

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

Департамент мелиорации

Министерство сельского хозяйства Волгоградской области

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«РОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПРОБЛЕМ МЕЛИОРАЦИИ»

**КОМПЛЕКС МЕРОПРИЯТИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ
НА СОХРАНЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОЧВЕННОГО
ПЛОДОРОДИЯ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ ОРОШЕНИИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР
В ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Новочеркасск

РосНИИПМ

2015

УДК 631.452:631.67«5»

ББК 40.3

К 637

К 637 Комплекс мероприятий, направленных на сохранение и восстановление почвенного плодородия при циклическом орошении сельскохозяйственных культур в Волгоградской области. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. – 76 с.

ISBN 978-5-906785-23-7

АВТОРЫ:

ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» – В. Н. Щедрин, Г. Т. Балакай, С. М. Васильев, Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова, А. В. Акопян;

Волгоградский филиал ФГБНУ «ВНИИГиМ» – В. В. Бородычев, М. Н. Лытов, А. В. Майер;

Комитет сельского хозяйства Волгоградской области – Ю. И. Кружилин, В. В. Иванов, С. А. Машакарян.

Издание предназначено для руководителей и специалистов сельхозпредприятий, научных сотрудников, аспирантов, студентов сельскохозяйственных учебных заведений.

Рассмотрено и утверждено на заседании отраслевой секции по мелиорации научно-технического совета по агропромышленному комплексу и природопользованию Министерства сельского хозяйства Волгоградской области, протокол № 1 от 7 августа 2014 года.

УДК 631.452:631.67«5»

ББК 40.3

ISBN 978-5-906785-23-7

© ФГБНУ «РосНИИПМ», 2015

Содержание

1	Организация системы циклического орошения	4
1.1	Элементы системы циклического орошения	6
1.2	Критериальные показатели для установления орошаемого и неорошаемого режимов при циклическом орошении	9
1.3	Конструкции оросительных систем и техника полива при циклическом орошении	15
2	Комплекс мероприятий, направленных на восстановление почвенного плодородия при циклическом орошении.....	18
2.1	Химическая мелиорация	18
2.2	Комплексная мелиорация.....	22
2.3	Особенности мелиорации земель с комплексным почвенным покровом.....	25
3	Мероприятия, направленные на регулирование почвенного плодородия при циклическом орошении.....	26
3.1	Приемы снижения уровня грунтовых вод.....	26
3.2	Приемы оптимизации гумусного состояния и питательного режима почв	29
4	Подбор культур для севооборотов, осваиваемых в условиях циклического орошения.....	38
5	Периодичность полива сельскохозяйственных культур при циклическом орошении.....	57
6	Экономическая и экологическая эффективность применения циклического орошения.....	61
	Список использованных источников	68

1 Организация системы циклического орошения

Для разработки комплекса мероприятий при циклическом орошении важно знать условия естественной влагообеспеченности территорий, так как данный документ рекомендуется для черноземной зоны с недостаточным увлажнением.

Волгоградская область расположена на юге Европейской части России в зоне степей и частично полупустыни. Протяженность с севера на юг – 400 км, с запада на восток – 430 км. Разнообразие почвенно-климатических условий на обширной территории существенно влияет на использование земельного фонда в сельском хозяйстве [1].

В Волгоградской области по классификации Н. В. Данильченко [2] вся зона распространения черноземных почв в Волгоградской области относится к степной. Коэффициент природного увлажнения, вычисленный по предложенной им формуле, для большей части рассматриваемой территории находится между 0,35 и 0,40. Исключение составляют Даниловский, часть Жирновского, Новоаннинского и Алексеевского районов, где коэффициент природного увлажнения территории меньше 0,35.

Степная зона черноземных почв области состоит из двух подзон:

- подзона обыкновенных и южных черноземов, включающая Киквидзенский, Нехаевский, Новоаннинский, Новониколаевский и Урюпинский районы;

- подзона южных черноземов, охватывающая Алексеевский, Даниловский, Еланский, Михайловский, Кумылженский и Руднянский районы.

