,61	64,5	11,61	64,5	11,61
4. Люцерна 4-го года с подсевом суданки	74,2	13,36	74,2	13,36	74,2	13,36	74,2	13,36
5. Озимая пшеница пожнивно злако-бобовая смесь	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80
	16,8	2,35	16,8	2,35	16,8	2,35	16,8	2,35
6. Кукуруза на зерно	7,62	8,69	9,52	10,85	10,3	11,74	9,97	11,37
7. Соя	2,32	2,71	2,90	3,39	3,10	3,63	3,17	3,71
8. Кукуруза на зерно	10,64	12,31	13,3	15,16	14,4	16,42	13,9	15,85
Итого:	–	74,06	–	79,75	–	82,14	–	81,28
Дифференцированная обработка								
1. Ячмень с подсевом люцерны	$\frac{4}{12,5}$	$\frac{4}{2,25}$	$\frac{4}{12,5}$	$\frac{4}{2,25}$	$\frac{4}{12,5}$	$\frac{4}{2,25}$	$\frac{4}{12,5}$	$\frac{4}{2,25}$
2. Люцерна 2-го года	61,0	10,98	61,0	10,98	61,0	10,98	61,0	10,98
3. Люцерна 3-го года	64,5	11,61	64,5	11,61	64,5	11,61	64,5	11,61
4. Люцерна 4-го года с подсевом суданки	74,2	13,36	74,2	13,36	74,2	13,36	74,2	13,36
5. Озимая пшеница пожнивно злако-бобовая смесь	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80
	17,3	2,42	17,3	2,42	17,3	2,42	17,3	2,42
6. Кукуруза на зерно	7,44	8,48	9,30	10,6	10,0	11,4	10,0	11,4
7. Соя	2,40	2,81	3,00	3,51	2,98	3,45	3,20	3,74
8. Кукуруза на зерно	10,40	11,86	13,0	14,82	14,0	15,96	14,0	15,96
Итого:	–	73,57	–	79,35	–	81,23	–	81,52

При этом при дозе навоза 100 т/га она была даже ниже, чем при дозе 60 т/га или одинаковая. Исходя из этого внесение высоких доз навоза (100 т/га) нецелесообразно. Это подтвердили расчеты экологической эффективности освоения севооборотов с агрономелиоративными приемами (дифференцированная обработка и унавоживание) (таблица 88). Из таблицы 88 видно, что наибольший годовой эффект получен в кормовом севообороте с содержанием промежуточных культур 57,8 %. Он составил 152,8 тыс. руб./га при себестоимости 1 т з. ед. – 2,46 тыс. рублей.

Таблица 88 – Экономический эффект различных севооборотов

Севооборот	Общие затраты за год	Урожайность за год, т з. ед. /га	Стоимость продукции за год, тыс. руб./га	Годовой эффект, тыс. руб./га	Себестоимость 1 т з. ед., тыс. руб.
Обычная вспашка					
1. Кормовой севооборот с пропашными культурами 57,2 %	30,0	12,20	182,8	152,8	2,46
2. Зерно-кормовой: без МУ	25,9	9,26	138,9	113,0	2,80
с МУ	32,9	9,97	149,5	116,3	3,30
навоз 60 т/га	28,3	10,7	154,0	125,7	2,76
навоз 100 т/га	29,8	10,16	152,4	122,6	2,93
3. Люцерно-кукурузный без МУ	22,88	9,08	136,2	113,3	2,52
с МУ	29,05	9,79	146,9	117,8	2,97
навоз 60 т/га	25,22	9,96	149,4	124,2	2,53
навоз 100 т/га	26,78	10,04	150,6	123,82	2,67
Дифференцированная обработка					
1. Кормовой севооборот с пропашными культурами 57,2 %	30,4	11,67	175,1	144,7	2,60
2. Зерно-кормовой: без МУ	26,2	9,19	137,9	111,7	2,85
с МУ	33,1	9,92	148,8	117,7	3,34
навоз 60 т/га	28,58	10,15	152,3	123,7	2,82
навоз 100 т/га	30,08	10,19	152,8	122,7	2,95
3. Люцерно-кукурузный без МУ	23,08	8,76	131,4	108,3	2,63
с МУ	22,69	9,47	142,1	112,8	3,09
навоз 60 т/га	25,42	9,74	146,1	120,7	2,61
навоз 100 т/га	26,98	9,91	148,7	121,7	2,72

На двух изучаемых полевых севооборотах практически получены идентичные данные. Так на лучшем варианте с 60 т/га в зерно-кормовом севообороте годовой эффект составил на обычной вспашке 125,7 тыс. руб./га при себестоимости 1 т з.ед. 2,76 тыс. руб., а в люцерно-кукурузном севообороте – 124,2 тыс. руб./га при себестоимости 2,53 тыс. руб. При дифференцированной обработке эти показатели практически такие же. Внесение навоза дозой 100 т/га по сравнению с 60 т/га не содействовало увеличению экономического эффекта.

Экологический эффект, определяемый плодородием почвенной массы, представлен в таблице 89.

Таблица 89 – Экологический и эколого-экономический эффект освоения различных севооборотов

Севооборот	Запас гумуса		За рота- цию сево- обо- рота, т/га	Годовой приход		Эколо- гиче- ский эф- фект, тыс. руб./га	Эколо- го- эконо- миче- ский эффект, тыс. руб./га
	до рота- ции сево- обо- рота, т/га	после ротации сево- оборота, т/га		гумуса, т/га	наво- за, т/га		
Обычная вспашка							
1. Кормовой севооборот с пропашными культу- рами 57,2 %	181,7	188,0	+6,3	+0,90	7,2	1,78	154,6
2. Зерно-кормовой: с МУ	182,2	183,1	+0,9	+0,11	0,9	0,22	116,5
навоз 60 т/га	180,9	190,5	+9,6	+1,2	9,6	2,38	128,1
3. Люцерно-кукурузный с МУ	181,3	181,4	0	0	0	0	117,8
навоз 60 т/га	180,5	188,6	+8,1	+1,01	8,1	2,00	126,2
Дифференцированная вспашка							
1. Кормовой севооборот с пропашными культу- рами 57,2 %	180,4	186,2	+5,8	+0,83	6,6	1,65	146,3
2. Зерно-кормовой: с МУ	182,4	180,5	−1,9	—	—	0	117,7
навоз 60 т/га	181,7	188,2	+6,5	+0,81	6,48	1,61	125,3
3. Люцерно-кукурузный с МУ	182,8	182,7	−2,6	—	—	0	112,8
навоз 60 т/га	180,7	186,7	+6,0	+0,75	6,00	1,49	122,2

Экологический эффект рассчитан по запасам гумуса в 0–40-сантиметровом слое почвы с переводом его в навоз. Одна тонна вновь образованного гумуса приблизительно соответствует 8 т/га навоза. Для расчетов стоимости 1 т навоза взята средняя цифра – 248 руб. Наибольший экологический эффект получен в полевых севооборотах при внесении 60 т/га навоза. В зерно-кормовом он составил 2,38 тыс. руб./га в год на обычной вспашке, а в люцерно-кукурузном – 2,00 тыс. руб./га.

При дифференцированной обработке соответственно 1,61 и 1,49 тыс. руб./га. Внесение минеральных удобрений без органики не приносит экологического эффекта. В кормовом севообороте гумус накапливается за счет различных травосмесей, что содействует получению экологического эффекта на обычной вспашке 1,78 тыс. руб. га, на дифференцированной обработке – 1,65 тыс. руб./га. Эколого-экономический эффект складывается из годовых экологического и экономического эффектов (см. таблицу 89). Наибольший он получен в кормовом севообороте (154,6 и 146,3 тыс. руб./га), а в полевых севооборотах при внесении 60 т/га навоза.

9.3 Экономическая эффективность агротехнических мероприятий при возделывании основных сельскохозяйственных культур

9.3.1 Экономическая эффективность выращивания сельскохозяйственных культур в севообороте

При длительном орошении возделывание сельскохозяйственных культур вне севооборота, только с учетом их коммерческой составляющей, негативно сказывается на формировании почвенного плодородия, следовательно, и на получении устойчивых урожаев. Коммерческие культуры могут лишь временно обеспечить получение высокого дохода, но в последствие с выносом питательных веществ из почвы будет происходить ее агроистощение, что в конечном итоге скажется на урожае (таблица 90).

Таблица 90 – Экономическая оценка возделывания сельскохозяйственных культур, ОПХ «ВолжНИИГиМ», в среднем за 2019–2021 гг.

Культура, смесь культур	Вариант	Урожайность, т/га	Цена реализации, руб./т	Выручка, руб./га	Затраты, руб./га	Чистый доход, руб./га
1	2	3	4	5	6	7
Озимая пшеница	В севообороте	4,5	14300	64350	59124	5226
	Без севооборота	4,0		57272	53803	3469
Соя	В севообороте	2,5	40000	100000	76690	23310
	Без севооборота	2,1		84000	72856	11144
Вика + овес + люцерна на зеленую массу	В севообороте	31,0	2000	62000	24104	37896
	Без севооборота	23,5		47000	20247	26753
Люцерна	В севообороте	45,0	2000	90000	16114	73886
	Без севооборота	42,3		84600	15147	69453

Очевидно, что выращивание сельскохозяйственных культур в севообороте по сравнению с возделыванием в монокультуре наиболее рентабельно. Чистый доход, полученный при возделывании культур в севообороте, выше по озимой пшенице на 1,76 тыс. руб./га, сое – на 12,17 тыс. руб./га, вико-овсяно-люцерновой смеси – на 11,14 тыс. руб./га и люцерне – на 4,43 тыс. руб./га. Кроме того, севооборот способствовал повышению накопления гумуса, что и привело к увеличению уровня урожайности культур.

В условиях орошения в системе кормовых и зернокормовых севооборотов значительная роль в сохранении положительного баланса гумуса принадлежит многолетним травам и культурам-биомелиорантам.

Экономическая эффективность выращивания многолетних кормовых культур при различной глубине залегания грунтовых вод рассчитана на основе производственных затрат по вариантам опыта [252]. Анализ полученных данных показывает, что выращивание многолетних трав в условиях орошения при различном уровне грунтовых вод является экономически выгодным и рентабельным. В среднем за годы исследований урожайность зеленой массы и выход кормовых единиц при УГВ 1,5–2,0 м, как при жестком, так и умеренном режиме увлажнения посевов были по своим показателям

близки между собой и составили: зеленой массы 28,2–35,31 и 27,42–35,50 т/га, кормовых единиц 6,56–7,16 и 6,12–7,11 т/га (таблица 91).

Таблица 91 – Экономическая эффективность возделывания многолетних трав в зависимости от режима увлажнения посевов и УГВ, 2019–2021 гг.

УГВ, м	Культура (смесь культур)	Урожай- ность зеленой массы, т/га	Выход кормо- вых еди- ниц, т/га	Затра- ты, руб./ га	Стои- мость про- дукции с 1 га, руб.	Услов- но чис- тый до- ход с 1 га, руб.	Себе- стои- мость 1 т зеле- ной мас- сы, руб.	Уровень рента- бельно- сти, %
Экономный режим увлажнения								
1,5–2,0	Люцерна	28,20	6,56	16100	56400	40300	570,9	250
	Люцерна + кострец безостый	32,71	7,09	16168	65420	49252	494,3	304
	Козлятник восточный	35,31	7,16	16245	65420	49175	460,0	303
2,5–3,0	Люцерна	34,06	6,61	16490	68120	51621	484,4	313
	Люцерна + кострец безостый	41,37	8,07	16586	82740	66154	401	399
	Козлятник восточный	44,03	7,68	16590	88060	71470	377,0	431
> 5,0	Люцерна	30,94	4,99	16966	61880	44914	548,4	265
	Люцерна + кострец безостый	35,54	6,61	17369	71080	5371	488,7	309
	Козлятник восточный	39,21	7,06	17400	78420	61020	443,7	350
Оптимальный режим увлажнения								
1,5–2,0	Люцерна	27,42	6,12	16282	54840	38558	593,8	237
	Люцерна + кострец безостый	32,53	7,03	17099	65060	47961	525,6	280
	Козлятник восточный	35,50	7,11	17176	71000	53824	483,8	313
2,5–3,0	Люцерна	39,96	7,31	17309	79920	62611	433,0	362
	Люцерна + кострец безостый	44,60	8,07	17483	89200	71713	392,0	410
	Козлятник восточный	48,87	8,26	17618	97740	80122	360,5	455
> 5,0	Люцерна	37,49	6,96	18303	74980	56677	488,2	310
	Люцерна + кострец безостый	40,85	7,69	18567	81700	63133	454,5	340
	Козлятник восточный	45,76	7,73	18612	91520	72908	406,7	392

Применение умеренного режима увлажнения посевов по сравнению с экономным при УГВ 2,5–3,0 м и более 5м повысило как урожайность, так и выход кормовых единиц. Наибольшая урожайность и максимальный выход кормовых единиц при возделывании многолетних трав отмечены при умеренном режиме орошения на участках с УГВ 2,5–3,0 м – соответственно 39,96–48,87 т/га зеленой массы и 7,31–8,26 т кормовых единиц.

Затраты, связанные с выращиванием и уборкой возделываемых в опыте культур при экономном режиме орошения, изменялись от 16100–16240 руб. при УГВ 1,5–2,0 м до 16966–17400 руб./га при УГВ более 5,0 м. Применение оптимального режима орошения привело к увеличению производимых затрат от 16282–17176 руб. при УГВ 1,5–2,0 м до 18303–18612 руб./га при УГВ более 5,0 м.

Стоимость полученной зеленой массы многолетних трав определялась урожайностью и изменялась от 56400–65420 руб./га при экономном режиме орошения и УГВ 1,5–2,0 м до 79920–97740 руб. при УГВ 2,5–3,0 м и оптимальном режиме увлажнения посевов. При возделывании многолетних культур при уровне грунтовых вод 2,5–3,0 м и более 5 м на оптимальном режиме орошения условно-чистый доход выше, чем на экономном режиме. При УГВ 1,5–2,0 м культуры лучше выращивать при экономном режиме орошения, особенно люцерну. Наибольший уровень рентабельности при экономном и оптимальном режимах отмечен при УГВ 2,5–3,0 м и составил соответственно от 313 до 431 % и от 362 до 455 %.

По сравнению с люцерной совместное возделывание люцерны с кострцом безостым на всех уровнях увлажнения и при различных УГВ гораздо эффективнее. Наибольшая зеленая масса набирается козлятником восточным. По чистому доходу и рентабельности он также превосходит люцерну с кострцом. Кроме этого, учитывая большой биологический и биомелиоративный потенциал этой культуры, его посевы можно использовать длительно, что является ресурсосберегающим приемом за счет экономии затрат на семена и сев (один раз в семь лет) [136, 253].

Таким образом, многолетние травы экономически целесообразно возделывать и при близком залегании УГВ 1,5–2,0 м и 2,5–3,0 м с поддержанием экономного режима увлажнения. С учетом экономического эффекта и положительного мелиорирующего воздействия на участках с близким залеганием УГВ предпочтение следует отдавать посевам козлятника восточного.

9.3.2 Экономическая эффективность основной обработки почв

Использование экономических показателей в исследованиях позволяет оптимизировать способы обработки почвы в условиях орошения с точки зрения их агроэкологической значимости и экономической целесообразности [226, 227, 254].

К технико-экономическим показателям относится тяговое сопротивление машины или орудия для обработки почвы, которое определяется методом измерения усилий при помощи тензодатчиков сопротивления, наклеенных на тяговое звено между трактором и орудием, и зависит от ширины захвата и глубины обработки, а также от физико-механических свойств почвы, скорости движения, геометрической формы рабочей поверхности агрегата и его расположения относительно дна и стенки борозды [226, 255].

Для экономической оценки различных способов основной обработки почвы были использованы методические указания Всероссийского научно-исследовательского и проектно-технологического института экономики и Всероссийского научно-исследовательского института кормов им. В. Р. Вильямса [228].

Годовой экономический эффект $\mathcal{E}_{\text{год}}$ по вариантам опыта составляет сумму чистого дохода, полученного от реализации продукции:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = \sum \text{ЧД} = Y - C, \quad (31)$$

где $ЧД$ – чистый доход, руб.;

$У$ – валовая продукция в зональных закупочных ценах или ценах фактической реализации, руб.;

$С$ – издержки производства.

Для определения себестоимости урожая проведен расчет основных затрат на 1 га. В состав затрат входили: стоимость семян, удобрений, горюче-смазочных материалов, поливной воды, амортизация, затраты на текущий и капитальный ремонты по автотранспорту, почвообрабатывающей и уборочной технике, заработная плата с начислениями и накладные расходы [226].

Расчет условного чистого дохода проведен по стоимости основной продукции [226].

В таблице 92 представлена экономическая эффективность выращивания сельскохозяйственных культур в звене орошаемого севооборота в зависимости от способов основной обработки почвы.

Таблица 92 – Экономическая оценка влияния способов основной обработки почвы на эффективность возделывания сельскохозяйственных культур в звене орошаемого севооборота, в среднем за 2019–2021 гг.

Показатель	Культура звена севооборота						
	Вика + овес			Озимая пшеница		Кукуруза на силос	
	Способ основной обработки почвы						
	Отвальная вспашка, 25–27 см	Плоскорезная обработка, 25–27 см	Дискование, 12–14 см	Отвальная вспашка, 18–20 см	Плоскорезная обработка, 18–20 см	Отвальная вспашка, 25–27 см	Плоскорезная обработка, 25–27 см
Урожайность, т/га	37,5	36,9	32,7	3,36	3,59	41,9	41,0
Затраты на возделывание культур, в т. ч. на обработки, руб./га	24104 1921	23873 1690	23777 1594	44146 4020	43999 3873	21727 1727	21529 1529
Стоимость валовой продукции, руб.	75000	73800	65400	48048	51337	83800	82000
Чистый доход, руб./га	50896	49927	41623	3902	7338	62073	60471
Себестоимость, руб./т	643	647	727	13138	12256	519	525
Рентабельность, %	211	209	175	9	17	385	380

Из таблицы 92 видно, что количество затрат на гектар на плоскорезной обработке несколько ниже по сравнению с отвальной.

По экономическим показателям возделывание кормосмеси эффективно как при отвальной вспашке, так и плоскорезной обработке. При дисковании происходит снижение урожайности кормосмеси на 13–15 %, что сказывается на показателях экономической эффективности, а именно: чистый доход уменьшился на 12–13 %, себестоимость продукции возросла на 12 %. Для озимой пшеницы в качестве основной обработки лучше применять плоскорезную обработку, которая способствовала увеличению ее урожайности на 7 %, а чистый доход составил 7338 руб./га, а на отвальной вспашке – 3902 руб./га. При выращивании кукурузы на силос по экономическим показателям отвальная вспашка и плоскорезная обработки практически равнозначны. Но, учитывая благоприятное влияние плоскорезной обработки на биоэнергетическую эффективность и плодородие почв, ее следует периодически применять как почвозащитную технологию основной обработки почв [255].

Освоение разработанной ресурсосберегающей почвозащитной основной обработки почвы проводилось в КФХ «Трудовой» (таблица 93) и ОПХ «ВолжНИИГиМ» на больших производственных площадях (таблица 93).

Таблица 93 – Эффективность почвозащитных технологий производства кормовых культур в КФХ «Трудовой», 2020 г.

Показатель	Культура			
	Многолетние травы		Кукуруза на силос	Кормовые смеси
	сено	зеленая масса		
Площадь, га	470	174	832	440
Оросительная норма, м ³ /га	3000	3000	2250	2000
Поливная норма, м ³ /га	500	500	450	400
Кратность полива	6	6	5	5
Валовой сбор, т	3506	3601	23012	9221
Урожайность, т/га	7,46	20,7	27,6	20,9
Себестоимость 1 т продукции, руб.	444,6	165,9	183,3	131,2
Уровень рентабельности	96,8	94,6	76,2	146,1

Приведенные экономические показатели свидетельствуют о выгодности системы кормопроизводства на орошаемых землях. В основе этих показателей лежит усовершенствованная ресурсосберегающая почвозащитная технология основной обработки почвы, обеспечивающая оптимизацию вод-

ного, пищевого режимов и благоприятную экологическую и мелиоративную обстановку на орошаемом поле [244]. Высокая экономическая эффективность разработанной технологии была получена и в опытно-производственном хозяйстве ВолжНИИГиМ (таблица 94).

Таблица 94 – Эффективность ресурсосберегающей технологии обработки почвы в ОПХ «ВолжНИИГиМ», 2019–2021 гг.

Показатель	Ед. изм.	Год		
		2019	2020	2021
Урожайность кормовых культур	т к. ед.	3,20	3,84	5,09
Производство продукции на 1 тыс. м ³ воды	тыс. руб.	2,0	3,9	7,9
Выход валовой продукции с 1 га	руб.	5028	9428	11087
Прибыль по хозяйству	тыс. руб.	250	485	503
Рентабельность	%	10	24	17

Полученные результаты подтверждают перспективность ресурсосберегающей почвозащитной обработки почвы на орошении.

Таким образом, проведенная экономическая оценка различных способов основной обработки почвы говорит о необходимости широкого внедрения разработанной почвозащитной технологии для сохранения и повышения почвенного плодородия на длительно орошаемых почвах в севооборотах сухостепной зоны [226, 228].

Расчет экономической эффективности агротехнических мероприятий представлен за ротацию возделывания основных сельскохозяйственных культур в типовом зернокормовом севообороте общей площадью 350 га (площадь под каждой культурой 50 га):

- 1 поле – Вика +овес на зеленый корм + люцерна под покров,
- 2 поле – Люцерна на зеленый корм,
- 3 поле – Люцерна на сено,
- 4 поле – Кормосмесь на силос (сорго + соя + суданская трава + подсолнечник),
- 5 поле – Ячмень на зерно,
- 6 поле – Озимая пшеница на зерно,
- 7 поле – Соя.

Агротехнологические операции и используемые при их проведении агрегаты приведены в таблице 95.