Степная зона черноземных почв занимает более 28 % сельскохозяйственных угодий области, 31 % пахотных земель. Освоенность земель под пашню наиболее высокая – 76 %.

Черноземные почвы составляют основной фонд почвенного покрова степной зоны области. Это самые высокоплодородные почвы. Обыкновенные черноземы содержат гумуса от 6 до 7,5 %, а запасы его в метровом слое 350–500 т/га.

В южном черноземе содержится гумуса в пахотном горизонте 4,6–5,5 %, а в метровом слое 300–350 т/га. Мощность гумусового горизонта соответственно составляет 0,45–0,60 и 0,34–0,43 м. Преобладают почвы тяжелого механического состава, но встречаются и лег-

кие почвы, в основном в Алексеевском, Кумылженском и Урюпинском районах, требующие проведения противоэрозионных мероприятий. В поймах рек почвы слоистые, зернисто-слоистые, дерново-луговые. Из общей площади пашни третья часть подвержена водной эрозии и столько же дефляционно-опасных земель.

Запасы почвенной влаги на дату устойчивого перехода температуры воздуха через 10 °С в этой зоне наиболее велики. В метровом слое, в среднемноголетнем разрезе, содержится до 150 мм продуктивной влаги. Только в самой восточной части степной черноземной зоны запасы влаги в метровом слое почвы весной снижаются до 125 мм (Даниловка, Жирновск).

Гидротермический коэффициент рассматриваемой территории на большей части лежит между 0,7 и 0,8, на границе с Воронежской областью достигает 0,9. По классификациям Г. Т. Селянинова и С. А. Сапожниковой вся территория относится к засушливой зоне.

Коэффициент увлажнения, вычисленный по зависимости, предложенной Д. И. Шашко [3], в большей части степной зоны черноземных почв превышает 0,20, что относит ее к области недостаточного увлажнения с засушливым климатом.

Для рационального использования водных ресурсов, сохранения и восстановления почвенного плодородия черноземов Волгоградской области целесообразно применение циклического орошения, позволяющего ослабить воздействие негативных процессов на почвы путем введения орошаемых и неорошаемых режимов, а также обоснования приемов, ускоряющих восстановление плодородия почв [4–12].

При разработке «Комплекс мероприятий, направленных на сохранение и восстановление почвенного плодородия при циклическом орошении сельскохозяйственных культур в Волгоградской области» учтены основные положения, изложенные в соответствующих законодательных и нормативно-правовых документах, действующих в области охраны почв:

- ГОСТ 27593-88 Почвы. Термины и определения;
- ГОСТ 17.4.2.03-86 Охрана природы. Почвы. Паспорт почв;
- Федеральный закон от 10 января 1996 г. № 4-ФЗ «О мелиорации земель»;
- Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»;

- Федеральный закон от 16 июля 1998 г. № 101-ФЗ «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения»;

- Федеральный закон от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления»;

- Федеральный закон от 29 декабря 2006 г. № 264-ФЗ «О развитии сельского хозяйства»;

- Федеральная целевая программа «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 годы» (утв. постановлением Правительства РФ от 12 октября 2013 г. № 922).

1.1 Элементы системы циклического орошения

Для циклического вида орошения, включающего два режима освоения земель – неорошаемый и орошаемый (неорошаемая и орошаемая фазы), разработан блок необходимых агро-мелиоративных мероприятий (рисунок 1).

Обоснование выбора мероприятий должно начинаться с оценки состояния орошаемого массива. Для этих целей используются показатели и критерии состояния почв. Затем согласно критериям следует выбрать начальный и последующие режимы циклического орошения.

Если орошаемый массив подвергается переувлажнению, глубинному вторичному засолению и осолонцеванию в результате близкого залегания грунтовых вод (УГВ), его освоение следует начинать с неорошаемого режима с посевом культур, способствующих понижению УГВ, проведению мелиоративных обработок для снижения уплотнения почвы и улучшения аэрации, а также осуществить работы по строительству или реконструкции коллекторно-дренажной сети.