Таблица 95 – Агротехнологические операции и оборудование, используемое при выращивании сельскохозяйственных культур севооборота

Агротехнологическая операция	Агрегат
1 Дискование стерни	БТЗ-260 с БДТ-3 или МТЗ-1221 без катка
2 Вспашка зяби	БТЗ-260 или МТЗ-1221 с ППН-5-35
3 Плоскорезная обработка	БТЗ-260 или МТЗ-1221 с КПШ-5
4 Внесение удобрений	МТЗ-82 с РУМ-6
5 Протравливание семян	ПС-10
6 Боронование зяби, трав озимых в два следа	БТЗ-260; Т-150; МТЗ-1221 сцепка борон БЗТ-1.0
7 Культивация	МТЗ-1221 или БТЗ-260 с КПГ-5
8 Сев	МТЗ-82 с СЗ-5,4 или СЗТ-5,4 (травяная)
9 Прикатывание	МТЗ-82 сцепка катков ККШ-6
10 Внесение гербицидов	МТЗ-82 с ОПШ-15
11 Полив	ДМ «Фрегат»
12 Косьба трав в валок на сенаж	СК-«Енисей» с жаткой ЖВН-6
13 Косьба трав на сено	МТЗ-82 с косилкой-плющилкой КП-4,2
14 Косьба трав на зеленый корм	МТЗ-82 с Клевер-1,5 или МТЗ-1221 с КПКУ-75 «Полесье»
15 Косьба кормосмесей на силос	БТЗ-260 с КПКУ-75 «Полесье»
16 Уборка трав на сено	МТЗ-82 с ПТ-45Ф
17 Уборка зерновых и зернобобовых культур	Зерноуборочный комбайн «Вектор-460»

Для расчетов использовались технологические карты по возделыванию каждой культуры севооборота, установленные нормы выработки и расценки на технологические операции, а также калькуляции фактических затрат на проведение данных работ на орошаемых площадях опытно-производственного хозяйства «ВолжНИИГиМ» и других хозяйств Поволжского региона.

Результаты по культурам севооборота представлены в таблицах 96–102.

Итоговая комплексная оценка экономической эффективности агротехнических мероприятий при возделывании основных сельскохозяйственных культур за ротацию севооборота 2015–2021 гг. приведена в таблице 103.

Таблица 96 – Экономическая эффективность агротехнических мероприятий при возделывании с.-х. культуры (смеси культур) вика +овес на зеленый корм + люцерна под покров (поле 1, 2015 г.)

Технологи- ческая операция	Марка агре- гата	Валовой сбор		Урожайность, т/га	Затраты, тыс. руб.										Себестоимость 1 т продукции, тыс. руб.	Цена реализации продукции, тыс. руб./т	Доход (выручка от реали- зации), тыс. руб.	Чистый доход, тыс. руб.		Рентабельность, %
		т	т к. ед.		Оплата труда с начислениями	материальные					Прочие расходы	Накладные расходы	Всего затрат	всего				на 1 га		
						Семена	Гербициды, химические средства	Удобрения	Поливы	ГСМ									Амортизация	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Зяблевая вспашка после уборки предшест- венников (осень)	БТЗ- 260	х	х	х	38,7	–	–	–	–	85,2	46,4	17,0	9,7	197,0	–	–	–	–	–	–
Внесение удобрений (осень)	БТЗ- 260	х	х	х	23,2	–	5,0	–	–	49,4	27,8	10,5	5,8	121,7	–	–	–	–	–	–
Покровное боронова- ние (весна)	МТЗ- 1221 сцепка борон БЗС- 1.0	х	х	х	9,1	–	–	–	–	20,0	10,9	4,0	2,3	46,3	–	–	–	–	–	–

Продолжение таблицы 96

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Предпосев- ная культи- вация	МТЗ- 1221 с КПГ-5	х	х	х	16,3	–	–	–	–	35,9	19,6	7,2	4,1	83,1	–	–	–	–	–	–
Посев лю- церны	МТЗ-82 с СЗТ- 5,4	х	х	х	28,8	160,0	–	–	–	63,4	34,6	28,7	7,2	322,7	–	–	–	–	–	–
Прикаты- вание коль- чатыми катками	МТЗ-82 сцепка ККШ-6	х	х	х	15,6	–	–	–	–	34,3	18,7	6,9	3,9	79,4	–	–	–	–	–	–
Вегетаци- онные по- ливы	ДМ «Фре- гат» три полива нормой 350 м ³ /га	х	х	х	99,2	–	–	–	105,0	–	39,7	24,4	24,8	293,1	–	–	–	–	–	–
Косьба	БТЗ-260 с КПКУ- 75 «По- лесье»	–	–	–	12,2	–	–	–	–	26,8	14,6	5,4	3,1	62,0	–	–	–	–	–	–
Итого		1550	279	31,0	243,1	160,0	5,0	–	105,0	315,0	212,3	104,0	60,8	1205,2	0,8	2,0	3100,0	1894,8	37,9	257,2

Таблица 97 – Экономическая эффективность агротехнических мероприятий при возделывании с.-х. культуры
люцерны на зеленый корм (поле 2, 2016 г.)

Техноло- гическая операция	Марка агрега- та	Валовой сбор		Урожайность, т/га	Затраты, тыс. руб.										Себестоимость 1 т продукции, тыс. руб.	Цена реализации продукции, тыс. руб./т	Доход (выручка от реализа- ции), тыс. руб.	Чистый доход, тыс. руб.		Рентабельность, %
		т	т к. ед.		Оплата труда с начислениями	материальные						Прочие расходы	Накладные расходы	Всего затрат				всего	на 1 га	
						Семена	Гербициды, хим. средства	Удобрения	Поливы	ГСМ	Амортизация									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Бороно- вание весной	БТЗ-260 сцепка борон БЗС-1.0	х	х	х	9,0	–	–	–	–	2,4	3,6	1,5	2,3	18,7	х	х	х	х	х	х
Внесение подкор- мок	МТЗ-82 РУМ-6	х	х	х	19,5	–	–	50,0	–	5,1	7,7	8,2	4,9	95,5	х	х	х	х	х	х
Вегета- ционные поливы	ДМ «Фре- гат» пять поливов нормой 450 м³/га	х	х	х	83,8	–	–	–	250,0	21,9	33,3	38,9	21,0	448,8	х	х	х	х	х	х

Продолжение таблицы 97

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Первый укос	БТЗ-260 с КПКУ- 75 «По- лесье»	1000	–	–	39,0	–	–	–	–	10,2	15,5	6,5	9,8	80,9	x	x	x	x	x	x
Второй укос	-//-	750	–	–	39,0	–	–	–	–	10,2	15,5	6,5	9,8	80,9	x	x	x	x	x	x
Третий укос	-//-	500	–	–	39,0	–	–	–	–	10,2	15,5	6,5	9,8	80,9	x	x	x	x	x	x
Итого		2250	428	45,0	229,3	0,0	0,0	50,0	250,0	60,0	91,0	68,0	57,3	805,7	0,4	2,0	4500,0	3694,3	73,9	558,6

Таблица 98 – Экономическая эффективность агротехнических мероприятий при возделывании с.-х. культуры
люцерна на сено (поле 3, 2017 г.)

Техноло- гическая операция	Марка агре- гата	Валовой сбор		Урожайность, т/га	Затраты, тыс. руб.										Себестоимость 1 т продукции, тыс. руб.	Цена реализации продукции, тыс. руб./т	Доход (выручка от реа- лизации), тыс. руб.	Чистый доход, тыс. руб.		Рентабельность, %
		т	т к. ед.		Оплата труда с начислениями	материальные					Прочие расходы	Накладные расходы	Всего затрат	всего				на 1 га		
						Семена	Гербициды, хим. средства	Удобрения	Поливы	ГСМ									Амортизация	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Боронова- ние вес- ной в два следа	МТЗ- 1221 сцепка борон БЗС-1.0	х	х	х	9,0	—	—	—	—	1,8	2,4	1,3	2,3	16,8	х	х	х	х	х	х
Внесение подкор- мок	МТЗ-82 РУМ-6	х	х	х	19,5	—	—	100,0	—	3,9	5,1	12,9	4,9	146,3	х	х	х	х	х	х
Вегетаци- онные по- ливы	ДМ «Фре- гат» пять поли- вов нормой 450 м ³ /га	х	х	х	83,8	—	—	—	350,0	16,9	22,0	47,3	21,0	541,0	х	х	х	х	х	х

Продолжение таблицы 98

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Первый укос	МТЗ- 82 с ПТ- 45Ф	—	—	—	78,0	—	—	—	—	15,8	20,5	11,4	19,5	145,2	x	x	x	x	x	x
Второй укос	-//-	—	—	—	78,0	—	—	—	—	15,8	20,5	11,4	19,5	145,2	x	x	x	x	x	x
Третий укос	-//	—	—	—	78,0	—	—	—	—	15,8	20,5	11,4	19,5	145,2	x	x	x	x	x	x
Итого		480	240	9,6	346,3	0,0	0,0	100,0	350,0	70,0	91,0	95,7	86,6	1139,6	2,4	10,0	4800,0	3660,4	73,2	421,2

Таблица 99 – Экономическая эффективность агротехнических мероприятий при возделывании с.-х. культуры (смеси культур) кормосмесь на силос (сорго + соя + суданская трава + подсолнечник) (поле 4, 2018 г.)

Техноло- гическая операция	Мар- ка агре- гата	Валовой сбор		Урожайность, т/га	Затраты, тыс. руб.										Себестоимость 1 т продукции, тыс. руб.	Цена реализации продукции, тыс. руб./т	Доход (выручка от реа- лизации), тыс. руб.	Чистый доход, тыс. руб.		Рентабельность, %
					Оплата труда с начислениями	материальные					Прочие расходы	Накладные расходы	Всего затрат	все- го				на 1 га		
		т	т к. ед.			Семена	Гербициды, хим. средства	Удобрения	Поливы	ГСМ									Амортизация	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Покров- ное боро- нование весной	МТЗ- 1221 сцепка борон БЗС- 1.0	х	х	х	30,8	—	—	—	—	38,7	7,4	7,7	7,7	92,3	х	х	х	х	х	х
Культива- ция	БТЗ- 260 с КПП-5	х	х	х	54,6	—	—	—	—	63,2	13,2	13,1	13,7	157,7	х	х	х	х	х	х
Посев	МТЗ- 82 с СЗТ- 5,4	х	х	х	96,5	70,0	—	—	—	94,6	23,3	28,4	24,1	337,0	х	х	х	х	х	х
Прикаты- вание	МТЗ- 82 с ККШ- 6	х	х	х	52,3	—	—	—	—	58,4	12,6	12,3	13,1	148,8	х	х	х	х	х	х

Продолжение таблицы 99

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Внесение подкормок	МТЗ-82 РУМ-6	х	х	х	19,5	—	—	80,0	—	27,7	71,4	19,9	4,9	223,3	х	х	х	х	х	х
Вегетационные поливы	ДМ «Фрегат» 3 поли-ва нормой 450 м3/га	х	х	х	332,1	—	—	—	150,0	—	80,3	56,2	83,0	701,6	х	х	х	х	х	х
Уборка на силос	БТЗ-260 с КПКУ-75 «По-лесье»	х	х	х	41,4	—	—	—	—	47,8	10,0	9,9	10,4	119,5	х	х	х	х	х	х
Итого		2250	440	45,0	627,2	70,0	0,0	80,0	150,0	330,4	218,3	147,6	156,8	1780,3	0,8	2,5	5625,0	3844,7	76,9	316,0

Таблица 100 – Экономическая эффективность агротехнических мероприятий при возделывании с.-х. культуры
ячмень на зерно (поле 5, 2019 г.)

Техно- логическая операция	Мар- ка агре- гата	Валовой сбор		Урожайность, т/га	Затраты, тыс. руб.										Себестоимость 1 т продукции, тыс. руб.	Цена реализации продукции, тыс. руб./т	Доход (выручка от реали- зации), тыс. руб.	Чистый доход, тыс. руб.		Рентабельность, %
		т	т к. ед.		Оплата труда с начислениями	материальные					Прочие расходы	Накладные расходы	Всего затрат	все- го				на 1 га		
						Семена	Гербициды, хим. средства	Удобрения	Поливы	ГСМ									Амортизация	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Покров- ное боро- нование (весна)	МТЗ- 1221 сцепка борон БЗС- 1.0	х	х	х	63,2	–	–	–	–	38,7	9,3	11,1	15,8	138,1	х	х	х	х	х	х
Предпо- севная культива- ция	БТЗ- 260 с КПП-5	х	х	х	78,3	–	–	–	–	63,2	16,5	15,8	19,6	193,4	х	х	х	х	х	х
Посев	МТЗ- 82 с СЗТ- 5,4	х	х	х	148,4	70,0	–	–	–	94,6	21,2	33,4	37,1	404,7	х	х	х	х	х	х

Продолжение таблицы 100

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Прикаты- вание	МТЗ- 82 сцеп- каКК Ш-6	x	x	x	68,1	–	–	–	–	58,4	16,2	14,3	17,0	174,0	x	x	x	x	x	x
Внесение средств защиты	МТЗ- 82 РУМ-6	x	x	x	47,3	–	25	–	–	27,7	59,2	15,9	11,8	186,9	x	x	x	x	x	x
Вегетаци- онные по- ливы	ДМ «Фре- гат» два полива нор- мой 450 м3/га	x	x	x	297,8	–	–	–	110,0	–	69,9	47,8	74,5	599,9	x	x	x	x	x	x
Уборка	Зерно- убороч роч- ный ком- байн «Век- тор- 460»	x	x	x	93,8	–	–	–	–	47,8	12,6	15,4	23,5	193,1	x	x	x	x	x	x
Итого		200	224	4,0	796,9	70,0	25,0	0,0	110,0	330,4	204,9	153,7	199,2	1890,1	9,5	11,0	2200,0	309,9	6,2	116,4

Таблица 101 – Экономическая эффективность агротехнических мероприятий при возделывании с.-х. культуры озимая пшеница на зерно (поле 6, 2020 г.)

Техноло- гическая операция	Марка агре- гата	Валовой сбор		Урожайность, т/га	Затраты, тыс. руб.										Себестоимость 1 т продукции, тыс. руб.	Цена реализации продукции, тыс. руб./т	Доход (выручка от реализации), тыс. руб.	Чистый доход, тыс. руб.		Рентабельность, %
					Оплата труда с начислениями	материальные						Прочие расходы	Накладные расходы	Всего затрат				всего	на 1 га	
		т	т к. ед.			Семена	Гербициды, хим. средства	Удобрения	Поливы	ГСМ	Амортизация									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Вспашка (август 2019 г.)	БТЗ- 260	х	х	х	117,1	–	–	–	–	42,5	22,9	18,3	29,3	230,0	х	х	х	х	х	х
Боронова- ние (ав- густ 2019 г.)	МТЗ- 1221 сцепка борон БЗС- 1.0	х	х	х	25,9	–	–	–	–	9,4	8,3	4,4	6,5	54,4	х	х	х	х	х	х
Предпо- севная культива- ция (август 2019 г.)	БТЗ- 260 с КПП-5	х	х	х	41,3	–	–	–	–	15,5	11,9	6,9	10,3	85,9	х	х	х	х	х	х
Посев (ав- густ- сентябрь 2019 г.)	МТЗ- 82 с СЗТ- 5,4	х	х	х	72,9	205,9	–	–	–	26,5	18,4	32,4	18,2	374,3	х	х	х	х	х	х

Продолжение таблицы 101

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Прикаты- вание	МТЗ-82 с ККШ- 6	х	х	х	39,4	—	—	—	—	14,3	17,8	7,2	9,9	88,5	х	х	х	х	х	х
Внесение подкор- мок	МТЗ-82 РУМ-6	х	х	х	58,6	—	100	139,1	—	21,3	14,5	33,4	14,7	381,5	х	х	х	х	х	х
Вегетаци- онные по- ливы	ДМ «Фре- гат» 3 полива нормой 450 м3/га	х	х	х	380,2	—	—	—	—	—	36,2	58,1	95,1	734,6	х	х	х	х	х	х
Уборка	Зерно- убо- рочный ком- байн «Век- тор- 460»	х	х	х	514,6	—	—	—	—	186,3	97,6	79,9	128,7	1007,0	х	х	х	х	х	х
Итого		225	252	4,5	1250,0	205,9	100,0	139,1	165,0	315,8	227,6	240,3	312,5	2956,2	13,1	14,3	3217,5	261,3	5,2	108,8

Таблица 102 – Экономическая эффективность агротехнических мероприятий при возделывании с.-х. культуры
соя на зерно (поле 7, 2021 г.)

Техноло- гическая операция	Марка агрега- та	Валовой сбор		Урожайность, т/га	Затраты, тыс. руб.										Себестоимость 1 т продукции, тыс. руб.	Цена реализации продукции, тыс. руб./т	Доход (выручка от реализации), тыс. руб.	Чистый доход, тыс. руб.		Рентабельность, %
		т	т к. ед.		Оплата труда с начислениями	материальные						Прочие расходы	Накладные расходы	Всего затрат						
						Семена	Гербициды, хим. средства	Удобрения	Поливы	ГСМ	Амортизация									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Покров- ное боро- нование весной в два следа	МТЗ- 1221 сцепка борон БЗС-1.0	х	х	х	35,0	–	–	–	–	16,0	9,3	6,0	8,8	75,1	х	х	х	х	х	х
Внесение почвенно- го герби- цида	МТЗ-82 с ОПШ- 15	х	х	х	75,0	–	300,0	–	–	36,2	39,2	45,0	18,8	514,2	х	х	х	х	х	х
Предпо- севная культива- ция	МТЗ- 1221 с КПП-5	х	х	х	55,0	–	–	–	–	26,4	11,9	9,3	13,8	116,4	х	х	х	х	х	х
Предпо- севой полив	ДМ «Фре- гат»	х	х	х	160,0	–	–	–	87,5	–	13,2	26,1	40,0	326,8	х	х	х	х	х	х
Посев	МТЗ-82 с СЗТ- 5,4	х	х	х	93,0	150,0	–	–	–	45,1	16,4	30,5	23,3	358,2	х	х	х	х	х	х

Продолжение таблицы 102

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Прикаты- вание	МТЗ-82 с ККШ-6	х	х	х	50,0	—	—	—	—	24,3	11,6	8,6	12,5	107,0	х	х	х	х	х	х
Внесение подкор- мок	МТЗ-82 РУМ-6	х	х	х	75,0	—	—	80,0	—	36,2	12,0	20,3	18,8	242,3	х	х	х	х	х	х
Вегетаци- онные по- ливы	ДМ «Фре- гат» три полива нормой 450 м ³ /га	х	х	х	460,0	—	—	—	262,5	—	39,6	76,2	115,0	953,3	х	х	х	х	х	х
Уборка	Зерно- убороч- ный комбайн «Вектор- 460»	х	х	х	520,0	—	—	—	—	315,8	83,6	91,9	130,0	1141,3	х	х	х	х	х	х
Итого		125	163	2,5	1523,0	150,0	300,0	80,0	350,0	500,0	236,8	314,0	380,8	3834,5	30,7	40,0	5000,0	1165,5	23,3	130,4

Таблица 103 – Комплексная оценка экономической эффективности агротехнических мероприятий за ротацию севооборота

Техноло- гическая операция	Валовой сбор		Урожайность, т/га	Затраты, тыс. руб.										Себестоимость 1 т продукции, тыс. руб.	Себестоимость продукции, тыс. руб./га	Цена реализации продукции, тыс. руб./т	Доход (выручка от реализации), тыс. руб.	Чистый до- ход, тыс. руб.		Рентабельность, %
	т	т к. ед.		Оплата труда с начислениями	материальные						Прочие расходы	Накладные расходы	Всего затрат					всего	на 1 га	
					Семена	Гербициды, хим. средства	Удобрения	Поливы	ГСМ	Амортизация										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1 поле – Вика + овес на зеленый корм + люцерна под по- кров	1 550	279	31,0	243,1	160,0	5,0	0,0	105,0	315,0	212,3	104,0	60,8	1205,2	0,8	24,1	2,0	3100,0	1894,8	37,9	257,2
2 поле – Люцерна на зеле- ный корм	2250	428	45	229,3	–	–	50,0	250,0	60,0	91,0	68,0	57,3	805,7	0,4	16,1	2,0	4500,0	3694,3	73,9	558,6
3 поле – Люцерна на сено	480	240	10	346,3	0,0	0,0	100,0	350,0	70,0	91,0	95,7	86,6	1139,6	2,4	22,8	0,0	4800,0	3660,4	73,2	421,2

Продолжение таблицы 103

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
4 поле – Кормо- смесь на силос (сорго + soя + су- данская травa + подсол- нечник)	2 250	440	45	627,2	70,0	0,0	80,0	150,0	330,4	218,3	147,6	156,8	1780,3	0,8	35,6	2,5	5625,0	3844,7	76,9	316,0
5 поле – Ячмень на зерно	200	224	4	796,9	70,0	25,0	0,0	110,0	330,4	204,9	153,7	199,2	1890,1	9,5	37,8	11,0	2200,0	309,9	6,2	116,4
6 поле – Озимая пшеница на зерно	225	252	5	1250,0	205,9	100,0	139,1	165,0	315,8	227,6	240,3	312,5	2956,2	13,1	59,1	14,3	3217,5	261,3	5,2	108,8
7 поле – Соя	125	163	3	1523,0	150,0	300,0	80,0	350,0	500,0	236,8	314,0	380,8	3834,5	30,7	76,7	40,0	5000,0	1165,5	23,3	130,4
Итого	х	1993	х	5015,8	655,9	430,0	449,1	1480,0	1921,6	1281,9	1123,4	1254,0	13611,7	х	х	х	28442,5	14830,8	296,6	209,0

Исходя из полученных данных расчетов по итоговой комплексной оценке экономической эффективности агротехнических мероприятий за ротацию севооборота на длительно орошаемых землях, можно сделать вывод о том, что проведенные агротехнические мероприятия оказали положительное влияние на продуктивность основных сельскохозяйственных культур.

Наиболее продуктивными культурами данного севооборота следует считать кормовые культуры: кормосмесь на силос (сорго + соя + суданская трава + подсолнечник), где чистый доход с 1 га составил 76,9 тыс. руб.; люцерна на зеленый корм – 73,9 тыс. руб.; люцерна на сено – 73,2 тыс. руб./га.

Из зерновых и зернобобовых культур наиболее рентабельным является производство сои, чистый доход составил – 23,3 тыс. руб /га.

В целом по всем культурам севооборота получен чистый доход 14830,8 тыс. руб., что в расчете на 1 га составил 296,6 тыс. руб.

Кроме того, следует подчеркнуть, что применение оптимального сочетания агротехнических мероприятий при производстве сельскохозяйственных культур в типовом севообороте при длительном орошении не только не снижает продуктивность культур, но и оказывает положительное влияние на почвенное плодородие, и, как следствие, – на повышение урожайности.

Таким образом, в структуре посевных площадей на длительно орошаемых землях наибольшую долю должны занимать кормовые культуры, производство которых наиболее рентабельно. При этом зерновые культуры должны присутствовать в севообороте в меньшем объеме как ценные предшественники для последующих культур, а также как стратегические, производство которых необходимо в рамках развития экспорта продукции АПК Минсельхоза России.

9.4 Экономическая эффективность почвозащитных мероприятий при ирригационной эрозии

Анализ негативных процессов от ирригационной эрозии на орошаемых агроландшафтах говорит о необходимости взаимодействия сельскохозяйст-

венного производства и природной среды, основанной 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 за счет снижения или полного прекращения эрозии почвы. Оценку плодородия почвы производили по комплексному показателю оценки эффективности мелиоративного мероприятия – по прибавке урожая и дополнительным затратам на проведение этого мероприятия (таблица 104).

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 имеет глубокое рыхление почвы на 0,4–0,5 м плугами чизельными (типа ПЧ-2,5) один раз в 3–5 лет.

Рыхлая почва увеличивает показатель впитывания почвы, а высокий коэффициент фильтрации позволяет избегать поверхностного стока орошаемой воды.

Глубокое рыхление в сочетании с орошением позволяет получать прибавку урожая кукурузы на зерно от 0,4 т/га, а при сроках последствия глубокой обработки почвы четыре года, прибавка составляет 1,6 т/га стоимостью 22400 руб./га. Эффективность мероприятия составляет 19800 руб./га, а годовой эффект от мероприятия 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 возникающий сток с уплотненной пашни и тем самым предотвратить ирригационный сток.

Таблица 104 – 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 мероприятие, руб./га	Продолжительность действия мероприятия, лет	Прибавка урожая от мероприятия, в т. ч. от снижения ирригационной эрозии, т/га		Стоимость дополнительной продукции, руб./га		Эффективность мероприятия за весь период, руб./га	Годовой экономический 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 водопроницаемости (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 севообороте (ширина полос 40–60 м) на: - уплотненной пашне (озимая пшеница); - рыхлой пашне (кукуруза на зерно)	950	6 лет	0,1	0,6	1500	9000	8050	1342
	800	6 лет	0,1	0,6	1400	8400	7600	1267
Создание мелиоративных защитных лесных насаждений с противоэрозионным валом по границе участка в нижней 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

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 не смывается почва и сохраняется плодородие почвы.

Более длительный период воздействия, до 25 лет и более, имеет такое мероприятие как 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 канал смытой почвой от ирригационной эрозии. Годовой эффект от этого мероприятия составляет 4900 руб./га.

10 Программа для ЭВМ «Определение агро-мелиоративных мероприятий по показателям свойств почв»

Как было описано выше, почвы в результате освоения претерпевают существенные изменения, иногда не в лучшую сторону, особенно при орошении. Возникают негативные почвенные процессы, такие как потеря структуры, уплотнение, вторичное засоление, ощелачивание, осолонцевание, подкисление, дегумификация, нарушение баланса питательных элементов. Каждому типу почв свойственны проявления этих процессов при нарушении технологий их использования. Но почвы юга России более подвержены возникновению щелочности и солонцеватости, а северные – подкислению. Остальные процессы проявляются практически на всех типах и видах почв.

Каждый негативный процесс характеризуется определенными показателями свойств почв. Для контроля за почвенным плодородием и мелиоративным состоянием требуется от 6–8 до 20 показателей. Но, в первую очередь, объектами контроля должны быть те показатели, которые являются приоритетными для данной местности, а также те, по которым в данной местности наблюдается или предполагается неблагополучие. Это

позволит обосновать комплекс мероприятий по регулированию плодородия почв.

В представленной программе для ЭВМ (рисунок 1) по определению проведения агроуправляющих мероприятий по показателям свойств почв использованы основные показатели по:

- водной вытяжке определяется вторичное засоление (тип и степень засоления), а также наличие щелочности, позволяющие установить необходимость проведения промывки от солей и химической мелиорации гипсованием и кислованием для устранения щелочности,
- составу почвенного поглощающего комплекса – степень натриевой и магниевой солонцеватости для определения вида химической мелиорации,
- гидролитической кислотности – степень кислотности для проведения известкования,
- наличию карбонатов кальция и гипса, что укажет на необходимость проведения мелиоративных обработок (самомелиорация),
- плотности сложения почв дифференцируются способы обработки почв,
- содержанию гумуса устанавливается необходимость обогащения почв органическим веществом.



Программа ЭВМ предназначена для проектных, эксплуатационных и сельскохозяйственных организаций, а также непосредственно землепользователям различных форм собственности для обоснования необходимости проведения комплекса агроуправляющих мероприятий с целью восстановления, сохранения и воспроизводства почвенного плодородия.

Рисунок 1 – Программа для ЭВМ по определению агромелиоративных мероприятий (скриншот)

Программа позволяет автоматизировать обработку данных анализов водной вытяжки, почвенного поглощающего комплекса и т. д. и по показателям свойств почв определить необходимость проведения комплекса агромелиоративных мероприятий, способствующего восстановлению, сохранению и воспроизводству плодородия почв. Исходный текст программы представлен в приложении Ш.

Программа для ЭВМ предназначена для проектных, эксплуатационных и сельскохозяйственных организаций, а также непосредственно землепользователей различных форм собственности для обоснования необходимости проведения комплекса агромелиоративных мероприятий с целью восстановления, сохранения и воспроизводства почвенного плодородия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной задачей на современном этапе орошаемого земледелия является сохранение имеющегося агромелиоративного потенциала почв с учетом стабильной эффективности длительно поливаемых земель за счет проведения комплекса агромелиоративных мероприятий, которые станут основой рационального использования поливных участков, направленных на сохранение и расширенное воспроизводство почвенного плодородия.

Заключительный отчет по теме «Исследования и оценка уровня изменения плодородия почв при длительном орошении с использованием ресурсосберегающих технологий и разработка мероприятий по повышению почвенного плодородия» выполнен согласно государственному контракту от 11 ноября 2019 г. № 211/20-ГК, техническому заданию и календарному плану на 2021 г.

В результате выполнения НИР представлены «Рекомендации по проведению комплекса агромелиоративных приемов, обеспечивающих повышение почвенного плодородия, повышение продуктивности сельскохозяйственных культур и экономное расходование материальных ресурсов на орошаемых землях».

Первые четыре раздела включают назначение работы, область применения, нормативно-методическую базу, термины и определения.

В пятом разделе отчета содержится методика оценки уровня агроресурсного потенциала почв при длительном орошении, в которой показаны основные факторы воздействия сельскохозяйственного производства на плодородие орошаемых земель; методика проведения оценки изменений состояния длительно орошаемых земель, включающая основные показатели оценки плодородия почв и изменения их свойств при проявлении деградационных процессов, критерии экологической устойчивости орошаемых земель и др. В разделе также представлена методика составления шкал оценки агропроизводительной способности почв на основе почвенно-экологических индексов

и бонитировки почв, урожайности возделываемых культур.

При проведении комплекса мероприятий для повышения почвенного плодородия необходимо соблюдение требований и ограничений, которые содержатся в шестом разделе рекомендаций и включают требования к выбору технологий орошения, к химической мелиорации, к агротехническим и агрохимическим мероприятиям.

В одном из основных разделов представлен комплекс агромелиоративных мероприятий по восстановлению почвенного плодородия длительно орошаемых земель (раздел 7), в котором рассмотрены все необходимые мероприятия для восстановления почвенного плодородия, такие как оптимизация уровня грунтовых вод, почвенные мелиорации (мелиоративные вспашки, химическая и комплексная мелиорации, фитомелиорация). Уделено внимание и почвозащитным мероприятиям для борьбы с ирригационной эрозией.

В разделе 8 содержится комплекс агротехнических мероприятий по восстановлению почвенного плодородия длительно орошаемых земель, в который входят севообороты, система обработки почв, режимы орошения сельскохозяйственных культур и системы удобрений. Все агротехнические мероприятия рассматриваются в системе севооборотов на фоне экономного, оптимального и интенсивного режимов орошения с их энергетической оценкой. Кроме этого дается оценка способов и техники полива с позиций ее воздействия на почвенное плодородие.

В разделе 9 обоснована экономическая и экологическая целесообразности проведения химической и комплексной мелиораций, а также доказана эффективность почвозащитных мероприятий для устранения ирригационной эрозии с учетом капитальных вложений. Доказан экологический и экономический эффект снижения оросительных норм на 20 % без ущерба урожайности возделываемых культур с сохранением почвенного плодородия. Предлагаемые агротехнические мероприятия в данном разделе имеют экономическое обоснование.

Разработана программа для ЭВМ (раздел 10), которая позволяет авто-

матизировать обработку данных анализов почв и по показателям свойств определить необходимость проведения комплекса агромелиоративных мероприятий, обеспечивающих почвенное плодородие.

Предлагается установить сроки действия мелиоративных мероприятий мелиорированных земель, а именно:

- гидромелиоративные – до момента вывода из эксплуатации и списания всех элементов и/или частей гидромелиоративной сети,
- агролесомелиоративные – в пустынной зоне до 25 лет; в остальных зонах не менее 30 и до 100 лет при условии соблюдения правил эксплуатации мелиоративных лесных защитных насаждений,
- культуртехнические – до 25 лет,
- известкование – до 3-х лет на торфяных почвах, до 5 лет на песчаных и до 7 лет на суглинках,
- гипсование – до 20 лет на неорошаемых землях и до 12 лет на орошаемых,
- кислование – до 5 лет,
- фитомелиоративные – до 20 лет при условии соблюдения правил эксплуатации растительных сообществ.

Представленный документ предназначен для нормативно-методического обеспечения МСХ РФ, учреждений и предприятий всех форм собственности, занимающихся организацией и ведением орошаемого земледелия, а также проектированием, строительством и реконструкцией оросительных систем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 27593-88. Почвы. Термины и определения. Введ. 1988-07-01. М.: Изд-во стандартов, 2006. 11 с.
2. Сборник отраслевых стандартов ОСТ 10 294-2002 – ОСТ 10 297-2002. Показатели состояния плодородия почв по основным природно-сельскохозяйственным зонам Российской Федерации. М.: ФГНУ Росинформагротех, 2002. 159 с.
3. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ от 03.06.2006 (с изменениями и дополнениями от 02.07.2021) [Электронный ресурс]. Доступ из справ. правовой системы «Гарант».
4. ГОСТ 26967-86. Гидромелиорация. Термины и определения. Введ. 1987-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1987. 11 с.
5. ГОСТ 19185-73. Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения. Введ. 1973-31-10 [Электронный ресурс]. Доступ из справ. правовой системы «Гарант».
6. О мелиорации земель №4-ФЗ от 10.01.1996 (с изменениями и дополнениями от 08.12.2020) [Электронный ресурс]. Доступ из справ. правовой системы «Гарант».
7. ГОСТ 16265-89. Земледелие. Термины и определения. Введ. 1991-01-01 [Электронный ресурс]. Доступ из справ. правовой системы «Гарант».
8. Пронько В. В. Повышение эффективности удобрений в засушливом Поволжье: автореф. дис... д-ра с.-х. наук: 06.01.04. Саратов, 2002. 45 с.
9. Система применения удобрений на орошаемых землях Поволжья и Северного Кавказа: рекомендации. М.: Росагропромиздат, 1990. 64 с.
10. Пронько Н. А., Романова Л. Г., Фалькович А. С. Изменение плодородия орошаемых каштановых почв Поволжья в процессе длительного использования и научные основы его регулирования, Саратов, 2005. 219 с.
11. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ (с изменениями и дополнениями на 01 сентября 2021 г.) [Электронный ре-

курс]. Доступ из справ. правовой системы «Гарант».

12. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 6-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 2010. 352 с.

13. Методические указания по проведению мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М.: Росинформагротех, 2003. 240 с.

14. Добровольский Г. В., Орлов Д. С., Гришина Л. А. Принципы и задачи почвенного мониторинга // Почвоведение. 1983. № 11. С. 12–18.

15. Айдаров И. П. Регулирование водно-солевого режима орошаемых земель. М.: Агропромиздат, 1985. 304 с.

16. Методические рекомендации по организации и проведению мониторинга орошаемых ландшафтов. Волгоград: ВНИИОЗ, 1993. 43 с.

17. Руководство по контролю и регулированию почвенного плодородия орошаемых земель / под ред. В. Н. Щедрина. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2017. 137 с.

18. Никитин Е. Д. Экология почв и учение о почвенных экофункциях // Почвоведение. 2005. № 9. С. 1044–1053.

19. Методы исследования и приборное обеспечение почвенно-экологического мониторинга на мелиорируемых землях: науч.-технич. обзор. М.: Мелиоводинформ, 2005. 136 с.

20. Ефремов Е. Н. Совершенствование мониторинга почв земель сельскохозяйственного назначения и учет состояния их плодородия // Плодородие. 2011. № 3. С. 42–44.

21. Нормативы основных показателей плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения Ростовской области. Ростов н/Д., 2012. 63 с.

22. Седых В. А., Балабко П. Н., Савич В. И. Почвенно-экологический мониторинг. М., 2013. 584 с.

23. Романова Л. Г. Основные показатели оперативной диагностики изменения орошаемых почв Поволжья // Актуальные вопросы образования и

науки: сб. науч. тр. по материалам международ. научно-практ. конф. Тамбов: Консалд. компания Юником, 2014. С. 120–122.

24. Муравьев А. Г., Каррыев Б. Б., Ляндзберг А. Р. Оценка экологического состояния почвы: практическое руководство. СПб.: Ассоциация «Крисмос + », 2000. 132 с.

25. Справочник по оценке почв / В. Ф Вальков [и др.]. Майкоп: ГУР и ПП «Адыгея», 2004. 236 с.

26. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.

27. Минашина Н. Г. Заботиться о плодородии почв при орошении // Мелиорация и водное хозяйство. 1988. № 2. С. 36–38.

28. Зборищук Н. Г., Дронова Т. Я., Попова Т. В. Образование и свойства ирригационных корок на черноземах // Почвоведение. 1987. № 12. С. 245–248.

29. Методические рекомендации по мелиорации солонцов и учету засоленных почв. М.: Колос, 1970. 112 с.

30. Скуратов Н. С., Докучаева Л. М., Шалашова О. Ю. Использование и охрана орошаемых черноземов. М., 2001. 246 с.

31. Ратнер Е. И. Минеральное питание растений и поглощательная способность почв. М.: Изд-во АН СССР, 1950. 320 с.

32. 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.

33. Бобков В. П. Содовое засоление почв как стадия естественного или искусственного рассоления территории // Почвоведение. 1976. № 6. С. 25–30.

34. Зимовец Б. А. Изменение щелочности почв при орошении в Нижнем Заволжье. М.: Бюл. ин-та им. В. В. Докучаева. Вып. IX. 1975. С. 28–56.

35. Егоров В. В., Иванов Е. Н., Розов Н. Н. Классификация и

диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 221 с.

36. Бобков В. П. Об устойчивости почв и грунтов к содовому засолению // Почвоведение. 1969. № 8. С. 65–73.

37. Учет гидрометеорологической информации при определении режимов орошения для районов Северного Кавказа. СПб., 1992. 85 с.

38. Рекомендации по мелиорации почв солонцовых комплексов Ростовской области в условиях орошения. Новочеркасск, 1980. 36 с.

39. Бобков В. П. Определение недоокисленных веществ в почве методом окисления перманганатом калия и йодом // Почвоведение. 1975. № 7. С. 134–141.

40. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий: метод. руководство / под ред. В. И. Кирюшина, А. Л. Иванова. М.: Русинформагротех, 2005. 784 с.

41. Рекомендации для исследования баланса и трансформации органического вещества при сельскохозяйственном использовании и интенсивном окультуривании почв. М., 1984. 85 с.

42. Орлов Д. С., Гришина Л. А. Практикум по химии гумуса. М.: МГУ, 1981. 270 с.

43. Скуратов Н. С., Каменев Р. А. Лабораторные исследования почв: учеб. пособие. Пос. Персиановский: Изд-во Донского ГАУ, 2011. 107 с.

44. Охрана окружающей природной среды. Всероссийский научно-исследовательский институт охраны природы. М., 2001. 173 с.

45. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: справочник / под ред. Б. Б. Шумакова. М: Колос, 1999. 285 с.

46. Агроэкология: учебник / под ред. А. И. Чекереса, В. А. Верникова. М.: Колос, 2000. 295 с.

47. Кудряшова С. Я. Контролируемые показатели почвенно-экологического мониторинга: учеб. пособие. Новосибирск: Новосибирский ГТУ, 2003. 93 с.

48. Методические рекомендации по обследованию и картографирова-

нию почвенного покрова по уровням загрязненности промышленными выбросами. М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 1987. 26 с.

49. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М., 1989. 62 с.

50. Звягинцев Д. Г. Почвы и микроорганизмы. М.: Изд-во МГУ, 1987. 255 с.

51. Казеев, К. Ш., Колесников С. И., Вальков В. Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 2003. 204 с.

52. Практикум по биологии почв / Г. М. Зенова [и др.]. М.: Изд-во Московского ун-та, 2009. 120 с.

53. Янюк В. М., А. Н. Галибин, В. В. Майорова Оценка гумусного состояния и воспроизводство плодородия орошаемых почв // Проблемы землеустройства и мелиорации земель в Саратовской области: сб. науч. тр.; под ред. Б. И. Туктарова; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». Саратов, 2002. С. 201–212.

54. 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. почвенного института им. В. В. Докучаева. М., 1980. С. 202–210.

55. Самойлова Е. М. Предельно допустимые параметры черноземов Алтайского края при орошении // Вестник сельскохозяйственных наук. 1989. № 4. С. 14–19.

56. Щеглов Д. И., Горбунова Н. С. Эрозия и охрана почв: учебно-методическое пособие для вузов. Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского госуниверситета, 2011. 34 с.

57. Методические указания по определению опасного уровня водной и ветровой эрозии / Г. Т. Балакай [и др.]. Новочеркасск, 2015. 23 с.

58. Полуэктов Е. В. Эрозия и дефляция агроландшафтов Северного Кавказа: монография. Новочеркасск: НГМА, 2003. 298 с.

59. 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.

60. Герасименко В. П. Оценка рационального регулирования стока на пашне для обоснования оптимальных противоэрозионных мероприятий // Науч.-техн. бюллетень по проблеме «Защита почв от эрозии». Курск, 1979. Вып. 2. 45 с.

61. Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель [Электронный ресурс]. URL: <https://docplan.ru/Data1/10/10803/index.htm> (дата обращения: 25.08.2021).

62. Шадских В. А., Романова Л. Г., Кижаяева В. Е., Лапшова А. Г. Критерии оценки компонентов агроландшафта, обеспечивающих экологическую устойчивость орошаемой территории // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. № 1(57). С. 180–185.

63. Рекомендации по оценке экологической ситуации агроценозов орошаемых земель и прилегающих к ним территорий / А. Ю. Калинин, В. А. Шадских, Л. Г. Романова, В. Е. Кижаяева, В. О. Пешкова / ФГБНУ ВолжНИИГиМ. Энгельс, 2016. 36 с.

64. Критерии оценки экологической обстановки территории для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. М., 1992. 32 с.

65. Инженерно-экологические изыскания для строительства: СП 11-102-97. Введ. 1997-08-15 [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/-dokuvent/871001220> (дата обращения: 15.07.2021).

66. Приемы повышения биопродуктивности земель, сохранения почвенного плодородия и экологической устойчивости агроландшафтов: науч. обзор / Г. Т. Балакай [и др.] / ФГНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск, 2011. 71 с.

67. Исаева С. Д. Проблемы обеспечения экологической устойчивости

ландшафтов при орошении // Мелиорация и водное хозяйство. 2004. № 4. С. 21–23.

68. Смирнов Р. Н. Оценка влияния орошаемого земледелия на плодородие почв донских оросительных систем // Методологические усовершенствования технологии изыскания и оценки территории для мелиоративного освоения: сб. науч. тр. / Южгидроводхоз. Ростов н/Д., 1987. С. 97–103.

69. 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.

70. Лапченков Г. Я., Романов Б. В. Влияние интенсивного использования северо-приазовского чернозема при орошении водами местного стока на основные элементы плодородия почвы // Научные основы рационального использования почв Северного Кавказа и пути повышения их плодородия / Кабардино-Балк. гос. университет. Нальчик, 1971. С. 27–31.

71. Шашко Д. И. Агроклиматическое районирование СССР. М.: Колос, 1967. 372 с.

72. Казинцев Е. А., Чусова Ж. И., Куксов А. И. Определение критериев оценки мелиоративного состояния орошаемых земель Ставропольского края. Новочеркасск: ЮжНИИГиМ, 1985. 35 с.

73. Кац Д. М., Парфенова Н. И. Методические рекомендации по контролю за мелиоративным состоянием орошаемых земель. Ч. I. М.: ВНИИГиМ, 1979. 120 с.

74. Безднина, С. Я. Регламентирование и улучшение качества оросительной воды // Повышение качества оросительной воды: сб. науч. тр. М.: Агропромиздат, 1990. С. 20–21.

75. Безднина С. Я. Рекомендации по оценке качества воды для орошения сельскохозяйственных культур. М.: ВНИИГиМ, 1983. 120 с.

76. 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.

77. Методика оценки качества вод для орошения сельскохозяйственных культур на черноземах в Центрально-Черноземных областях: временные рекомендации. Новочеркасск, 1988. 26 с.

78. Ильинская И. Н. Нормирование водопотребности для орошения сельскохозяйственных культур на Северном Кавказе: монография. Новочеркасск: ЮРГТУ, 2001. 164 с.

79. Безднина С. Я. Качество воды для орошения: принципы и методы оценки. М.: Изд-во РОМА, 1997. 185 с.

80. Нормы водопотребности и экологически безопасные режимы орошения сельскохозяйственных культур / под ред А. В. Колганова, В. Н. Щедрина. М., 2000. 152 с.

81. Рекомендации по определению предельно-допустимой минерализации поливной воды для условий черноземных почв Ростовской области при орошении дождеванием / ЮжНИИГиМ. Новочеркасск, 1984. 21 с.

82. 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.

83. Тяжелые металлы в системе почва – растение – удобрение / М. М. Овчаренко [и др.]. М., 1997. 290 с.

84. Деградация и охрана почв / под общей ред. акад. РАН Г. В. Добровольского. М.: Изд-во МГУ, 2002. 658 с.

85. Предельно допустимые концентрации химических веществ в почве. Гигиенические нормативы: ГН 2.1.7.2041-06: утв. руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г. Г. Онищенко 19.01.06: введ. в действие с 01.04.06. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.

86. Карманов И. И., Фриев Т. А. Бонитировка почв на основе почвенно-экологических показателей // Земледелие. 1982. № 5. С. 18–22.

87. 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.