Если на участке грунтовые воды находятся глубже критических величин, но присутствуют поверхностная солонцеватость и щелочность, для ускорения восстановительных процессов по повышению плодородия почв необходимо проводить химическую и комплексную мелиорации. Они должны осуществляться при орошаемом режиме, поскольку в результате внесения химических мелиорантов получают продукты реакции, которые должны быть удалены из мелиорируемого слоя. Оросительная вода способствует быстрому их растворению и лучшей миграции вглубь по профилю почвы.

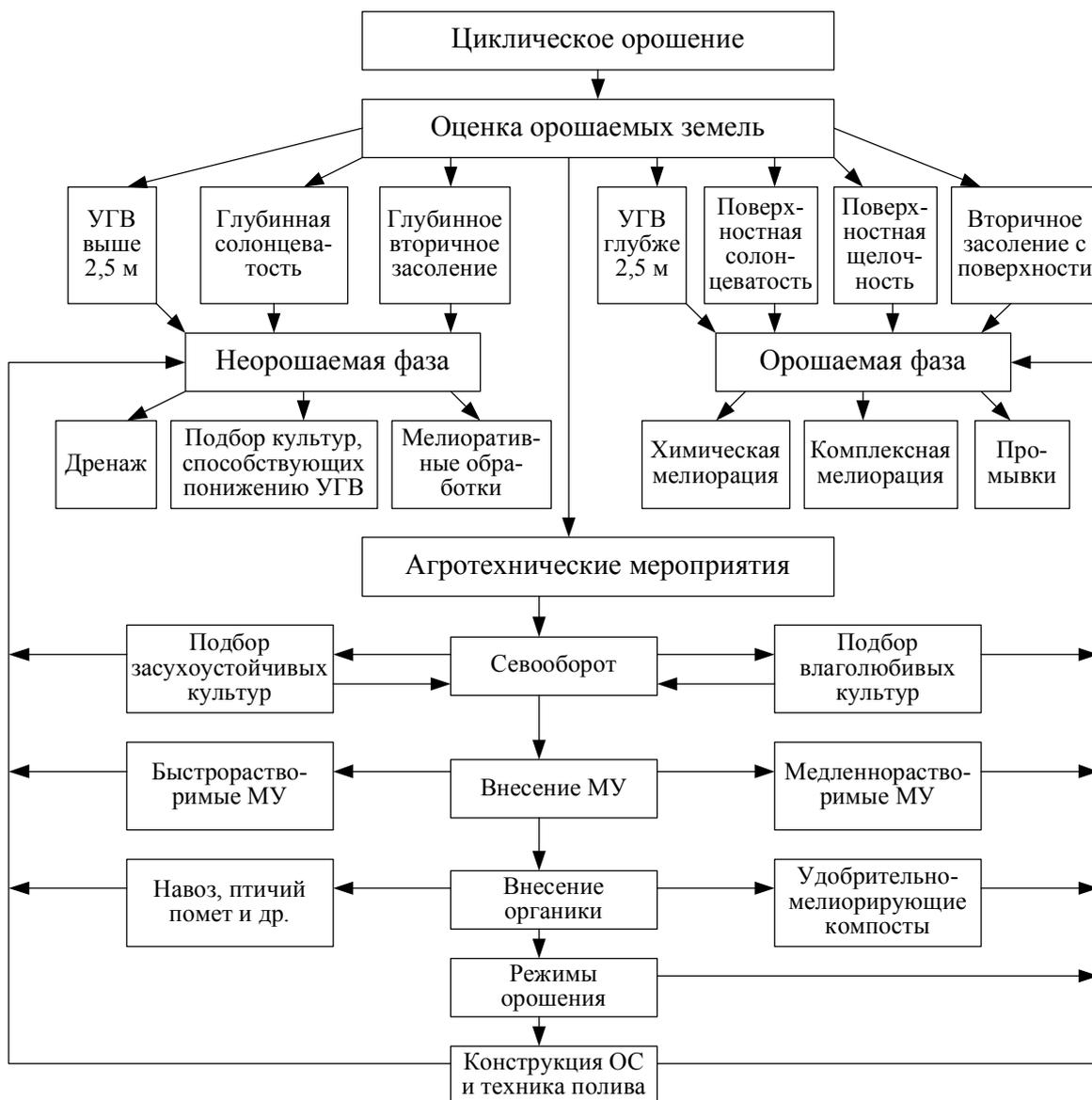


Рисунок 1 – Схема циклического орошения и мероприятий, проводимых в каждый из его режимов (фаз)

Следующим этапом в организации системы циклического орошения является проведение агро-мелиоративных мероприятий. Согласно блок-схеме, эти мероприятия, в первую очередь, заключаются в построении севооборотов для мелиорируемых земель, осваиваемых в условиях циклического орошения.