88. Соболев С. С. Бонитировка почв на территории СССР. М.: МЛТИ, 1974. 221 с.

89. Гаврилюк Ф. Я. Бонитировка почв. М: Высшая школа, 1974. 229 с.

90. Кузьмичев В. П. Некоторые результаты второго цикла бонитировки почв Украинской ССР // Агрохимия и почвоведение. Киев: Урожай, 1978. Вып. 35. С. 24–32.

91. Смеян Н. И. Пригодность почв БССР по основным сельскохозяйственным культурам. Минск: Ураджай, 1980. 76 с.

92. Чешев А. С. Земельные ресурсы Северного Кавказа: Земельный фонд и его использование. Ростов н/Д., 1986. 286 с.

93. Бонитировка почв в системе земельного кадастра: уч. пособие для вузов / Л. Б. Востокова [и др.]; под общ. ред. С. А. Шобы, А. С. Яковлева. М.: МАКС Пресс, 2010. 300 с.

94. Оценка почв / В. И. Савич [и др.]. Астана, 2003. 556 с.

95. Карманов И. И. Плодородие почв СССР. М.: Колос, 1980. 224 с.

96. Лунева Р. И., Рябинина Л. Н. Бонитировка почв Молдавии для полевых культур. Кишинев: Штиинца, 1976. 85 с.

97. Скуратов Н. С., Докучаева Л. М. Агроэкологические приемы сохранения и восстановления плодородия орошаемых черноземов // Экологические проблемы орошаемых земель Нижнего Дона / ФГНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск, 1995. С. 15–21.

98. Система мелиоративных мероприятий по регулированию почвенных процессов, способствующих повышению плодородия различных типов почв и улучшению экологического состояния орошаемых земель. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2019. 77 с.

99. Снипич Ю. Ф. Выбор и оценка технологий орошения // Природо-обустройство. 2011. № 1. С. 1–6.
100. Кац Д. М. Контроль режима грунтовых вод на орошаемых землях. М.: Колос, 1967. 182 с.
101. Мелиорация солонцовых почв в условиях орошения / Н. С. Скуратов [и др.]. Новочеркасск, 2005. 179 с.
102. Осипов А. И. Научная основа химической мелиорации почв и перспективы их дальнейшего изучения // Агрофизика. 2012. № 3(7). С. 41–50.
103. Рекомендации по использованию фосфогипса для мелиорации солонцов. М.: Почв. ин-т им. В. В. РАСХН, 2006. 46 с.
104. Научно-практические рекомендации по известкованию почв в Курской области // О. Г. Чуян [и др.]. Курск: ФГБНУ «Курский ФАНЦ», Комитет АПК Курской области, 2019. 30 с.
105. Кирейчева Л. В., Решеткина Н. М. Концепция создания устойчивых мелиоративных агроландшафтов. М., 1997. 54 с.
106. Научно-обоснованные принципы обеспечения экологической устойчивости мелиорированных агроландшафтов: рекомендации: отчет о НИР; рук. Морковин В. Т. Энгельс, 2002. 24 с.
107. Беляк В. Б. Биологизация сельскохозяйственного производства (теория и практика). Пенза, 2008. 320 с.
108. Пешкова В. О., Романова Л. Г. Особенности фитомелиорации в системе севооборотов на орошаемых землях сухостепной зоны Поволжья // Экономико-математические методы анализа деятельности предприятий АПК: сб. тр. III Междунар. науч.-практич. конф. / Саратовский госу. аграр. ун-т им. Н. И. Вавилова. Саратов, 2019. С. 274–278.
109. Романова, Л. Г., Пешкова В. О. Совершенствование структуры посевных площадей – как фактор повышения эколого-экономической эффективности орошаемых земель Поволжья // Экономико-математические методы анализа деятельности предприятий АПК: сб. статей междунар. научно-практич. конф.; под ред. С. И. Ткачева. Саратов: Амирит, 2016. С. 187–192.

110. Рекомендации по использованию комплекса агромелиоративных приемов, обеспечивающих стабилизацию почвенного плодородия, повышение продуктивности сельскохозяйственных культур и экономное расходование материальных ресурсов на орошаемых землях Поволжья / В. А. Шадских [и др.]. Энгельс, 2020. 54 с.

111. Попеко В. М. Биомелиоративное действие и режим орошения многолетних трав при близком залегании грунтовых вод в Заволжье: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02. Саратов, 2011. 23 с.

112. Шадских В. А., Кижаяева В. Е., Рассказова О. Л. Энергосберегающая технология обработки почвы как фактор обеспечения воспроизводства плодородия орошаемых земель Саратовской области // Журнал Вестник Научно-методического совета по природообустройству и водопользованию. ФГБУ ВО Российский государственный аграрный университет МСХА им. К.А. Тимирязева. 2018. Вып. № 12 (12). С. 189–194.

113. Парфенова Н. И., Решеткина Н. М., Исаева С. Д. Экологическое обоснование комплексных мелиораций и систем земледелия // Проблемы научного обеспечения и экономической эффективности орошаемого земледелия в рыночных условиях: науч.-практ. конф. Волгоград, 2001. С. 15–17.

114. Решеткина Н. М. Пути устранения негативных экологических последствий развития орошаемого земледелия // Экологические основы орошаемого земледелия: материалы Всерос. совещ. М., ВНИИГиМ, 1995. С. 163–166.

115. Парфенова Н. И., Решеткина Н. М. Экологические принципы регулирования гидрогеохимического режима орошаемых земель. СПб.: Гидрометеоиздат, 1995. 15 с.

116. Айдаров И. П., Голованов А. И., Никольский Ю. Н. Оптимизация мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель. М.: Агропромиздат, 1990. 60 с.

117. Оценка экологического состояния Прикаспийского региона при мелиоративном воздействии / Н. И. Парфенова [и др.]. М.: Рома, 1997. 179 с.

118. Кац Д. М. Влияние орошения на грунтовые воды. М.: Колос, 1976. 271 с.
119. Морковин В. Т., Иванов В. В. Рациональный экологически безопасный дифференцированный режим орошения сельскохозяйственных культур в Поволжье. Энгельс, 2000. 36 с.
120. Морковин В. Т., Иванов В. В., Корсак В. В. Расчет экологически безопасных норм водопотребности и режимов орошения сельскохозяйственных культур // Техническое совершенствование и эксплуатация оросительных систем в засушливой зоне Российской Федерации: сб. науч. тр. М., 2000. 140–147.
121. 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.
122. Щедрин В. Н., Докучаева Л. М., Юркова Р. Е. Негативные почвенные процессы при регулярном орошении различных типов почв // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2018. № 2(30). С. 1–21. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_34965673_654-55911.pdf.
123. Рекомендации по повышению эффективности использования орошаемых земель / А. П. Черняев [и др.]. Саратов, 2002. 84 с.
124. Романова Л. Г., Кижаяева В. Е. Роль севооборотов в оптимизации эколого-мелиоративного состояния орошаемых земель // Экономико-математические методы анализа деятельности предприятий АПК: сб. статей 3-й Междунар. науч.-практич. конф. Саратов: СГАУ, 2019. С. 302–309.
125. Руководство по применению экологически безопасных норм минеральных и органических удобрений. М., 1995. 32 с.
126. Современные системы орошаемого земледелия и пути их реформирования / А. Н. Шувалов, Г. Н. Фомин, Н. А. Колчина; под ред. А. А. Викснэ. Саратов: Орион, 1994. 253 с.
127. Научные основы и рекомендации по применению удобрений в По-

волжье. Саратов: Приволжское кн. изд-во, 1976. 34 с.

128. Филин В. И. Агрохимические проблемы и принципы управления плодородием почв // Почвенно-экологические проблемы в степном земледелии. Пушино, 1992. С. 71–86.

129. Единые методические указания по оценке эффективности систем защиты сельскохозяйственных культур от болезней, вредителей и сорняков / под ред. Ю.Ф. Фадеева. М.: ВАСХНИЛ, 1987. 54 с.

130. Система защиты растений [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agrobase.ru/rastenievodstvo/zashhita-rastenij/sistema-zashhityi-rastenij> (дата обращения: 15.06.2021).

131. Грунтовые воды и их влияние на водообеспеченность орошаемых земель / Е. Д. Жапаркулова [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство. Проблемы и пути решения: материалы междунар. науч.-практ. конф., 2016 г. / Всеросс. науч.-исслед. ин-т агрохимии им. Д. Н. Прянишникова. М., 2016. С. 222–225.

132. Докучаева Л. М., Юркова Р. Е. Грунтовая вода – критерий экологического состояния почв // Экология и водное хозяйство [Электронный ресурс]. 2019. № 1(01). С. 18–29. URL: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=10> (дата обращения: 21.08.2021).

133. Щедрин В. Н., Васильев С. М. Теория и практика альтернативных видов орошения черноземов юга Европейской территории России. Новочеркасск: Лик, 2011. 435 с.

134. Докучаева Л. М., Юркова Р. Е. Оценка почвообразовательных процессов длительно орошаемых пресной водой черноземов обыкновенных // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2017. № 1(25). С. 66–80. URL: www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/-udb-13-rec463-field6.pdf (дата обращения: 16.08.2021).

135. Щедрин В. Н. Орошение сегодня: проблемы и перспективы. М.: ЦНТИ Мелиофодинформ, 2004. 225 с.

136. Методические указания по проведению комплексного агрохимиче-

ского обследования почв сельскохозяйственных угодий / М. А. Флоринский [и др.]. М.: Центр научн.-техн. информ., пропаганды и рекламы, 1994. 96 с.

137. Тарасенко П. В. Система влагосберегающих почвозащитных мелиораций в Среднем Поволжье и Центральном Черноземье: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.02. Саратов. 2014. 42 с.

138. Косиченко Ю. М., Баев О. А., Ищенко А. В. Современные методы борьбы с фильтрацией на оросительных системах // Инженерный вестник Дона [Электронный ресурс]. 2014. № 3. URL: <https://ru.booksc.xyz/ireader/-50814998> (дата обращения: 12.08.2021).

139. Высоконадежные конструкции противofiltrационных облицовок каналов и водоемов с применением инновационных материалов / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, А. В. Ищенко, О. А. Баев; ФГБНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск, 2013. 24 с. Деп. в ВИНТИ 13.01.14, № 7-B2014.

140. 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: 07.08.2021).

141. Поколения оросительных систем: прошлое, настоящее, будущее: монография / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, Г. Т. Балакай [и др.]; под общ. ред. В. Н. Щедрина. Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2012. 164 с.

142. Техническая эксплуатация дренажа на мелиоративных системах: науч. обзор / В. Н. Щедрин, А. С. Капустян, В. Д. Гостищев [и др.]; ФГБНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск, 2012. 60 с. Деп. в ВИНТИ 07.06.2012, № 265-B2012.

143. Улучшенная технология по сохранению и воспроизводству почвенного плодородия орошаемых черноземов. Новочеркасск, 1989. 96 с.

144. Шаров А. Г., Мурадов Р. А., Бароев Ф. А. Биодренажные системы – эффективное средство улучшения эколого-мелиоративного состояния орошаемых земель в аридной зоне // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2015. № 4(60). С. 122–129.

145. Бобченко В. И. Усовершенствование технологии орошения черно-

земов // Вестник сельскохозяйственной науки. 1987. № 8. С. 116–121.

146. Пат. 2320815 Российская Федерация, МПК E02B 11/00. Способ фитомелиоративного биодренирования поливных земель / Коробов В. И.; заявитель и патентообладатель Волгоградская гос. с.-х. акад. № 2005129942, заявл. 26.09.05; опубл. 27.03.08, Бюл. № 29. 9 с.

147. Панов Н. П., Мамонтов В. Г. Почвенные процессы в орошаемых черноземах и каштановых почвах и пути предотвращения их деградации. М.: Россельхозакадемия, 2001. 253 с.

148. Андреев Г. И., Козлечков Г. А., Андреев А. Г. Экологическое состояние орошаемых почв на Нижнем Дону: монография. Днепропетровск, 2007. 262 с.

149. Деградация и охрана почв / под общ. ред. акад. РАН Г. В. Добровольского. М.: Изд-во МГУ, 2002. 634 с.

150. Зайдельман Ф. Р. Защита почв от деградации // Вестник Российской Академии наук. 2008. № 8. С. 693–703.

151. Комиссаров А. В. Влияние длительного орошения на свойства чернозема выщелоченного в Южном Предуралье // Земледелие. 2015. № 2. С. 5–9.

152. Сенчуков Г. А. Ландшафтно-экологические и организационно-хозяйственные аспекты обоснования водных мелиораций. Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2001. 276 с.

153. Парфенова Н. И. Энергетические основы формирования плодородия почв // Вопросы мелиорации. 2002. № 2. С. 64–70.

154. Кирейчева Л. В., Карпенко Н. П. Оценка эффективности оросительных мелиораций в зональном ряду почв // Почвоведение. 2015. № 5. С. 587–596.

155. Манукьян Д. А., Карпенко Н. П. Оценка экологической безопасности функционирования гидромелиоративных систем с использованием термодинамических показателей // Природообустройство. 2008. № 2. С. 45–50.

156. Щедрин В. Н., Докучаева Л. М., Юркова Р. Е. К обоснованию эко-

логических норм водопотребности различных типов почв для оптимизации мелиоративного состояния и почвенного плодородия // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2018. № 1(29). С. 105–121. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=526&id=533> (дата обращения: 03.09.2021).

157. Васильев С. М., Домашенко Ю. Е. Ретроспективный анализ изменения почвенно-мелиоративных условий орошаемых почв юга Ростовской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2016. № 3(43). С. 17–24.

158. Полуэктов Е. В., Турулев В. В. Водопроницаемость и эрозия почв: уч. пособие. Новочеркасск, 1994. 126 с.

159. Казаков Г. И. Агрофизические показатели плодородия почв как научные основы ее обработки // Ресурсосберегающие системы обработки почвы: сб. науч. тр. Куйбышевского СХИ. М.: Агропромиздат, 1990. С. 32–38.

160. 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.

161. 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.

162. Скуратов Н. С., Иванова Н. А., Лунев С. П. Экологические предпосылки мелиоративных обработок орошаемых земель // Экологические аспекты мелиоративного строительства: сб. науч. тр. / Южгипроводхоз. Ростов-н/Д., 1990. С. 44–52.

163. Решетов Г. Г. Эффективные способы мелиорации засоленных почв в Саратовском Заволжье // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2003. № 6. С. 33–38.

164. 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.] [Электронный ресурс]. Экоис-
темы: экология и динамика. 2019. Т. 3 № 2. С. 44–48.
URL: [https://cyberleninka.ru/article/n/-sovremennnye-trendy-razvitiya-pochv-solon-
tsovyh-kompleksov-na-yuge-stepnoi-i-v-polupustynnoi-zonah-v-prirodnyh-us-lo-
viyah-i-pri/viewer](https://cyberleninka.ru/article/n/-sovremennnye-trendy-razvitiya-pochv-solon-
tsovyh-kompleksov-na-yuge-stepnoi-i-v-polupustynnoi-zonah-v-prirodnyh-us-lo-
viyah-i-pri/viewer) (дата обращения: 14.08.2021).

165. Рекомендации по мелиорации засолено-солонцовых почв Цен-
трально-Черноземного региона. Каменная Степь, 2019. 18 с.

166. Кормилицына О. В., Бондаренко В. В. Мелиорация кислых почв // Лесной вестник. 2007. № 7. С. 84–89.

167. Гурбанова З. Р., Ибрагимов С. К. Мелиорация включенных в сево-
оборот солонцовых почв Прикаспийской низменности сернокислотными от-
ходами [Электронный ресурс] // Экология и строительство. 2018. № 4.
С. 25–32. URL: [https://cyberleninka.ru/article/n/melioratsiya-vklyuchennyh-v-
sevooborot-solontsovyh-pochv-prikaspiys-koy-nizmennosti-sernokislotnymi-otho-
dami](https://cyberleninka.ru/article/n/melioratsiya-vklyuchennyh-v-
sevooborot-solontsovyh-pochv-prikaspiys-koy-nizmennosti-sernokislotnymi-otho-
dami) (дата обращения: 16.08.2021).

168. Скуратов Н. С., Наumenко З. С. Использование фосфогипса и гли-
ногипса для мелиорации лугово-степных орошаемых солонцов // Мелиора-
тивное состояние орошаемых земель и использование водных ресурсов: сб.
науч. тр. / ГУ «ЮжНИИГиМ». Новочеркасск, 1984. С. 3–8.

169. Докучаева Л. М., Скуратов Н. С., Кулинич Г. С. Негативные про-
цессы в орошаемых почвах и пути их устранения // Мелиорация и водное хо-
зяйство. 1993. № 5. С. 14–16.

170. Способы мелиорации орошаемых солонцовых почв: науч. обзор /
Г. Т. Балакай [и др.]. Новочеркасск. 2011. 52 с.

171. Методические указания по выбору комплекса мероприятий, со-
храняющих и восстанавливающих почвенное плодородие земель при цикли-
ческом орошении / В. Н. Щедрин, Г. Т. Балакай, С. М. Васильев [и др.]. Но-
вочеркасск, 2013 [Электронный ресурс]. URL: [http://www.rosniipm.ru/iz-
dan/2013/6.pdf](http://www.rosniipm.ru/iz-
dan/2013/6.pdf) (дата обращения: 16.08.2021).

172. Приемы, исключаяющие негативные процессы в почвах орошаемых агроландшафтов черноземной зоны юга России / Л. М. Докучаева [и др.] // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2011. № 1(01). URL: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec12-field6.pdf (дата обращения: 13.05.2021).

173. Шалашова О. Ю. Изменение щелочности и солонцеватости черноземов обыкновенных деградированных при мелиорации удобрительно-мелиорирующими смесями // Известия Оренбургского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. 2016. С. 9–12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-schyolochnosti-i-solontsevatosti-chnozyomov-obyknovennyh-degradirovannyh-pri-melioratsii-udobritelno-melioriruyuschimi/viewer> (дата обращения: 16.05.2021).

174. 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.

175. Выбор приемов воспроизводства плодородия солонцовых почв при орошении: рекомендации / ФГБНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск, 2010. 23 с.

176. Научно-практические рекомендации по применению фосфогипса нейтрализованного в качестве химического мелиоранта и серного удобрения. М.: ВНИИА, 2012. 56 с.

177. Докучаева Л. М., Юркова Р. Е., Шалашова О. Ю. Влияние удобрительно-мелиорирующих компостов на физико-химические свойства чернозема обыкновенного деградированного // Известие Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2011. № 4(24). С. 70–76.

178. Кальцийсодержащие отходы промышленности, краткая характеристика, годовой вывоз и запасы / Госагропром РСФСР, ВНИПТИХИМ. М., 1987. 30 с.

179. Любимова И. Н., Борисочкина Т. И. Влияние потенциально-опасных химических элементов, содержащихся в фосфогипсе на окружающую среду. М., 2007. 47 с.

180. Эколого-рекреационный рециклинг фосфогипса в черноземе на примере Краснодарского края / Н. И. Мищенко [и др.]. // Плодородие. 2009. № 6. С. 25–26.

181. Мушинский А. С., Быкова И. А. Мелиорирующие средства и органические удобрения на основе различных отходов // Вестник РАСХН. 2003. № 2. С. 19–23.

182. Калиниченко В. п. Эффективное использование фосфогипса в земледелии // Питание растений. 2017. № 1. С. 2–33.

183. Березин Л. В., Семенов А. М., Проценко И. А. Актуальные проблемы использования мелиорируемых земель в Западной Сибири // Мелиорация и водное хозяйство. 2008. С. 14–17.

184. Бекбаев Р. Мелиоративная эффективность фосфогипса на орошаемых землях бассейна рек Аса-Талас // Московский экономический журнал. 2016. № 3. С. 77–91.

185. Троценко И. А., Тарасова М. В. Влияние однократной и повторной мелиорации на мелиоративное состояние многонатриевого коркового солонца // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 8(118). С. 38–44.

186. Скуратов Н. С., Кулинич Г. С., Докучаева Л. М. Химическая мелиорация орошаемых почв и их охрана // Экологические аспекты мелиоративного строительства. Ростов н/Д.: Южгипроводхоз, 1990. С. 52–58.

187. 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.

188. Проблемы оптимизации плодородия почв Ростовской области / Н. С. Скуратов [и др.] // Экологические и экономические аспекты мелиорации. Таллин: АН ЭССР, 1988. Т. 3. С. 126–130.

189. Панов Н. П., Гончарова Н. А., Гайсин В. Ф. Влияние химических мелиорантов в комплексе с бесподстилочным навозом на физические и вод-

но-физические свойства солонцовых почв Заволжья // Современные процессы почвообразования и их регулирование в условиях интенсивной системы земледелия. М., 1985. С. 47–54.

190. Скуратов А. Н. Агромелиоративные приемы ликвидации неблагоприятных свойств южных черноземов // Мелиорация антропогенных ландшафтов: сб. науч. тр. / НГМА. Новочеркасск, 1999. Т. 7. С. 99–104.

191. Усанина Т. В., Шалашова О. Ю. Влияние мелиораций на комплексность почвенного покрова // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. 2005. № 13(05). С. 73–79. URL: <http://ej.kubagro.ru/2005/05/07/> (дата обращения: 16.05.2021).

192. Юркова Р. Е., Докучаева Л. М. Изменения физико-химических свойств почв с комплексным покровом при различных способах и дозах внесения фосфогипса // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2016. № 4(24). С. 100–117. URL: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=440&id=447> (дата обращения: 08.06.2021).

193. Радевич Е. В., Калиниченко В. П. Свойства темно-каштановых почв солонцового комплекса при химической мелиорации фосфогипсом // Плодородие. № 3. 2010. С. 29–30.

194. Федоткин В. А., Скипин Л. Н., Гузеева С. А. Последствие фосфогипса на химические свойства луговых солонцов // Плодородие. 2007. № 2. С. 15–16.

195. Шалашова О. Ю. Повышение плодородия черноземов обыкновенных деградированных при использовании удобрительно-мелиорирующих средств // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2012. № 3(07). С. 65–77. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_17956727_45930459.pdf (дата обращения: 08.06.2021).

196. 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. / ФГБНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск: Геликон, 2009. Вып. 41. С. 54–61.

197. Восстановление физических свойств чернозема обыкновенного деградированного удобрительно-мелиорирующими компостами / Г. Т. Балакай [и др.] // Плодородие. 2015. № 8. С. 33–35.

198. Докучаева Л. М., Юркова Р. Е., Шалашова О. Ю. Использование фосфогипса и фосфогипсодержащих мелиорантов для мелиорации солонцовых почв в условиях орошения // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2012. № 3(07). С. 52–64. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=113&id=116> (дата обращения: 16.08.2021).

199. Шалашова О. Ю., Бабичев А. Н. Сравнительный анализ применения удобрительно-мелиорирующих средств для мелиорации солонцеватых почв // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2018. № 2(30). С. 112–130. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=542&id=551> (дата обращения: 12.08.2021).

200. Шалашова О. Ю., А. Н. Бабичев К вопросу применения удобрительно-мелиорирующих смесей при химической мелиорации почв солонцовых комплексов // Научная жизнь. 2018. № 4. С. 105–116.

201. Докучаева Л. М., Долина Е. В. Физические свойства чернозема обыкновенного после химической мелиорации удобрительно-мелиорирующими компостами // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2011. № 2(02). С. 56–63. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=21&id=30> (дата обращения: 10.08.2021).

202. 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.

203. Панов Н. П., Цюрупа И. Г. Теоретические основы и опыт кислования солонцовых почв // Вестник сельскохозяйственной науки. 1980. № 5. С. 36–41.

204. Рекомендации по мелиорации почв солонцовых комплексов Ростовской области в условиях орошения; Мин-во мелиорации и водного

хоз-ва РСФСР. Новочеркасск: ЮжНИИГиМ, Южгипроводхоз, 1980. 36 с.

205. Скуратов Н. С. К проблеме повышения плодородия орошаемых земель // Мелиорация солонцовых и засоленных земель Северного Кавказа: сб. науч. тр. / ГУ «ЮжНИИГиМ». Новочеркасск, 1981. С. 3–6.

206. Нейтрализация загрязненных почв: монография / под общ. ред. Ю. А. Мажайского. Рязань: Мещерский ф-л ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2008. 528 с.

207. 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.

208. Попов А. А. Об ощелачивании и вторичном осолонцевании солонцовых почв Нижнего Дона и Правобережья Нижней Волги в условиях орошения и мерах борьбы с ними // Совершенствование инженерно-геологических, гидрогеологических и почвенно-мелиоративных изысканий и исследований: сб. науч. тр. Ростов н/Д., 1980. Вып. XIII. С. 22–25.

209. Рекомендации по улучшению мелиоративного состояния орошаемых земель Ростовской области / А. А. Попов, Н. С. Скуратов, Л. М. Докучаева / ЮжНИИГиМ. Новочеркасск, 1982. 50 с.

210. Скуратов Н. С., Кулинич Г. С., Докучаева Л. М. Особенности освоения почв солонцовых комплексов // Повышение эффективности использования водных ресурсов в сельском хозяйстве: тез. конф. Новочеркасск, 1990. Ч. III. С. 16–24.

211. Шалашова О. Ю., Митюшкина Т. В. Эффективность приемов повышения плодородия мелиоративно-неблагополучных земель в условиях орошения // Мелиорация антропогенных ландшафтов: межвуз. сб. науч. тр. Т. 18: Стабилизация и улучшение природно-технических систем. Новочеркасск, 2003. С. 58–63.

212. Докучаева Л. М., Юркова Р. Е., Табала Г. И. Влияние комплексной мелиорации на физические свойства солонцов черноземных // Пути повыше-

ния эффективности орошаемого земледелия. / ФГБНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск, 2016. № 1. С. 33–39.

213. 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.

214. Эколого-мелиоративные приемы, исключаяющие негативные явления при орошении черноземов водой неблагоприятного состава / Л. М. Докучаева [и др.] // Проблемы мелиорации в условиях рыночной экономики: сб. науч. тр. ВолжНИИГиМ. Саратов, 1999. С. 61–68.

215. Докучаева Л. М., Скуратов Н. С., Шалашова О. Ю. Оценка агро-мелиоративных приемов восстановления плодородия орошаемых черноземов с экологических позиций // Вопросы мелиорации. М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 1999. С. 21–26.

216. Докучаева Л. М., Скуратов Н. С., Шалашова О. Ю. Экологические аспекты орошения черноземов // Мелиорация и водное хозяйство. 1995. № 16. С. 42–48.

217. Докучаева Л. М., Шалашова О. Ю. Контроль и регулирование плодородия мелиоративно-неблагополучных земель в условиях орошения // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ЮжНИИГиМ. Новочеркасск, 2001. Вып. 32–33. С. 28–36.

218. Зимовец Б. А. Выравнивание свойств пахотного слоя почв сухостепной зоны в условиях орошения // Физические и физико-механические свойства почв и их изменение при интенсификации земледелия: сб. науч. тр. / Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева. М., 1979. С. 124–142.

219. Противодефляционная стойкость агробиоценозов [Электронный ресурс]. URL: <https://studme.org/355702/geografiya/rastitelnost#953> (дата обращения: 16.07.2021).

220. Кузнецов М. С., Глазунов Г. П. Эрозия и охрана почв: учебник для вузов. 3-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во Юрайт, 2019. 387 с.

221. Ильинская И. Н., Игнатьев В. М. Расчет экологически безопасных норм водопотребности для орошения сельскохозяйственных культур // Вестник РАСХН. М., 2003. № 5. С. 26–28.

222. Методические указания по назначению компенсационных мероприятий по снижению ущерба от поверхностных стоков / В. Н. Щедрин [и др.]. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2008. 66 с.

223. Приходько В. Е. Орошаемые степные почвы: функционирование, экология, продуктивность. М.: Интеллект, 1996. 168 с.

224. Маслов Б. С., Минаев И. В., Губер К. В. Справочник по мелиорации. М., 1989. 383 с.

225. Тимофеев А. В. Продуктивность однолетних кормовых культур в чистых и смешанных посевах для конвейерного производства кормов на темно-каштановых почвах Саратовского Заволжья в условиях орошения: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.09. Оренбург, 2003. 176 с.

226. Кижаева В. Е. Влияние способов основной обработки на свойства темно-каштановых почв, водопотребление и продуктивность звена орошаемого севооборота в Саратовском Заволжье: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02, 06.01.01. Саратов, 2007. 200 с.

227. Мелихова Е. В., Рогачев А.Ф. Моделирование и оптимизация распределения ресурсов при внедрении технологических инноваций в орошаемом земледелии // Modern Economy Success. 2018. № 4. С. 113–119.

228. Система влагосберегающих почвозащитных мелиораций земель в Поволжском регионе: рекомендации / В. А. Шадских, В. Е. Кижаева, Л. Г. Романова, О. Л. Рассказова. Энгельс, 2019. 42 с.

229. Рекомендации по использованию комплекса агромелиоративных приемов, обеспечивающих стабилизацию почвенного плодородия, повышение продуктивности сельскохозяйственных культур и экономное расходование материальных ресурсов на орошаемых землях Поволжья / В. А. Шадских, Л. Г. Романова, В. Е. Кижаева, О. Л. Рассказова, Т. А. Панченко. Саратов. 2020. 54 с.

230. 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.

231. Комплекс мероприятий, направленных на сохранение и восстановление почвенного плодородия при циклическом орошении сельскохозяйственных культур в Волгоградской области / В. Н. Щедрин, Г. Т. Балакай, С. М. Васильев, Л. М. Докучаева [и др.]; ФГБНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск, 2015. 76 с.

232. Классификация почв России; под общей ред. Л. Л. Шишова, Г. В. Добровольского. М.: РАСХН, 2000. 235 с.

233. Ольгаренко Г. В. Экономическая оценка широкозахватных дождевальных машин // Проблема устойчивого развития мелиорации и рационального природопользования. Том II. Материалы юбилейной международной научно-практической конференции (Костяковские чтения). М.: Изд-во ВНИИА, 2007. С. 384–395.

234. Рыжко Н. Ф. Совершенствование технических средств и технологии орошения в Поволжье: монография. Саратов: Саратовский источник, 2007. 110 с.

235. Шадских В. А., Кижеева В. Е., Рассказова О. Л. Оптимизация режима орошения сельскохозяйственных культур для различных зон Саратовской области // Мелиорация и водное хозяйство. 2019. № 6. С. 4–9.

236. Рыжко Н. Ф. Обоснование ресурсосберегающего дождевания и совершенствование дождевальных машин «Фрегат» в условиях Саратовского Заволжья: дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02. Саратов, 2012. 356 с.

237. Совершенствование устройств приповерхностного дождевания для ДМ «Фрегат» / Д. А. Соловьев [и др.] // Аграрный научный журнал Саратовского ГАУ им. Н.И. Вавилова. Саратов: ФГОУ ВПО СГАУ. 2016, № 3. С. 45–48.

238. Пронько Н. А. Агромелиоративные основы и автоматизация управления выращиванием полевых культур на орошаемых землях Повол-

жья: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.02. Саратов, 1999. 451 с.

239. Корсак В. В. Информационные технологии рационального природопользования на орошаемых землях Поволжья: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.02. Саратов 2009. 376 с.

240. Васильев В. А., Филиппова Н. В. Справочник по органическим удобрениям. М.: Росагропромиздат, 1988. 255 с.

241. Рекомендации по определению норм минеральных удобрений на запланированный урожай при орошении для Саратовского Заволжья / ВолжНИИГиМ. Саратов, 1980. 42 с.

242. Пронько В. В., Чуб М. П., Ярошенко Т. М. Отзывчивость сельскохозяйственных культур на минеральные удобрения в различных гидротермических условиях степного Поволжья // Аграрный научный журнал. 2017. № 9. С. 27–32.

243. 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

244. Справочник по планированию и экономике сельскохозяйственного производства. Ч.1 / Г. В. Кулик [и др.]. 2-е изд. М.: Россельхозиздат, 1987. 512 с.

245. 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 «РосНИИПМ»; рук.: Щедрин В. Н. Новочеркасск, 2019. 117 с. Исполн.: Щедрин В. Н. [и др.]. Рег. № НИОКТР АААА-А19-119021190100-1. Рег. № ИКРБС АААА-Б20- 220012790143-5

246. Комплексная оценка эффективности агромероприятий [Электронный ресурс]. URL: <http://agro-portal.su/ekonomiko-ekologicheskie-osnovy/2736->

kompleksnaya-ocenka-effektivnosti-agromeropriyatiy.html (дата обращения 08.07.2021).

247. Журавский П. П., Краснощеков В. Н. Основные совершенствования методов оценки экономической эффективности инвестиций в мелиорацию сельскохозяйственных земель // Природообустройство. 2014. № 3. С. 87–92.

248. 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.

249. РД-АПК 3000-01-003-03. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиций проектов мелиорации сельскохозяйственных земель. Введ. 2003-02-01. М., 2002. 130 с.

250. Печенина Т. С. Методология оценки экономической оценки эффективности применения ресурсосберегающих технологий возделывания зерновых культур. Экономика и организация производства в АПК // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2014. № 2. С. 88–92.

251. Об утверждении методических рекомендаций по расчету размера убытков, причиненных собственникам земельных участков, землепользователям, землевладельцам и арендаторам земельных участков, землепользователей, землевладельцев и арендаторов земельных участков либо ухудшением качества земель в результате деятельности других лиц [Электронный ресурс]: Приказ М-ва экон. развития Рос. Федерации от 14 января 2016 г. № 10. Доступ из справ. правовой системы «Гарант».

252. Рекомендации по повышению эффективности использования орошаемых земель /А.П. Черняев [и др.]. Саратов, 2002. 84 с.

253. Удобрительное орошение: теория, технологии, технические средства: монография / В. В. Карпунин, В. И. Филин, А. П. Сапунков, В. Г. Абезин / Поволжский НИИ эколого-мелиоративных технологий. Волгоград. 2003. 443 с.

254. Научные основы современных систем земледелия. М: Агропромиздат, 1988. 255 с.

255. Нагорный В. А. Основы водосбережения при орошении в Саратовской области. Саратов: СГАУ им. Н. И. Вавилова, 2001. 153 с.

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
Слабо карбонатные	В пределах горизонта А
Слабо выщелоченные	В пределах горизонта АВ
Выщелоченные	В нижней части горизонта АВ или в пределах горизонта В
Сильно выщелоченные	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	> 5,0

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Описание почвенного разреза

Глубина, см		Гори- зонт	Описание
0–15		А	Серовато светло-коричневый, пылеватый, рыхлый, много корневых остатков, преобладают злаки, сухой, рассыпчатый, вскипание с поверхности слабое.
15–31		В ₁	Светло-коричневый, разминается с усилием, мелко-комковатая, твердый, корешки реже, сухой, вскипание сильное с 25 см.
31–56		В _к	Светло-коричневый с рыжим оттенком, очень твердый, распадается с усилием, крупно-среднекомковатая, редкие корешки, сухой, сильное вскипание.
56–77		В ₂	Светло-коричневый, очень твердый, распадается с усилием, крупный, при разминании – среднекомковатая, сухой, сильное вскипание.
77–100		ВС	Светло-коричневый, менее твердый, вкрапления белоглазки, среднекомковатый, сухой, сильное вскипание.
> 100		С	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 его культурное состояние (степень заболоченности, засоленности, окультуренности и др.) _____

5 Растительный покров и характер поверхности (растительные группировки, состав, густота, высота, засоренность, завалуненность, закочкаренность, глыбистость, культура и урожай) _____

6 Характер вспашки от НСІ _____

7 Залегание карбонатов (в см) _____

8 Форма выделения и глубина залегания (в см) солей:

а) гипс _____ б) водно-растворимые соли _____

9 Реакция (рН) по горизонтам _____

10 Уровень почвенных и грунтовых вод (глубина в см, высота и характер капиллярной каймы, критический уровень, минерализация, рН) _____

11 Почвообразующая порода _____

12 Название почвы: а) полевое; местно _____

б) окончательное _____

12 Описание разреза по генетическим горизонта (в соответствии с рисунком) на 2 и 3 страницах журнала _____

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Водно-физические свойства почв

Таблица Г.1 – Оценка водно-физических показателей свойств почв

Показатель	Предел величины	Оценка показателя
1	2	3
Содержание агрегатов 0,25–10 мм, % от массы воздушно-сухой почвы (метод Саввинова) сухое просеивание	> 80 80–60 60–40 40–20 < 20	Структурное состояние Отличное Хорошее Удовлетворительное Неудовлетворительное Плохое
мокрое просеивание	> 70 70–55 55–40 40–20 < 20	Отличное Хорошее Удовлетворительное Неудовлетворительное Плохое
Сумма водопрочных агре- гатов Более 0,25 мм, % (метод Саввинова)	< 10 10–20 20–30 30–40 40–60 60–75 > 75–80	Водопрочность агрегатов Отсутствует Неудовлетворительная Недостаточно удовлетворительная Удовлетворительная Хорошая Отличная Избыточно высокая
Плотность сложения почв, т/м ³	< 1 1,0–1,1 1,2 1,2–1,4 1,4–1,6 1,6–1,8	Почва вспушена или богата органическим веществом Типичные значения для культурной све- вспаханной почвы Пашня уплотнена Пашня сильно уплотнена Типичные значения для подпахотных гори- зонтов различных почв Сильно уплотненные иллювиальные гори- зонты почвы
Порозность, %	55–65 > 70 50–55 < 50 40–25	Отличная Культурный пахотный слой Избыточно пористая Почва высушена Удовлетворительная для пахотного слоя Неудовлетворительная для пахотного слоя Чрезмерно низкая – для уплотненных иллю- виальных горизонтов

Продолжение таблицы Г.1

1	2	3
Предельная (наименьшая) полевая влагемкость, % сухой массы почвы	Тяжелые по механическому составу почвы 40–50 30–40 25–30 < 25	Наилучшая Хорошая Удовлетворительная Неудовлетворительная
Запасы продуктивной влаги, мм В слое 0–0,2 м В слое 0–1 м	 > 40 20–40 < 20 > 160 160–130 130–90 90–60 < 60	 Хорошие Удовлетворительные Неудовлетворительные Очень хорошие Хорошие Удовлетворительные Плохие Очень плохие

Таблица Г.2 – 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
Почва			Почвыа			
подзоли- стого типа почвооб- разования	степного типа поч- вообразо- вания, краснозе- мы и жел- тоземы	солон- цы и силь- нолон- цева- тые почвы	подзо- листого типа почво- образо- вания	степного типа поч- вообразо- вания, краснозе- мы и жел- тоземы	солонцы и силь- носо- лонцева- тые поч- вы	
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})
> 80	> 85	> 65	< 20	< 15	> 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 в мг-экв) при засолении					
	нейтральном (pH < 8,5)			щелочном (pH > 8,5)		
	Хлоридный, сульфатно- хлоридный Cl: SO ₄ > 1	Хлоридно- сульфатный Cl: SO ₄ = 1–0,2	Сульфатный Cl: SO ₄ < 0,2	Хлоридно- содовый и содо- во-хлоридный Cl: SO ₄ > 1, HCO ₃ более Ca + Mg, HCO ₃ > SO ₄	Сульфатно- содовый и содо- во-сульфатный Cl: SO ₄ < 1, HCO ₃ более Ca + Mg, HCO ₃ > Cl	Сульфатно- хлоридно- гидрокарбонатный HCO ₃ > Cl, HCO ₃ > SO ₄ , HCO ₃ < Ca + Mg
Порог токсично- сти (незасолен- ные почвы)	< 0,1	< 0,2	< 0,3	< 0,1	< 0,15	< 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	> 0,8	> 1(1,4)*	> 1,5(2)	> 0,5	> 0,6	То же

Примечание – * Данные в скобках соответствуют степеням засоления по сумме солей в гипсоносных почвах, к которым отнесены почвы, содержащие более 1 % CaSO₄·2H₂O; по данным водных вытяжек, обычно эти почвы содержат более 10–12 мг-экв Ca и SO₄ (нетоксичного).

Таблица Д.3 – Оценка степени засоления по сумме токсичных солей или содержанию отдельных ионов

Степень засоления почв	Показатель засоления в зависимости от химизма засоления*							
	Преимущественно хлоридный			Преимущественно сульфатный (в том числе хлоридно-сульфатный)		Преимущественно содовый		
	S _{ток} , %	Cl, мг-экв/100 г почвы	Na, мг-экв /100 г почвы	S _{ток} , %	мг-экв/100 г почвы	S _{ток} , %	HCO ₃ ток **, мг-экв/100 г почвы	Na, мг-экв/100 г почвы
Незасолены	< 0,05	< 0,3	< 0,6	< 0,15	< 1	< 0,1	< 0,8	< 0,6
Слабая	0,05–0,12	0,6–1,0	0,6–2,0	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	0,6–1,0	6–12	0,3–0,6	2–3	4–8
Очень сильная	> 0,7	> 7	> 8	> 1	> 12	> 0,6	> 3	> 8

Примечания

* Степень засоления можно оценивать по одному из приведенных показателей.

** Сумма токсичных солей (S_{ток}, %) равна сумме токсичных ионов, выраженных в %; ионы Cl, Na, Mg относятся к категории токсичных целиком; HCO₃ ток = HCO₃ общ. – Ca; мг-экв; SO₄ ток = SO₄ общ – (Ca – HCO₃), мг-экв; S_{ток}, = HCO₃ ток + Cl + SO₄ ток + Na + Mg + K, %.

Таблица Д.4 – 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
рН 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 % от 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	< 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	> 2,0	> 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 т. д.)
Несолонцеватые	< 5	< 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	> 50	Оптимальное

Таблица Д.8 – Разделение почв по глубине (см) верхней границы гипсового горизонта (слоя)

Почва	Глубина верхней границы гипсового горизонта, см
Высокозагипсованные	20–60
Неглубокозагипсованные	60–100
Глубокозагипсованные	100–200
Глубокозагипсованные	> 200

Таблица Д.9 – Разделение почв по глубине верхней границы сильно окарбоначенного горизонта

Почва	Глубина верхней границы сильно окарбоначенного горизонта, см
Поверхностноокарбоначенные	< 30
Высокоокарбоначенные	30–60
Неглубокоокарбоначенные	60–100
Глубокоокарбоначенные	100–200
Глубиноокарбоначенные	> 20

Таблица Д.10 – Степень карбонатности почв и мелкоземистых пород на содержание CaCO_3

Степень карбонатности	Содержание CaCO_3 , %
Бескарбонатные (выщелоченные)	нет
Слабокарбонатные	< 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/100г	Урожайность сельскохозяйственных культур	Показатель почвенного плодородия
Не обладают токсичностью	< 50	Проектная урожайность гарантирована	Оптимальное
Слабая токсичность	50–70	Снижение урожая до 15–20 %	Удовлетворительное
Сильная токсичность	> 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	В процентах (%)
Очень низкая	< 30,0
Низкая	30,1–50,0
Средняя	50,1–70,0
Повышенная	70,1–90,0
Высокая	> 90,0

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Агрохимические свойства почв

Таблица Ж.1 – Оценка гумуса

Показатель	Предел величины	Уровень, характер признака
Общее содержание гумуса в минеральном профиле почв, %	> 10	Очень высокое
	6–10	Высокое
	4–6	Среднее
	2–4	Низкое
	< 2	Очень низкое
Запасы гумуса, т/га в слое 0–20 см	> 200	Очень высокое
	150–200	Высокое
	100–150	Среднее
	50–100	Низкое
	< 50	Очень низкое
В слое 0–100 см	> 600	Очень высокое
	200–400	Высокое
	400–600	Среднее
	100–200	Низкое
	< 100	Очень низкое
Степень гумификации органического вещества, $C_{г.к.}/C_{общ} \cdot 100\%$	> 40	Очень высокая
	40–30	Высокая
	30–20	Средняя
	20–10	Слабая
	< 10	Очень слабая
Тип гумуса, $C_{г.к.}/C_{ф.к.}$	> 2	Гуматный
	2–1	Фульватно-гуматный
	1–0,5	Гуматно-фульватный
	< 0,5	Фульватный
Обогащенность гумуса азотом, С : N	5	Очень высокая
	5–8	Высокая
	8–11	Средняя
	11–14	Низкая
	> 14	Очень низкая

Таблица Ж.2 – Обеспеченность почв азотом

Оценка обеспеченности	В мг/кг								
	рН < 5			рН = 5–6			рН > 6		
	З	К	О	З	К	О	З	К	О
Очень низкая	< 40	< 50	< 60	< 30	< 40	< 50	< 30	< 40	< 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	> 70	> 100	> 140	> 60	> 80	> 120	> 50	> 70	> 100

Примечание – З – зерновые культуры, К – картофель и кормовые культуры, О – овощные культуры.

Таблица Ж.3 – Обеспеченность почв подвижным фосфором

В мг/кг

Оценка обеспеченности	Культура		
	Зерновые и зернобобовые	Кормовые корнеплоды, картофель	Овощные, технические
Вытяжка Кирсанова			
Очень низкая	< 30	< 80	< 150
Низкая	30–80	80–150	150–200
Средняя	80–150	150–200	200–300
Высокая	> 15	> 200	> 300
Вытяжка Чирикова			
Очень низкая	< 20	< 50	< 100
Низкая	20–50	50–100	100–150
Средняя	50–100	100–150	150–200
Высокая	> 100	> 150	> 200
Вытяжка Труога			
Очень низкая	< 30	< 70	< 120
Низкая	30–70	70–120	120–180
Средняя	70–120	120–180	180–250
Высокая	> 120	> 180	> 250
Вытяжка Аррениуса и Ониани			
Оценка обеспеченности	Зерновые, чай	Кормовые корнеплоды	Овощные
Очень низкая	< 80	< 150	< 300
Низкая	80–150	150–300	300–450
Средняя	15–30	300–450	450–600
Высокая	> 30	> 450	> 600
Вытяжка Мачигина			
Очень обеспеченности	Зерновые, хлопчатник	Кормовые корнеплоды, картофель	Овощные, технические культуры
Очень низкая	< 10	< 15	< 30
Низкая	10–15	15–30	30–45
Средняя	15–30	30–45	45–60
Высокая	> 30	> 45	> 60

Таблица Ж.4 – Обеспеченность почв подвижным калием

В мг/кг

Оценка обеспеченности	По Кирсанову	По Масловой	По Чирикову	По Эгнеру-Риму	По Ониани	По Мачигину
Очень низкая	< 40	< 50	< 20	–	< 200	< 50
Низкая	40–80	50–100	20–40	< 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	> 140	–	200–300
Высокая	170–200	200–300	120–180	–	> 400	300–400
Очень высокая	> 200	> 300	> 180	–	–	> 400

Таблица Ж.5 – Обеспеченность почв подвижной (сульфатной) серой
в вытяжке 1н KCl

В мг/кг

Обеспеченность	Содержание серы
Низкая	< 6,0
Средняя	6,1–12,0
Высокая	> 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	< 30	31–70	> 70
Цинк	1 н KCl	< 0,7	0,8–1,5	> 1,5
Медь	1 н KCl	< 1,5	1,6–3,3	> 3,3
Кобальт	1 н HNO ₃	< 0,1	1,1–1,2	> 2,2
Бор	H ₂ O	< 0,33	0,34–0,7	> 0,7
Молибден	–	< 0,1	0,11–0,22	> 0,22

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Эколого-токсикологическое состояние почв

Таблица И.1 – Содержание валовых форм тяжелых металлов и мышьяка
в почвах

Почва	В мг/кг							
	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 глинистые	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 И.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	< ПДК	от ПДК до 3	3–5	5–20	> 20
Свинец	то же	от ПДК до 125	125–250	250–600	> 600
Ртуть	«	от ПДК до 3	3–5	5–10	> 10
Цинк	«	от ПДК до 500	500–1500	1500–3000	> 3000
Медь	«	от ПДК до 200	200–300	300–500	> 500
Кобальт	«	от ПДК до 50	50–150	150–300	> 300
Никель	«	от ПДК до 150	150–300	300–500	> 500
Молибден	«	от ПДК до 40	40–100	100–200	> 200
Олово	«	от ПДК до 20	20–50	50–300	> 300
Хром	«	от ПДК до 250	250–500	250–800	> 800
Ванадий	«	от ПДК до 225	225–300	225–350	> 350

Таблица И.3 – Показатели уровня загрязнения земель органическими
и неорганическими соединениями

Элемент, соединение	Содержание, соответствующее степени загрязнения, мг/кг			
	низкий	средний	высокий	очень высокий
1	2	3	4	5
Неорганические соединения				
Кадмий	< 3	3–5	5–20	> 20
Свинец	< 125	125–250	250–600	> 600
Ртуть	< 3	3–5	5–10	> 10
Мышьяк	< 20	20–30	30–50	> 50

Продолжение таблицы И.3

1	2	3	4	5
Цинк	< 500	500–1500	1500–3000	> 3000
Медь	< 200	200–300	300–500	> 500
Кобальт	< 50	50–150	150–300	> 300
Никель	< 150	150–300	300–500	> 500
Молибден	< 40	40–100	100–200	> 200
Олово	< 20	20–50	50–300	> 300
Барий	< 200	200–400	400–2000	> 2000
Хром	< 250	250–500	500–800	> 800
Ванадий	< 225	225–300	300–350	> 350
Фтор водорастворимый	< 15	15–25	25–50	50
Органические соединения				
Хлорированные углеводороды (в том числе хлорсодержащие пестициды ДДТ, ГХЦГ, 2,4-Д и др.	< 5	5–25	25–50	> 50
Хлорфенолы	< 1	1–5	5–10	> 10
Фенолы	< 1	1–5	5–10	> 10
Полихлорбифенилы	< 2	2–5	5–10	> 10
Циклогексан	< 6	6–30	30–60	> 60
Пиридины	< 0,1	0,1–2	0,1–2	> 20
Тетрагидрофуран	–	–	–	> 40
Стирол	< 5	5–20	5–20	> 50
Нефть и нефтепродукты	< 1000–2000	2000–3000	2000–3000	> 5000
Бенз(а)пирен	< 0,1	0,1–0,25	0,25	> 0,5
Бензол	< 1	1–3	3–10	> 10
Толуол	< 10	10–50	50–100	> 100
Альфаметилстирол	< 3	3–10	10–50	> 50
Ксилолы (орто-, мета-, пара-)	< 3	3–30	30–100	> 100
Сернистые соединения	180	180–250	250–380	380

Таблица И.4 – Предельно допустимые концентрации химических веществ в почвах

Элемент, химическое вещество	Величина ПДК, мг/кг почвы
1	2
Валовые формы	
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

Продолжение таблицы И.4

1	2
Сероводород	0,4
Нитраты	130
Водорастворимые формы	
Фтор	10
Подвижные формы	
Свинец	6
Никель	4
Хром	6
Медь	3
Цинк	23
Кобальт	5
Марганец: для черноземов	700
для дерново-подзолистых почв при pH 4,0	300
pH 5,1–6,0	400
pH > 6,0	500

Таблица И.5 – Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах (валовое содержание)

В мг/кг

Почва	Никель	Медь	Цинк	Мышьяк	Кадмий	Свинец
Песчаные и супесчаные	20	33	55	2	0,5	32
Суглинистые и глинистые при pH менее 5,5	40	66	110	5	1,0	65
Суглинистые и глинистые при pH более 5,5	80	132	220	10	2,0	130

Таблица И.6 – Ориентировочно допустимые концентрации пестицидов в почвах

В мг/кг

Наименование вещества	Величина ОДК	Наименование вещества	Величина ОДК
1	2	1	2
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
Биферан	0,5	Реглон	0,2
БМК	0,1	Ровраль	0,15
Бромофос	0,2	Сангор	0,04
Бронокот	0,5	Сапроль	0,03
Гексохлорбензол	0,03	Солан	0,6
Геметрел	0,5	Стомп	0,15

Продолжение таблицы И.6

1	2	1	2
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
Дропп	0,05	Тетрахлорбифенилы	0,06
Зеллек	0,15	Трефлн	0,1
Кампозан	0,5	Триаллат	0,05
Каптан	1,0	Трихлорбифенилы	0,03
Карагارد	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 И.7 – Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю загрязнения

Значение показателя, Z_c	Степень загрязнения почв
< 16	допустимая
16–32	умеренно-допустимая
32–128	средняя
> 128	очень высокая

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Нитрификационная способность почв

Предел величин	Уровень признака
< 5	очень низкая
5–8	низкая
8–15	средняя
15–30	повышенная
30–60	высокая
> 60	очень высокая

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

Шкала оценки деградационных процессов орошаемых земель степной и сухостепной зон Поволжья

Показатель	Степень деградации				
	отсутствует Б = 0	слабая Б = 1	средняя Б = 2	сильная Б = 3	очень сильная Б = 4
1	2	3	4	5	6
Агрофизические					
Содержание агрегатов при сухом рассеве, %: более 10 мм 10–0,25 мм	10–20 60–80	21–30 50–59	31–40 40–49	60–41 39–20	> 60 < 20
Пористость агрегатов (5–7 мм), %	42–44	40–42	38–40	36–38	< 36
Плотность пахотного слоя, т/м ³ : черноземов каштановых почв	< 1,20 < 1,30	1,20–1,25 1,30–1,35	1,26–1,30 1,36–1,40	1,30–1,40 1,40–1,50	> 1,40 > 1,50
Увеличение равновесной плотности сложения пахотного слоя почвы, % от исходного	< 5,0	6–10	11–20	21–35	> 35
Физико-химические					
Содержание солей по твердому остатку, %	< 0,1	0,1–0,3	0,31–0,50	0,51–0,80	> 0,80
Токсичная щелочность, мг-экв/100 г почвы	< 0,7	0,7–1,0	1,1–1,5	1,6–2,0	> 2,0
Увеличение площади засоленных почв, % в год	< 0,5	0,51–1,0	1,0–2,0	2,1–5,0	> 5,0
Содержание обменного натрия, % от емкости обмена в: черноземах (Na < 1%) каштановых почвах	< 1 < 3	1–3 3–5	4–5 6–10	5–7 10–15	> 7 > 15
Содержание обменного магния, % от емкости обмена	< 30	30–40	41–60	61–70	> 70
Биохимические					
Изменение запасов гумуса, % от исходного	< 10	10–20	21–30	31–40	> 40
Изменение соотношения $C_{гк} / C_{фк}$ в: черноземах каштановых почв	> 2,0 > 1,8	1,5–2,0 1,5–1,8	1,0–1,4 1,7–1,0	0,8–1,0 0,9–0,5	< 0,8 < 0,5
Нитрификационная способность, мг/кг	> 30	20–30	10–19	9–5	< 5
Содержание нитратов, мг/кг	< 40	40–60	61–70	71–80	> 80

Продолжение приложения Л

1	2	3	4	5	6
Гидрохимические					
Уровень грунтовых вод (м) при минерализации (г/л): менее 3,0 более 3,0	> 4 > 7	3–4 5–7	2–3 4–3	1–2 3–2	< 1 < 2
Превышение уровня грунто- вых вод, % от критического уровня	> 5	5–10	11–25	26–50	> 50
Эрозионная опасность					
Уменьшение мощности гуму- сового слоя, % от исходного	< 5	5–15	16–30	30–50	> 50
Потеря почвенной массы, т/га в год	< 5	5–25	26–50	50–100	> 100
Увеличение площади эроди- рованных почв, % в год	< 0,5	0,5–1,0	1,1–2,0	2,1–3,0	> 3,0
Средний балл деградации	< 1,0	1,0–1,99	2,0–2,99	3,0–4,0	> 4,0

ПРИЛОЖЕНИЕ М

Глубина залегания грунтовых вод и степень их минерализации

Таблица М.1 – Критическая глубина залегания грунтовых вод (средняя)
для степной зоны

Минерализация, г/дм ³	Критическая глубина грунтовых вод, м	
	нщелочная вода	щелочная вода
Черноземная зона		
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
Каштановая зона		
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 М.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 Н

Качество оросительной воды по ее минерализации и степени развития неблагоприятных процессов

Таблица Н.1 – Классификация качества оросительной воды [212, 213]

Класс воды	Минерализация воды для орошения почв, г/л			Оценка воды по степени опасности развития процессов			
	с тяжелым механическим составом и почв, имеющих ППК > 30	со средним механическим составом и почв, имеющих ППК 15–30	с легким механическим составом и почв, имеющих ППК < 15	хлоридного засоления Cl	натриевого осолодцевания Ca /Na	магниевого осолодцевания Mg / Ca	содообразования (CO ₃ + HCO ₃) – (Ca + Mg)
1	0,2–0,5	0,2–0,6	0,2–0,7	2,0	2,0	1,0	1,0
2	0,5–0,8	0,6–1,0	0,7–1,3	2,0–4,0	2,0–1,0	1,0–0,7	1,0–1,25
3	0,8–1,2	1,0–1,5	1,2–2,0	4,0–10,0	1,0–0,5	0,7–0,4	1,25–2,5
4	> 1,2	> 1,5	> 2,0	> 10,0	< 0,5	< 0,4	> 2,5

Примечания

1 Концентрация ионов выражена в мг-экв/л.

2 ППК – емкость поглощения почв в мг-экв/100 г почвы.

Таблица Н.2 – Характеристика классов оросительной воды [214]

Класс воды	Характеристика классов воды
1	Оросительная вода не оказывает неблагоприятного влияния 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 требуется 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 магниевое 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. требуется ограничение состава сельскохозяйственных культур, специальный комплекс мелиоративных мероприятий.
4	Оросительная вода оказывает неблагоприятное влияние на плодородие почв, урожайность и качество сельскохозяйственных продукции, снижение урожайности культур слабой и средней солеустойчивости до 5 до 25–50 %. Требуется мелиорация почв и воды. Вода не пригодна без предварительного изменения ее качественного состава или без проведения специальных исследований влияния ее на качество сельскохозяйственной продукции, на плодородие почв и другие природные факторы.

Таблица Н.3 – Норма качества оросительной воды, неорганические соединения

Показатель	Допустимая величина, мг/дм ³
1	2
Железо общее Fe ²	0,3
Цинк Zn	1,0
Медь Cu	1,0
Бор В	0,5
Фтор F	1,5
Марганец Mn	0,2
Кобальт Co	–
Молибден Mo	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

Продолжение таблицы Н.3

1	2
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 1л	1000
Эпидемиологически опасные (возбудители тифа, паратифа, сальмонеллы, яйца гельминтов)	отсутствие

Таблица Н.4 – Нормы качества оросительных вод, органические соединения

Показатель	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 неионогенных	50,0
Фенол	15,0
Формальдегид	25,0

ПРИЛОЖЕНИЕ II

Величины плотности сложения почвы

Тип почвы	Разновидность почвы	Плотность сложения почвы, т/м ³
Дерново-подзолистые	Дерново-подзолистые: – глинистые и тяжело-суглинистые	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

Усредненные данные пожнивно-корневых остатков и содержание в них питательных веществ

Культура	Пожнивные остатки			Содержание питательных веществ в пожнивных остатках, кг/га			
	наземная часть	корни	сумма	N	P	K	сумма
Озимая пшеница	2,33	0,86	3,19	18	7	21	46
Овес	2,78	1,23	4,01	23	16	70	109
Зерновые в среднем	2,36	1,23	3,59	23	10	42	75
Зернобобовые в среднем	1,97	2,67	4,64	67	13	39	119
Кукуруза на силос	2,17	6,41	8,58	57	16	85	158
Пропашные в среднем	0,67	0,57	1,24	12	4	26	42
Однолетние кормовые в среднем	3,38	4,11	7,49	66	21	134	221
Люцерна	2,52	9,76	12,28	175	47	101	323
Многолетние бобовые травы в среднем	2,25	7,06	9,34	155	37	119	311

ПРИЛОЖЕНИЕ С

Рекомендуемые нормы внесения минеральных удобрений под основные культуры на орошаемых землях степной и сухостепной зон

Культура	Планируемый урожай основ- ной продук- ции, т/га	Средняя расчетная доза удобрений, кг/га			Возможные дозы удобрений, кг/га	
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅
Озимая пшеница (зерно)	5–6	150	90	60	90–180	60–120
Яровая пшеница и ячмень (зерно)	3,5–4	90	60	60	60–120	45–90
Рис (сырец)	6–7	120	90	60	60–180	60–120
Кукуруза (зерно)	6–8	120	90	60	90–150	60–120
Кукуруза (зеленая масса)	60–70	150	90	90	90–180	60–120
Соя (зерно)	1,5–2	60	90	60	30–90	60–120
Сахарная свекла (корни)	40–50	120	120	120	90–150	90–150
Люцерна (за 3 года жизни, сено)	25–30	60	180	90	30–60	90–180
Овощные культуры (товарная часть)	40–50	150	180	80	90–180	120–240
Вико-овсяная смесь (зеленая масса)	35–40	90	60	60	60–120	30–90
Подсолнечно- гороховая смесь (зе- леная масса)	40–45	120	60	60	90–120	30–90
Озимая рожь на зе- леный корм (зеленая масса)	30–40	90	60	–	60–120	30–60
Суданка (зеленая масса)	50–60	150	60	–	90–150	30–90
Культурные пастби- ща (зеленая масса)	50–60	120	90	120	120–150	60–120
Лиманные луга (се- но)	3–4	90	60	–	60–120	30–90

ПРИЛОЖЕНИЕ Т

Виды удобрительно-мелиорирующих компостов и средств, характеристики их компонентов

Таблица Т.1 – Виды удобрительно-мелиорирующих компостов (УМК)
и средств (УМС) и их характеристики с оптимальными
соотношениями

Компоненты (соотношения)	Мелиори- рующая ос- нова, в пере- счете на гипс, %	Питательная основа		
		Масса органического вещества	P ₂ O ₅	K ₂ O
Н + Ф (1:1)	42	50	0,37	0,24
Н + ЭТС (3:1)	22	75	0,53	0,36
Н + Тп (1:1)	25	50	0,40	0,60
Н + Гл (1: 1)	35	50	0,33	4,83
Пп + Ф (1:1)	49	50	1,53	0,6
Пп + Гл (1:1)	38	50	0,91	2,6
Пп + Ф + Гл (1:1:1)	57	34	1,20	1,7
Пп + О + Ф (1:1:2)	47	50	1,26	0,41
Пп + О + Гл (1:1:2)	38	50	0,59	2,32
Пп + Ф + ЭТС (1:1:0,5)	52	40	1,28	0,64
Пп + Гл + ЭТС (1:1:0,5)	44	40	0,72	2,10
Пп + Ф + О + ЭТС (1:1:0,5:1)	47	43	0,92	0,46
Пп + Гл + О + ЭТС (1:1:0,5:1)	41	43	0,52	1,49
Примечание – Н – навоз; ЭТС – электролит травления стали; Тп – терриконовая порода; Гл. – глауконит; О – опилки. Рекомендуемые соотношения УМК и средств разработаны в ФГБНУ «РосНИИПМ».				

Таблица Т.2 – Характеристика веществ, используемых для приготовления УМК при проведении химической мелиорации

Мелиорант	Мелиорирующая основа	Удобрительное вещество	pH суспензии	Физическое состояние	Влажность, %
Глиногипс (природное месторождение) (ЮФО, СКФО)	Гипс – 68–82 %	Микроэлементы: Fe, Ba, Mn, Cr, V, Cu	7,2–7,8	Твердое, слегка пылит	15–23
Гипс (природное месторождение) (ЦФО, ПФО)	Гипс – 70–85 %		6,8–7,5	Твердое, слегка пылит	18–23
Глауконит (природное месторождение) (ЮФО)	Гипс – 70–75 %	Zn, Cu, Cr, V	7,1–7,6	Песок	20–23
Фосфогипс (отход производства минеральных удобрений) – Ф (СКФО)	Гипс – 90–95 %	P ₂ O ₅ (общая) – 1,35 %, P ₂ O ₅ (водорастворимая) – 0,6–2,5 %, микроэлементы – 1,5 %	2,5–4,0	Твердое, слегка пылит	20–35
Отработанная серная кислота (отход нефтеперерабатывающей промышленности) – ОСК	Серная кислота – 84–86 %	Органические добавки – 4–6 %	1,0–1,5	Жидкое	–
Электролит травления стали (отход машиностроительной промышленности) – ЭТС	Сернокислое железо – 8–15 %	Сера ~ 4 %	2–3	Жидкое	–
Терриконовая порода (отход угледобывающей промышленности) – Тп	Сульфаты кальция, железа, алюминия в пересчете на гипс – 20–0 %	P ₂ O ₅ – 0,01 %, K ₂ O – 0,25 %, микроэлементы, гумусовые и др. угольные остатки – 8 %	3–5	Твердое, рассыпчатое, слабопылящее	10–15

ПРИЛОЖЕНИЕ У

Рекомендуемые примерные севообороты для различных областей Поволжья

Самарская область. Северная зона.

Типичный шестипольный кормовой севооборот: 1 – однолетние травы + люцерна, 2, 3, 4 – люцерна, 5–6 кукуруза на зеленый корм и силос; семипольный кормовой севооборот: 1 – ячмень + люцерна; 2, 3, 4 – люцерна, 5–6 – кукуруза на силос, 7 – однолетние травы (кукуруза + суданская трава).

Центральная зона.

Шестипольный кормовой севооборот: 1 – яровые + люцерна, 2, 3, 4 – люцерна, 5 – кукуруза, 6 – горох + пожнивные; восьмипольный травопропашной севооборот: 1 – яровая пшеница + люцерна, 2, 3 – люцерна, 4 – озимая пшеница + пожнивные, 5 – кукуруза на силос, 6 – яровые зернофуражные культуры, 7 – горох + пожнивные, 8 – кукуруза на силос (зеленый корм).

Пригородная зона (хозяйства, специализирующиеся на производстве овощей и животноводческой продукции).

Девятипольный овощной севооборот: 1 – однолетние + люцерна, 2, 3 – люцерна, 4 – капуста, 5 – огурцы, 6 – прочие овощи, 7 – помидоры, 8 – кукуруза + суданская трава, 9 – капуста; десятипольный овощной: 1 – яровая пшеница + люцерна, 2, 3, 4 – люцерна, 5 – капуста, 6 – огурцы, 7 – морковь + столовая свекла, 8 – помидоры, 9 – однолетние травы, 10 – капуста.

Южная зона.

Шестипольный зерно-кормовой севооборот: 1 – ячмень + люцерна, 2, 3, 4 – люцерна, 5 – кукуруза на силос, 6 – кукуруза на зерно; восьмипольный зерно-кормовой севооборот: 1 – ячмень + люцерна, 2, 3, 4 – люцерна, 5 – озимая пшеница + пожнивные посевы, 6 – кукуруза на силос, 7 – кукуруза на зерно, 8 – зернофуражные культуры.

Саратовская область. Северная зона.

Семипольный зерно-кормовой севооборот: 1 – яровые + люцерна, 2, 3, 4 – люцерна, 4 – кукуруза на зерно, 5 – кукуруза на зеленый корм (силос), 6 озимая пшеница + пожнивные посевы, 7 – просо; восьмипольный зерно-кормовой севооборот: 1 – яровые + люцерна, 2, 3, 4 – люцерна, 5 – кукуруза с зернобобовыми, 6 – яровые зерновые, 7 – озимая пшеница + пожнивная кукуруза, 8 – кормовые корнеплоды.

Центральная зона.

Восьмипольный зерно-кормовой севооборот: 1 – яровые + люцерна, 2, 3 – люцерна, 4 – кукуруза на зерно, 5 – кукуруза на силос, 6 – озимая пшеница + пожнивные, 7 – просо или соя, 8 – кормовые корнеплоды; восьмипольный зерно-кормовой севооборот: 1 – яровые + люцерна, 2, 3, 4 – люцерна, 5 – кукуруза на зерно, 6 – кукуруза + подсолнечник на силос, 7 – озимая пшеница + зернобобовые пожнивные, 8 – кормовые корнеплоды.

Пригородная зона (с овощемолочной специализацией хозяйств).

Восьмипольный севооборот: 1 – яровые зерновые + люцерна, 2, 3, 4 – люцерна, 5 – капуста, 6 – огурцы и лук, 7 – помидоры и картофель, 8 – морковь и столовая свекла; восьмипольный севооборот (более эффективный): 1 – яровые + люцерна, 2, 3 – люцерна, 4 – капуста, 5 – огурцы, 6 – помидоры + картофель, 7 – столовые и кормовые корнеплоды, 8 – кукуруза в смеси на силос.

Южная и юго-восточная зоны.

Девятипольный кормовой севооборот: 1 – яровые + люцерна, 2, 3, 4 – люцерна, 5 – кукуруза на зерно, 6 – кукуруза на силос, 7 – озимая рожь + пожнивные посевы, 8 – кормовые корнеплоды, 9–1/2 кукуруза на зерно + 1/2 кукуруза + соя на силос; семипольный севооборот: 1 – просо + люцерна, 2, 3, 4 – люцерна, 5, 6, 7 – кукуруза в смеси с соей, подсолнечником, сорго и другими кормовыми культурам.

Приведенные севообороты позволяют, не нарушая принципов чередования, широко варьировать набором и составом культур.

Волгоградская область. Центральная зона.

Семипольный кормовой севооборот: 1 – люцерна под покров или в чистом виде, 2, 3, 4 – люцерна, 5, 6 – кукуруза на силос, 7 – озимые культуры + кукуруза пожнивно.

Вблизи животноводческих ферм или комплексов целесообразно размещать севообороты с набором культур для зеленого конвейера: восьмипольный: 1 – люцерна под покров однолетних трав, 2, 3, 4 – люцерна, 5 – суданская трава, 6 – кормовая свекла, 7 – горохоовсяные и другие смеси, 8 – озимая рожь + кукуруза.

Южная зона.

Семипольный зерно-кормовой севооборот: 1 – яровые культуры на монокорм с подсевом люцерны, 2, 3, 4 – люцерна, 5 – кукуруза на зерно, 6, 7 – кукуруза на силос; семипольный: 1 – яровые зерновые + люцерна, 2, 3 – люцерна, 4 – кукуруза на зерно, 5 – кукуруза на силос, 6 – озимые на монокорм + пожнивные, 7 – кукуруза на силос.

В хозяйствах, занимающихся производством семян многолетних и однолетних трав: семипольный севооборот: 1 – люцерна под покров или в чистом виде, 2, 3 – люцерна на семена, 4 – люцерна на зеленую массу (первый укос) + кукуруза пожнивно, 5 – кукуруза на зерно, 6 – кукуруза на силос, 7 – суданская трава на семена; шестипольный севооборот: 1 – люцерна под покров или в чистом виде; 2, 3 – люцерна на семена, 4 – кукуруза на силос, 5 – кукуруза на зерно, 6 – суданская трава на семена.

Пригородная зона (хозяйства, специализирующиеся на производстве овощей и молока).

Шестипольный овоще-кормовой севооборот: 1 – люцерна под покров или в чистом виде, 2, 3 – люцерна, 4 – томаты, 5 – кукуруза на зеленую массу, 6 – томаты; семипольный овоще-кормовой севооборот: 1 – люцерна под покров яровых, 2, 3 – люцерна, 4 – томаты, 5 – кукуруза на силос, 6 – огурцы, 7 – капуста.

Астраханская область. Центральная зона.

Севообороты овоще-кормовые: шестипольный: 1 – яровые + люцерна, 2, 3 – люцерна, 4 – томаты, 5 – томаты и другие пасленовые, 6 – капуста, огурцы и другие овощные; семипольный: 1 – яровые + люцерна, 2, 3 – люцерна, 4 – бахчевые, 5 – томаты, 6 – томаты и другие овощи, 7 – кукуруза на силос.

Зона подстепных ильменей и дельта р. Волги.

Бахче-кормовые севообороты: шестипольный: 1 – зерновые + люцерна, 2, 3 – люцерна, 4 – бахчи, 5 – кукуруза на силос, 6 – бахчи; семипольный севооборот: 1 – зерновые + люцерна, 2, 3, 4 – люцерна, 5 – бахчи, 6 – томаты, 7 – кукуруза (сорго) на зеленую массу (силос).

Рисовые севообороты: семипольный севооборот: 1 – зерновые + люцерна, 2 – люцерна, 3 – рис, 4 – рис, 5 – мелиоративное поле (подсев кормовых), 6 – рис, 7 – рис. Восьмипольный севооборот: 1 – зерновые + люцерна, 2, 3 – люцерна, 4 – рис, 5 – рис, 6 – мелиоративное поле (суданская трава), 7 – рис, 8 – рис.

Пригородная зона.

Семипольный севооборот: 1 – зерновые + люцерна, 2, 3 – люцерна, 4 – кукуруза на, силос (или зерно), 5 – озимая рожь на зеленый корм + пожнивные (кукуруза и другие), 6 – кормовые корнеплоды или однолетние травы, 7 – кукуруза, сорго или их смеси на силос.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ф

Данные для расчета режима орошения

Таблица Ф.1 – Водно-биологические характеристики сельскохозяйственных культур

Наименование культуры	Глубина активного слоя почвы, м (h)	Коэффициент суммарного водопотребления, м ³ /т (К)	Доля от наименьшей влагоемкости (от у,)		Коэффициент использования осадков (р)	
			Предполивная влажность (у,)	Начальная влажность (у,)	Для зоны недостаточного увлажнения	Для засушливой зоны
1	2	3	4	5	6	7
Озимая пшеница	0,7	1000	0,75	1	0,65	0,40
Озимая рожь	0,7	1000	0,75	1	0,65	0,40
Яровая пшеница	0,7	1100	0,75	0,95	0,65	0,40
Ячмень	0,7	1100	0,75	0,95	0,65	0,40
Овёс	0,7	1100	0,75	0,95	0,60	0,35
Просо	0,6	1100	0,75	0,90	0,70	0,40
Горох	0,7	1300	0,75	0,95	0,60	0,35
Соя	0,7	700	0,75	0,90	0,60	0,35
Кукуруза на зерно	0,8	700	0,75	0,90	0,65	0,40
Кукуруза на силос	0,8	100	0,75	0,90	0,65	0,40
Гречиха	0,7	1100	0,75	0,90	0,60	0,35
Подсолнечник	0,7	1000	0,75	0,95	0,65	0,40
Сахарная свёкла	0,6	150	0,75	0,90	0,60	0,35
Картофель	0,6	150	0,75	0,90	0,60	0,50
Капуста	0,5	160	0,80	0,90	0,60	0,35
Помидоры	0,5	160	0,80	0,90	0,60	0,35
Огурцы	0,5	160	0,80	0,90	0,60	0,35
Лук на репку	0,5	160	0,80	0,90	0,60	0,35
Морковь	0,5	160	0,80	0,90	0,60	0,35
Люцерна на сено	1,0	500	0,75	1	0,65	0,40
Люцерна на зеленую массу	1,0	150	0,75	1	0,65	0,40

Продолжение таблицы Ф.1

1	2	3	4	5	6	7
Эспарцет на сено	1,0	500	0,75	1	0,60	0,35
Суданка на сено	0,6	500	0,75	0,90	0,70	0,40
Суданка на семена	0,6	450	0,75	0,90	0,70	0,40
Суданка на зелёную массу	0,6	200	0,75	0,90	0,70	0,40
Сорго на зерно	0,8	500	—	—	—	—
Клевер на сено	1,0	500	—	—	—	—
Вика на зерно	0,7	700	—	—	—	—

Таблица Ф. 2 – Метеорологические показатели по метеостанции Саратовской области

Месяц	Декада	Среднесуточный дефицит влажности воздуха, % (d)	Среднесуточная температура воздуха, ° С Т	Осадки, мм (А)	Поправочные коэффициенты для приведения среднесуточных температур воздуха к 12-часовой продолжительности светового дня (1)
Апрель	1	4,9	6,0	16,7	1,10
	2	9,8	8,6	7,0	1,15
	3	12,3	12,3	8,1	1,20
Май	1	15,3	16,1	5,6	1,26
	2	15,0	19,2	2,0	1,30
	3	16,0	19,2	1,6	1,33
Июнь	1	14,0	19,8	7,0	1,36
	2	15,0	21,7	4,3	1,37
	3	17,0	22,6	1,3	1,38
Июль	1	18,5	23,8	25,3	1,37
	2	15,5	23,7	13,7	1,34
	3	14,5	22,2	17,0	1,31
Август	1	17,5	23,2	5,0	1,27
	2	12,5	20,0	15,7	1,22
	3	22,0	23,1	0,0	1,17
Сентябрь	1	7,0	16,7	15,3	1,12
	2	7,6	16,7	8,0	1,07
	3	6,7	13,2	7,0	1,02
Октябрь	1	3,6	7,1	5,7	–
	2	2,8	7,0	10,0	–
	3	2,0	3,0	7,7	–

Таблица Ф.3 – Водно-физические свойства почв орошаемых районов
Саратовской области

Тип, подтип и гранулометрический состав почв	Глубина слоя, м	Плотность почвы, г/см ³ (а)	Наименьшая влагоемкость, % (Г _и)
1	2	3	4
1 Чернозём обыкновенный тяжелосуглинистый	0,5	1,23	32,2
	0,6	1,27	32,2
	0,7	1,31	31,1
	0,8	1,35	30,0
	1,0	1,40	27,0
2 Чернозём обыкновенный суглинистый	0,5	1,18	26,5
	0,6	1,22	26,1
	0,7	1,26	25,7
	0,8	1,30	25,2
	1,0	1,37	24,3
3 Чернозём обыкновенный глинистый	0,5	1,15	30,2
	0,6	1,18	29,2
	0,7	1,21	28,8
	0,8	1,25	28,4
	1,0	1,30	28,0
4 Чернозём обыкновенный карбонатный суглинистый	0,5	1,23	30,5
	0,6	1,29	28,5
	0,7	1,35	26,5
	0,8	1,41	24,2
	1,0	1,47	20,6
5 Чернозём южный маломощный суглинистый	0,5	1,30	24,8
	0,6	1,34	23,9
	0,7	1,38	23,0
	0,8	1,42	22,0
	1,0	1,48	20,2
6 Чернозём южный среднемощный легкосуглинистый	0,5	1,29	29,9
	0,6	1,31	29,4
	0,7	1,33	28,9
	0,8	1,36	28,4
	1,0	1,40	27,4
7 Чернозём южный карбонатный тяжелосуглинистый	0,5	1,13	29,4
	0,6	1,13	28,2
	0,7	1,14	27,4
	0,8	1,15	26,6
	1,0	1,16	25,1
8 Чернозём карбонатный тяжелосуглинистый	0,5	1, 13	29,4
	0,6	1,13	28,5
	0,7	1,14	27,6
	0,8	1,15	26,8
	1,0	1,16	25,1

Продолжение приложения Ф.3

1	2	3	4
9 Темно-каштановые глинистые	0,5	1,34	26,5
	0,6	1,36	27,8
	0,7	,38	27,1
	0,8	,40	26,4
	1,0	1,45	23,8
10 Темно-каштановые суглинистые	0,5	1,36	25,1
	0,6	1,37	24,9
	0,7	1,38	24,7
	0,8	1,40	24,5
	1,0	1,43	24,2
11 Темно-каштановые среднесуглинистые	0,5	1,37	23,7
	0,6	1,38	23,1
	0,7	1,39	22,5
	0,8	1,40	21,9
	1,0	1,43	21,5
12 Темно-каштановые тяжелосуглинистые	0,5	1,22	28,2
	0,6	1,37	27,6
	0,7	1,40	27,0
	0,8	1,43	26,4
	1,0	1,48	24,8
13 Каштановые глинистые	0,5	1,39	27,9
	0,6	1,42	27,2
	0,7	1,45	26,5
	0,8	1,48	25,8
	1,0	1,54	24,4
14 Каштановые суглинистые	0,5	1,33	25,8
	0,6	1,37	25,4
	0,7	1,38	25,0
	0,8	1,39	21,4
	1,0	1,41	24,0
15 Каштановые тяжелосуглинистые	0,5	1,29	28,3
	0,6	1,32	27,5
	0,7	1,35	26,7
	0,8	1,41	25,7
	1,0	1,46	24,1
16 Светло-каштановые глинистые	0,5	1,43	27,4
	0,6	1,46	26,4
	0,7	1,49	25,4
	0,8	1,52	24,4
	1,0	1,58	22,8
17 Светло-каштановые суглинистые	0,5	1,36	23,7
	0,6	1,39	23,0
	0,7	1,42	22,3
	0,8	1,45	21,6
	1,0	1,52	20,4

Продолжение приложения Ф.3

1	2	3	4
18 Светло-каштановые среднесуглинистые	0,5	1,31	26,1
	0,6	1,34	26,4
	0,7	1,37	25,7
	0,8	1,40	25,0
	1,0	1,46	23,4
19 Светло-каштановые тяжелосуглинистые солонцеватые	0,5	1,34	27,1
	0,6	1,37	26,5
	0,7	1,40	25,9
	0,8	1,43	25,2
	1,0	1,49	24,2

Таблица Ф.4 – Биоклиматические коэффициенты, мм/мб (К)

Сумма приведённых температур от всходов, °С		Озимая пшеница	Озимая рожь	Яровая пшеница	Ячмень	Овёс	Просо	Горох	Соя	Гречиха	Вика на зерно	Кукуруза на зерно	Кукуруза на силос	Подсолнечник	Сахарная свёкла	Картофель	Капуста	Помидоры	Огурцы	Лук на репку	Морковь	Люцерна на сено	Люцерна на з/массу	Эспарцет на сено	Суданка на сено	Суданка на семена	Суданка на з/массу	Сорго на зерно	Клевер на сено
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0	100	0,53	0,53	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	–	–	–	0,28	0,23	–	–	–	–	0,28	0,60	0,60	0,60	–	–	–	–	0,60
100	200	0,53	0,53	0,30	0,30	0,3	0,30	0,30	0,3	0,30	0,30	0,23	0,23	0,23	0,29	0,27	0,23	0,23	0,23	0,23	0,29	0,52	0,52	0,52	0,23	0,23	0,23	0,23	0,52
200	300	0,53	0,53	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,25	0,25	0,25	0,30	0,32	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,42	0,42	0,42	0,25	0,25	0,25	0,25	0,42
300	400	0,52	0,52	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,27	0,27	0,27	0,32	0,36	0,33	0,33	0,33	0,33	0,32	0,44	0,44	0,44	0,27	0,27	0,27	0,27	0,44
400	500	0,51	0,51	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,29	0,29	0,29	0,33	0,40	0,36	0,36	0,36	0,36	0,33	0,46	0,46	0,46	0,29	0,29	0,29	0,29	0,46
500	600	0,50	0,50	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,30	0,30	0,30	0,35	0,41	0,39	0,39	0,39	0,39	0,35	0,48	0,48	0,48	0,30	0,30	0,30	0,30	0,48
600	700	0,49	0,49	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,31	0,31	0,31	0,36	0,44	0,43	0,43	0,43	0,43	0,36	0,52	0,52	0,52	0,31	0,31	0,31	0,31	0,52
700	800	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,34	0,34	0,34	0,37	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,37	0,54	0,54	0,54	0,34	0,34	0,34	0,34	0,54
800	900	0,45	0,45	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,36	0,36	0,36	0,38	0,47	0,50	0,50	0,50	0,50	0,38	0,52	0,52	0,52	0,36	0,36	0,36	0,36	0,52
900	1000	0,43	0,43	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,38	0,38	0,38	0,39	0,47	0,52	0,52	0,52	0,52	0,39	0,42	0,42	0,42	0,38	0,38	0,38	0,38	0,42
1000	1100	0,42	0,42	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,39	0,39	0,39	0,40	0,46	0,53	0,53	0,53	0,53	0,40	0,44	0,44	0,44	0,39	0,39	0,39	0,39	0,44
1100	1200	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,4	0,45	0,53	0,53	0,53	0,53	0,41	0,46	0,46	0,46	0,41	0,41	0,41	0,41	0,46
1200	1300	0,37	0,37	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,42	0,42	0,42	0,42	0,44	0,52	0,52	0,52	0,52	0,42	0,52	0,52	0,52	0,42	0,42	0,42	0,42	0,52
1300	1400	0,34	0,34	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,44	0,44	0,44	0,43	0,42	0,50	0,50	0,50	0,50	0,43	0,53	0,53	0,53	0,44	0,44	0,44	0,44	0,53
1400	1500	0,30	0,30	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,45	0,45	0,45	0,45	0,39	0,47	0,47	0,47	0,47	0,45	0,53	0,53	0,53	0,45	0,45	0,45	0,45	0,53
1500	1600	0,26	0,26	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,48	0,48	0,48	0,46	0,37	0,45	0,45	0,45	0,45	0,46	0,42	0,42	0,42	0,48	0,48	0,48	0,48	0,42
1600	1700	0,23	0,23	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,49	0,49	0,49	0,47	0,35	0,42	0,42	0,42	0,42	0,47	0,43	0,43	0,43	0,49	0,49	0,49	0,49	0,43
1700	1800	0,19	0,19	–	–	–	–	–	–	–	–	0,49	0,49	0,49	0,48	0,35	0,40	0,40	0,40	0,40	0,48	0,45	0,45	0,45	0,49	0,49	0,49	0,49	0,45
1800	1900	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,48	0,48	0,48	0,49	0,31	0,39	0,39	0,39	0,39	0,49	0,47	0,47	0,47	0,48	0,48	0,48	0,48	0,47
1900	2000	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,46	0,46	0,46	0,49	0,30	0,38	0,38	0,38	0,38	0,49	0,49	0,49	0,49	0,46	0,46	0,46	0,46	0,49

Продолжение таблицы Ф.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2000	2100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,45	0,45	0,45	0,50	0,28	0,37	0,37	0,37	0,37	0,50	0,51	0,51	0,51	0,45	0,45	0,45	0,45	0,51
2100	2200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,43	0,43	0,43	0,49	0,27	0,37	0,37	0,37	0,37	0,49	0,52	0,52	0,52	0,43	0,43	0,43	0,43	0,52
2200	2300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,40	0,40	0,40	0,48	0,25	0,36	0,36	0,36	0,36	0,48	0,52	0,52	0,52	0,40	0,40	0,40	0,40	0,52
2300	2400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,37	0,37	0,37	0,47	—	0,35	0,35	0,35	0,35	0,47	0,42	0,42	0,42	0,37	0,37	0,37	0,37	0,42
2400	2500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,35	0,35	0,35	0,45	—	0,35	0,35	0,35	0,35	0,45	0,44	0,44	0,44	0,35	0,35	0,35	0,35	0,44
2500	2600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,32	0,32	0,32	0,45	—	0,35	0,35	0,35	0,35	0,45	0,46	0,46	0,46	0,32	0,32	0,32	0,32	0,46
2600	2700	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,29	0,29	0,29	0,43	—	0,34	0,34	0,34	0,34	0,43	0,48	0,48	0,48	0,29	0,29	0,29	0,29	0,48
2700	2800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,26	0,26	0,26	0,42	—	0,33	0,33	0,33	0,33	0,42	0,49	0,49	0,49	0,26	0,26	0,26	0,26	0,49
2800	2900	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,25	0,25	0,25	0,41	—	0,33	0,33	0,33	0,33	0,41	0,51	0,51	0,51	0,25	0,25	0,25	0,25	0,51
2900	3000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,52	0,52	0,52	—	—	—	—	0,52
3000	3100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,52	0,52	0,52	—	—	—	—	0,52
3200	3300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,42	0,42	0,42	—	—	—	—	0,42

ПРИЛОЖЕНИЕ X

Виды минеральных удобрений

Вид удобрения	Содержание д. в., %
Фосфорные удобрения	
	P_2O_5
Фосфоритная мука	18–26
Суперфосфат порошкообразный	14–18,7
Суперфосфат гранулированный	19,5–21
Суперфосфат аммонизированный из фосфоритов Каратау	(13–13,5) + 1,5 % N
Суперфосфат аммонизированный из апатитового концентрата	(19–19,5) + 1,5 % N
Двойной суперфосфат	44–48
Обогащенный суперфосфат	22–24
Преципитат	32–40
Томасшлак	14–18
Фосфаты обесфторенные из апатита	36–39
Полусуперфосфат (смесь суперфосфата и фосфоритной муки)	20
Фосфорная кислота	24–72,5
Калийные удобрения	
	K_2O
Хлористый калий	60–62
Каинит	10–16
Сильвинит	Не менее 14
Карналлит	12–13
Смешанные соли	30–40
Сернокислый калий	48–52
Калимагнезия	36–42
Цементная калийная пыль	10–15
Азотные удобрения	
	N
Аммиак безводный	82
Аммиачная вода	20–21
Аммиачная селитра	35
Мочевина	45–46
Сульфат аммония	20–21
Хлористый аммоний	24–26
Кальциевая селитра	14–15,5
Натриевая селитра	15–16
Цианамид кальция	18–26
Комплексные удобрения (сложные и смешанные)	
	Содержание питательных веществ
Аммофос	(47–51) P_2O_5 + (10–12) NH_3
Диаммофос	(50–54) P_2O_5 + (18–21) NH_3
Нитрат калия	14,8 N + 46,6 K_2O
Нитрофос	16 P_2O_5 + 23 N
Нитрофоска	12 P_2O_5 + 12 N + 12 K_2O
Нитрофоска	16 P_2O_5 + 16 N + 16 K_2O
Карбоаммофоска	17 P_2O_5 + 17 N + 17 K_2O
Суперфосфат, содержащий микроэлементы (B, Cu, Mo и др.)	
Удобрение AVA, содержит микроэлементные добавки (B, Fe, Mn и др.)	(48–55) P_2O_5 + (14–25) K_2O

ПРИЛОЖЕНИЕ Ц

Данные для расчета стоимостной оценки эколого-экономического результата восстановления плодородия почв

Таблица Ц. 1 – Коэффициенты перевода вносимых органических удобрений
в постилочный навоз

Удобрение	Коэффициент K_o	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 свией	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
Сапропель	0,25	1,80–2,00
Солома	3,40	0,06–0,07
Сидераты (люпин, сараделла)	0,80	1,00–1,80
Торфо-навозная смесь (1 : 1)	1,35	1,20–1,30
Торфо-навозная смесь (1 : 2)	1,20	1,10–1,20
Торфо-минеральное 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 Ц.2 – Образование гумуса из подстилочного навоза

Тип почвы	Е – процент образования гумуса из подстилочного навоза	Кк – коэффициент, учиты- вающий качество гумуса ППМ
Дерно-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 III

Исходный текст программы для ЭВМ «Определение агрометрических мероприятий по показателям свойств почв»

Входные данные:

Данные показателей свойств почв

Выходные данные:

Агрометрические мероприятия

Исходный код:

файл

```
<?php
```

```
namespace monitoring;
```

```
class Calc {
```

```
    const HEIGHT = 30;
```

```
    function __construct() {
```

```
        add_shortcode( 'calc', array( $this, 'calc' ) );
```

```
        add_action( 'wp_ajax_calc', array( $this, 'calculate_it' ) );
```

```
        add_action( 'wp_ajax_nopriv_calc', array( $this, 'calculate_it' ) );
```

```
    }
```

```
    /*
```

```
     * Шорткод отрисовки калькулятора
```

```
    */
```

```
    function calc( $args ) {
```

```
        ob_start();
```

```
        get_template_part( 'template-parts/calc/' . $args['name'] );
```

```
        return ob_get_clean();
```

```
    }
```

```
    /*
```

```
     * Основная функция подсчета
```

```
    */
```

```
    function calculate_it() {
```

```
        $method = $_POST['type'];
```

```
        if ( ! method_exists( $this, "calculate_{$method}" ) ) {
```

```
            self::gen_error( 404, 'Method not exists' );
```

```
        }
```

```
        $data = call_user_func( array( $this, "calculate_{$method}" ), $_POST );
```

```

    self::gen_response( $data );
}

/*
 * Обертка для получения числа с плавающей точкой
 */
function get_post_float( $name ): float {
    return (float) $_POST[ $name ] ?? 0;
}

/*
 * 1. Степень и тип засоления (по данным водной вытяжки)
 *
 * Входные данные:
 * $var['ph'] float pH
 * $var['cl'] float Cl | ммоль/100 г почвы
 * $var['so'] float SO4 | ммоль/100 г почвы
 * $var['hco'] float HCO3 | ммоль/100 г почвы
 * $var['ca'] float Ca | ммоль/100 г почвы
 * $var['mg'] float Mg | ммоль/100 г почвы
 * $var['sum'] float Сумма ионов
 *
 */
function calculate_salinity_type( $var ): array {
    $s = $var['cl'] / $var['so'];

    if ( $var['ph'] < 8.5 ) {
        if ( $s > 1 ) {
            $level = $var['sum'] > .4 ? 'high' : ( $var['sum'] >= .2 ? 'medium' : 'low' );
            $type = 'Хлоридный, сульфатно-хлоридный';
        } elseif ( $s < .2 ) {
            $level = $var['sum'] > .8 ? 'high' : ( $var['sum'] >= .6 ? 'medium' : 'low' );
            $type = 'Сульфатный';
        } else {
            $level = $var['sum'] > .6 ? 'high' : ( $var['sum'] >= .4 ? 'medium' : 'low' );
            $type = 'Хлоридно-сульфатный';
        }
    } else {
        if ( $var['hco'] >= $var['ca'] + $var['mg'] ) {
            if ( $s >= 1 ) {
                $level = $var['sum'] > .3 ? 'high' : ( $var['sum'] >= .2 ? 'medium' : 'low' );
                $type = 'Хлоридно-содовый';
            } else {
                $level = $var['sum'] > .4 ? 'high' : ( $var['sum'] >= .25 ? 'medium' : 'low' );
                $type = 'Сульфатно-содовый';
            }
        } else {
            $level = $var['sum'] > .5 ? 'high' : ( $var['sum'] >= .4 ? 'medium' : 'low' );
            $type = 'Сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный';
        }
    }
}

```

```

$data['result']['type'] = $type;

switch ( $level ) {
    case 'high':
        $data['class'] = 'bg-red-200';
        $data['result']['p'] = 'Степень засоления: Сильная';
        $data['result']['recommendation'] = "Рыхление + химическая мелиорация + про-
мывка или фитомелиорация.";
        break;
    case 'medium':
        $data['class'] = 'bg-yellow-200';
        $data['result']['p'] = 'Степень засоления: Средняя';
        $data['result']['recommendation'] = 'Рыхление + химическая мелиорация + ороше-
ние.';
        break;
    case 'low':
        $data['class'] = 'bg-green-200';
        $data['result']['p'] = 'Степень засоления: Низкая';
    }

    return $data ?? array();
}

/*
* 2. Солонцеватость
*
* Входные данные:
* $var['ca'] float Ca | ммоль/100 г почвы
* $var['mg'] float Mg | ммоль/100 г почвы
* $var['na'] float Na | ммоль/100 г почвы
* $var['d'] float Плотность сложения почвы | т/м3
* $var['p'] float Чистого гипса в глиногипсе (фосфогипсе) | %
*
*/

function calculate_solonetsiness( $var ): array {
    $p_na = $var['na'] / ( $var['ca'] + $var['mg'] + $var['na'] ) * 100;
    $p_mg = $var['mg'] / ( $var['ca'] + $var['mg'] + $var['na'] ) * 100;

    $k = 100 / $var['p'];

    $recommendation = 'Оптимальный срок внесения мелиорантов – ранняя осень. Сы-
пучие мелиоранты вносят разбрасывателями минеральных удобрений типа МВУ-5,
МВУ-6 и др.
Для разбрасывания удобрительно-мелиорирующих смесей и компостов из-за боль-
ших доз используются разбрасыватели органических удобрений.';

    if ( $p_mg >= 20 ) {
        $d = .086 * ( $var['na'] + ( $var['mg'] - .03 * ( $var['ca'] + $var['mg'] + $var['na'] ) ) ) *
self::HEIGHT * $var['d'];

        $data['class'] = 'bg-red-200';

```

```

    $data['result'] = array(
        'p'      => 'Необходима химическая мелиорация: гипсование',
        'd'      => round( $d, 3 ),
        'recommendation' => $recommendation,
    );
} else {
    if ( $p_na >= 5 ) {
        $d = .086 * $var['na'] * self::HEIGHT * $var['d'];
        $d_f = .086 * $var['na'] * self::HEIGHT * $var['d'] * $k;

        $data['class'] = 'bg-red-200';
        $data['result'] = array(
            'p'      => 'Необходима химическая мелиорация: гипсование',
            'd'      => round( $d, 3 ),
            'd_f'    => round( $d_f, 3 ),
            'recommendation' => $recommendation,
        );
    }
}

return $data ?? array();
}

/*
 * 3. Щелочность
 *
 * Входные данные:
 * $var['hco'] float HCO3 | ммоль/100 г почвы
 * $var['ca'] float Ca (по данным водной вытяжки) | ммоль/100 г почвы
 * $var['ca_real'] float Ca обменный | ммоль/100 г почвы
 * $var['na'] float Na (по данным водной вытяжки) | ммоль/100 г почвы
 * $var['na_real'] float Na обменный | ммоль/100 г почвы
 * $var['mg'] float Mg (по данным водной вытяжки) | ммоль/100 г почвы
 * $var['mg_real'] float Mg обменный | ммоль/100 г почвы
 * $var['d'] float Плотность сложения почвы | т/м3
 * $var['p'] float Чистого гипса в глиногипсе (фосфогипсе) | %
 * $var['k'] float Поправочный коэффициент
 *
 */
function calculate_alkalinity( $var ): array {
    $t = $var['ca_real'] + $var['na_real'] + $var['mg_real'];
    $k = 100 / $var['p'];
    $h = self::HEIGHT;

    $sch = ( $var['na'] < $var['hco'] - $var['ca'] && $var['hco'] - $var['ca'] - $var['na'] >=
    $var['mg'] )
        ? $var['hco'] - $var['ca'] + $var['na'] + $var['mg']
        : ( $var['hco'] - $var['ca'] ) * 2;

    if ( $sch >= 1 && $sch <= 1.6 ) {
        $r = .086 * $var['na_real'] * $h * $var['d'];
        $d_f = .086 * $var['na_real'] * $h * $var['d'] * $k;
    }
}

```

```

$data['class'] = 'bg-red-200';
$data['result'] = array(
    'p'          => 'Необходима химическая мелиорация: гипсование',
    'r'          => 'Доза гипса - ' . round( $r, 3 ),
    'd_f'        => round( $d_f, 3 ),
    'recommendation' => 'Оптимальный срок внесения мелиорантов – ранняя
осень. Сыпучие мелиоранты вносят разбрасывателями минеральных удобрений ти-
па МВУ-5, МВУ-6 и др.
Для разбрасывания удобрительно-мелиорирующих смесей и компостов из-за боль-
ших доз используются разбрасыватели органических удобрений.',
);
} else {
    if ( $sch >= 1.6 ) {
        $r = .086 * ( ( $var['na_real'] - .05 * $t ) + $sch ) * $h * $var['d'] * (float) $var['k'];

        $data['class']      = 'bg-red-200';
        $data['result']      = array(
            'p'              => 'Необходимо кислование',
            'r'              => $r ? 'Доза выбранного мелиоранта - ' . round( $r, 3 ) : '',
            'recommendation' => 'Кислование нейтрализует щелочность посредством вне-
сения кислых химических веществ: серной кислоты, отработанной серной кислоты,
серы, сульфата железа, сульфата алюминия и др. Жидкие мелиоранты доставляются
на поле в толстостенных цистернах. После разбавления рассеивают автомобильным
РЖУ-3.6 и др. Или их сливают в специальную емкость, расположенную ниже водо-
выпуска, и тонкой струей кислота подается в оросительную воду. Для поддержания
заданной концентрации раствора устанавливается автоматический дозатор. Сыпу-
чие известковые мелиоранты вносятся разбрасывателями удобрений.',
        );
        $data['remove_class'] = 'hidden';
    }
}

return $data ?? array();
}

/*
 * 4. Гидролитическая кислотность
 *
 * Входные данные:
 * $var['h'] float Гидролитическая кислотность | ммоль-экв./100 г почвы
 * $var['d'] float Плотность сложения почвы | т/м3
 */
function calculate_hydrolytic_acidity( $var ): array {
    $h = self::HEIGHT / 100;

    if ( $var['h'] > 4 ) {
        $r = 5 * $var['h'] * $h * $var['d'];

        $data['class'] = 'bg-red-200';
        $data['result'] = array(

```

```

        'p' => 'Необходима химическая мелиорация: Известкование',
        'r' => round( $r, 3 ),
    );
}

return $data ?? array();
}

/*
* 5. Наличие карбонатов кальция и гипса
*
* Входные данные:
* $var['caco'] float Карбонат кальция | % в слое до 40 см
* $var['caso'] float Гипс | % в слое до 40 см
*
*/
function calculate_carbonates_gypsum( $var ): array {
    if ( $var['caco'] > 3 || $var['caso'] > .3 ) {
        $data['class'] = 'bg-red-200';
        $data['result'] = array(
            'p'          => 'Необходимы мелиоративные обработки',
            'recommendation' => 'Мелиоративные обработки проводятся с целью самомелиорации при наличии в 0–40 см слое карбонатов кальция CaCO3 более 3% и гипса CaSO4 более 0,3 %. Для вовлечения солей кальция в мелиорируемый слой используют плантажную, ярусную вспашку и внутривспашечную роторную обработку. Обработка более экологична и создает более однородный плодородный слой. Мелиоративные обработки осуществляются плантажным или трехъярусным плугом, роторным агромиелоративным орудием.'
        );
    }

    return $data ?? array();
}

/*
* 6. Плотность сложения почвы
*
* Входные данные:
* $var['p'] float Плотность сложения почвы в пахотном горизонте | т/м3
*
*/
function calculate_density_of_soil( $var ): array {
    if ( $var['p'] > 1.4 ) {
        $data['class'] = 'bg-red-200';
        $data['result'] = array(
            'p'          => 'Глубокое рыхление <br>(в случае отсутствия CaSO4, CaCO3)',
            'recommendation' => 'Глубокое рыхление (глубокая вспашка) осуществляется при уплотнении слоев глубже 35-40 см до плотности сложения почв более 1,4 т/м3. На старопашотных почвах с мощностью гумусового слоя более 50 см предпочтительнее плантажная вспашка на глубину 40-45 см. При укороченном (менее 40 см) гумусовом горизонте глубокую вспашку лучше заменить глубоким рыхлением с почвоуглублением до 40-60 см. Периодичность глубокой вспашки составляет 3-4 года, а глубокого

```

рыхления – 2-3 года.

Плантажная или глубокая вспашки проводятся плугом ППН-40, ПРПВ-5-50, ПРПВ-8-50, а глубокое объемное рыхление – рыхлителями РГ-0,5, РГ-0,8, чизельным плугом – глубокорыхлителем ПЧ-4,5, глубокорыхлителями серии «Кама» и «Муромец» и др.',

```
);  
} elseif ( $var['p'] >= 1.3 ) {  
    $data['class'] = 'bg-yellow-200';  
    $data['result'] = array(  
        'p'          => 'Обогащение органическим веществом и основная обработка',  
        'recommendation' => 'Для предотвращения истощения почв необходимо вносить различные виды органических удобрений: отходы животноводства (навоз КРС и свиней), птицеводства (птичий помет), а также торф и торфокомпосты, сапропели, твердые бытовые отходы. Они должны быть соответственно подготовлены. Посев растений, зеленая масса которых запахивается в почву, обогащает ее органическим веществом (сидерация).
```

Дозы органических удобрений – 30-40 т/га. Но на глинистых почвах эта доза вносится однократно осенью. На песчаных почвах, чтобы снизить промываемость питательных элементов, находящихся в органических удобрениях, их делят на две части. Одну вносят осенью под вспашку на глубину 22–25 см, другую весной под культивацию на глубину 12–15 см.',

```
);  
}
```

```
return $data ?? array();  
}
```

```
/*
```

```
 * 7. Органическое вещество (гумус)
```

```
 *
```

```
 * Входные данные:
```

```
 * $var['h'] float Гумус | %
```

```
 *
```

```
 */
```

```
function calculate_humus( $var ): array {
```

```
    if ( $var['h'] < 4 ) {
```

```
        $data['class'] = 'bg-red-200';
```

```
        $data['result'] = array(  
            'p'          => 'Требуется обогащение почв органическим веществом',  
            'recommendation' => 'Для предотвращения истощения почв необходимо вносить различные виды органических удобрений: отходы животноводства (навоз КРС и свиней), птицеводства (птичий помет), а также торф и торфокомпосты, сапропели, твердые бытовые отходы. Они должны быть соответственно подготовлены. Посев растений, зеленая масса которых запахивается в почву, обогащает ее органическим веществом (сидерация).
```

Дозы органических удобрений – 30-40 т/га. Но на глинистых почвах эта доза вносится однократно осенью. На песчаных почвах, чтобы снизить промываемость питательных элементов, находящихся в органических удобрениях, их делят на две части. Одну вносят осенью под вспашку на глубину 22–25 см, другую весной под культивацию на глубину 12–15 см.'

```
);  
}
```

```

    return $data ?? array();
}

/*
 * Генератор ошибки запроса к калькулятору
 */
function gen_error( $code, $message = '' ) {
    wp_send_json( array(
        'success' => false,
        'message' => $message
    ), $code );
}

/*
 * Генератор ответа на запрос к калькулятору
 */
function gen_response( $data ) {
    $data['result']['p'] = $data['result']['p'] ? 'Мероприятий не требуется';
    $data['message']     = $data['message'] ? '' ;

    wp_send_json( $data, 200 );
}
}

new Calc;

```

Приложение Щ
Экспертные заключения

ЭКСПЕРТНОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

на выполнение прикладных научных исследований и экспериментальных разработок по теме: «Исследования и оценка уровня изменения плодородия почв при длительном орошении с использованием ресурсосберегающих технологий и разработка мероприятий по повышению почвенного плодородия» по государственному контракту № 211/20-ГК от 11 ноября 2019 г (по 3 этапу за 2021 год)

Длительное орошение вызвало наиболее значительные преобразования природных почвенных режимов и процессов, а также связанных с ними основных свойств почв. Эти изменения редко проявляются по отдельности, а значительно чаще несколько признаков меняются одновременно. Кроме этого прослеживается ухудшение экологической обстановки территории. Отмечается нарастание ряда негативных процессов на мелиорированных землях, возросли площади неиспользуемых земель, в том числе по причине засоления и заболачивания. Имеет место снижение продуктивности сельскохозяйственных культур, их несоответствие проектной урожайности.

Основной задачей на современном этапе орошаемого земледелия является сохранение имеющегося агромелиоративного потенциала почв за счет проведения комплекса агромелиоративных мероприятий, которые станут основой рационального использования поливных участков, направленных на сохранение и расширенное воспроизводство почвенного плодородия. В связи с этим разработка рекомендаций по проведению комплекса агромелиоративных приемов, обеспечивающих повышение почвенного плодородия, повышение продуктивности сельскохозяйственных культур и экономное расходование материальных ресурсов на орошаемых землях является актуальной.

В документе представлена система показателей для управления плодородием почв, разработанная на основе комплексного учета и оценки агроресурсного потенциала орошаемых почв, включающего систему показателей оценки почвенных деградационных процессов орошаемых почв и диагностические шкалы для обоснования комплексных мероприятий по улучшению мелиоративного состояния почв.

Мелиоративные мероприятия должны проводиться в соответствии с требованиями и ограничениями, чему и посвящен целый раздел представленных рекомендаций. Рассмотрены требования к выбору технологии орошения, к проведению химической мелиорации, к севооборотам, режимам орошения, к агрохимическим мероприятиям и т. д.

В комплексе агромелиоративных и агротехнических мероприятий

Экспертное заключение

на выполнение прикладных научных исследований и экспериментальных разработок по теме: «Исследования и оценка уровня изменения плодородия почв при длительном орошении с использованием ресурсосберегающих технологий и разработка мероприятий по повышению почвенного плодородия» по государственному контракту № 211/20-ГК от 11 ноября 2019 г. (по 3 этапу за 2021 год)

Основные площади орошаемых земель сосредоточены в Южном, Северо-Кавказском и Приволжском федеральных округах. Анализ состояния длительно орошаемых земель диктует необходимость принятия не только кардинальных мер по восстановлению их плодородия, но и требует иного подхода к мероприятиям по стабилизации свойств почв, особенно при поливах слабоминерализованными водами неудовлетворительного качества.

Цель работы на данном этапе и состояла в разработке «Рекомендаций по проведению комплекса агромелиоративных приемов, обеспечивающих повышение почвенного плодородия, повышение продуктивности сельскохозяйственных культур и экономное расходование материальных ресурсов на орошаемых землях». Но, так как орошением охвачен практически весь зональный ряд, то исследовались типы почв – от серых лесных до бурых полупустынных. Почвы, сформированные в различных климатических зонах, имеют свои особенности, характеризуются различными свойствами и по-разному реагируют на воздействие поливной воды. С этих позиций, после установления влияния длительного орошения на эколого-мелиоративное состояние и почвенное плодородие на различные типы почв, разработаны «Методика оценки уровня агресурсного потенциала почв при длительном орошении», включающая «Методику проведения оценки изменения состояния длительно орошаемых земель при их многолетнем сельскохозяйственном использовании» и «Методику составления шкал оценки агропроизводительной способности почв и эколого-мелиоративного состояния длительно орошаемых почв», что позволило дать правильную оценку изменениям свойств почв и выработать «Требования и ограничения к мероприятиям для повышения почвенного плодородия длительно орошаемых земель».

Выше перечисленные материалы явились основой для разработки комплекса агромелиоративных мероприятий по восстановлению почвенного плодородия, включающего такие мероприятия как оптимальный УГВ, почвенные мелиорации, почвозащитные мероприятия для борьбы с

ирригационной эрозией, а также агротехнические мероприятия по сохранению и повышению почвенного плодородия длительно орошаемых земель, охватывающих севообороты, способы обработки почв, режимы орошения сельскохозяйственных культур и системы удобрений.

Все предложенные мероприятия подтверждены расчетами экологического и экономического эффектов.

Для недопущения проявления негативных процессов на орошаемых землях проведен прогноз проведения агромелиоративных мероприятий для различных типов почв при изменении их свойств и, в целом, эколого-мелиоративного состояния.

Разработанные «Рекомендации ...» завершены программой для ЭВМ по определению проведения агромелиоративных мероприятий.

Представленный отчет имеет логически заверченный вид, на современном этапе актуален, содержит новизну.

Считаем, что работа заслуживает положительной оценки и рекомендуется к утверждению.

Зав. кафедрой «Почвоведения,
орошаемого земледелия и геодезии»,
Новочеркасского инженерно-мелиоративного института
им. Кортунова, филиал
ФГБОУ ВО Донской ГАУ (НИМИ ДонГАУ),
д-р с.-х. наук, профессор, лауреат премии
Правительства РФ в области
науки и техники

Е. В. Полуэктов

Подпись Е. В. Полуэктова удостоверяю:
Ученый секретарь Ученого Совета

В. Н. Полякова



Приложение Э
Выписка из протокола заседания Ученого совета

15 октября 2021 г.

№ 19

СЛУШАЛИ: сообщение зам. директора по науке в области мелиорации, д-ра техн. наук Ю. Е. Домашенко о содержании заключительного отчета о НИР «Рекомендации по проведению комплекса агро-мелиоративных приемов, обеспечивающих повышение почвенного плодородия, повышение продуктивности сельскохозяйственных культур и экономное расходование материальных ресурсов на орошаемых землях» темы государственного контракта от 11 ноября 2019 г. № 211/20-ГК «Исследования и оценка уровня изменения плодородия почв при длительном орошении с использованием ресурсосберегающих технологий и разработка мероприятий по повышению почвенного плодородия».

Отчет содержит методику оценки уровня агоресурсного потенциала почв при длительном орошении; требования и ограничения к мероприятиям по повышению почвенного плодородия орошаемых земель и комплекс агро-мелиоративных и агротехнических приемов, обеспечивающих повышение почвенного плодородия. Определена экономическая эффективность мероприятий и прогноз необходимости их проведения при длительном орошении на различных типах почв.

ПОСТАНОВИЛИ: заключительный отчет по государственному контракту от 11 ноября 2019 г. № 211/20-ГК утвердить.

Председатель Ученого совета,
канд. воен. наук.

Ученый секретарь,
канд. техн. наук



Р. С. Масный

Е. Н. Штанько