При циклическом орошении рекомендуются семи-, восьмипольные зерно-кормовые севообороты, насыщенные многолетними травами, пожнивными и промежуточными культурами. В таких севооборотах зерновые и технические культуры можно будет выращивать в неорошаемом режиме, а кормовые – в орошаемом. В таких севооборотах также на одном, двух полях возможно выращивание овощных культур.

В прошлом овощные севообороты в условиях орошения были четырех- и пятипольные с обязательным выращиванием многолетних трав. В настоящее время при циклическом орошении необходим подбор засухоустойчивых многолетних трав для сохранения аналогичной ротации севооборота.

Особое внимание должно быть уделено подбору влаголюбивых и засухоустойчивых культур для севооборотов, так как:

- севооборот составляется таким образом, чтобы не терялась продуктивность массива (запасы гумуса, азота, фосфора и других элементов плодородия);

- каждая культура выполняет не только роль лучшего предшественника, но и играет противозерозионную и санитарно-защитную роль.

Главное предназначение циклического орошения сельскохозяйственных культур не только стабилизировать мелиоративное состояние, но и оптимизировать плодородие почвы, баланс питательных элементов, способствовать повышению урожайности возделываемых культур, увеличению объемов их производства.

Режим накопления гумуса при циклическом орошении будет происходить в основном при неорошаемом режиме. При режиме орошения в ротации севооборота плодородие почвы будет поддерживаться за счет увеличения урожайности возделываемых культур при поливе и накопления в почве пожнивно-корневых остатков.

Соответствующий питательный режим почвы необходимо поддерживать при неорошаемом и орошаемом режимах в соответствии с биологическими требованиями выращиваемых культур. При этом внесение органики в чистом виде при орошении приводит к подщелачиванию почвы, поэтому органические удобрения рекомендуется вносить только при неорошаемом режиме почвы, а при орошаемом – удобрительно-мелиорирующие или органо-минеральные компосты и смеси, которые содержат вещества, устраняющие щелочность и солонцеватость почв.

При внесении минеральных удобрений надо учитывать, что быстрорастворимые минеральные удобрения лучше вносить при неорошаемом режиме, поскольку они активно вымываются оросительной водой, а постепенно растворимые, то есть сложные, – при орошаемом.

Оросительные нормы и режимы орошения сельскохозяйственных культур, разработанные в Волгоградской области для регулярно-

го орошения, можно использовать и для циклического, так как они полностью удовлетворяют потребности растений в воде и способствуют получению высокого урожая, а поддерживать и регулировать почвообразовательные процессы рекомендуется с использованием различных техник полива, которые должны соответствовать определенным экологическим требованиям. Сама техника полива должна быть направлена на снижение поливных норм и способствовать экономии оросительной воды.

1.2 Критериальные показатели для установления орошаемого и неорошаемого режимов при циклическом орошении

Показатели оптимальности параметров почв необходимы для определения системы мер мелиоративного воздействия на почву, а также для контроля при оценке ее состояния почвы в условиях интенсивного использования.

Величина отклонения параметров деградированной почвы от не деградированной характеризуется как степень деградации.

Определить состояние почв позволят показатели деградации орошаемых земель, составленные на основе собственных многолетних исследований и привлечения материалов исследователей, работающих в этом направлении (таблицы 1, 2) [13–21]. Критериальные показатели разработаны для наиболее подверженных деградации почв – орошаемых черноземов обыкновенных, черноземов южных.

Таблица 1 – Критерии деградации орошаемых черноземов обыкновенных

Показатель	Критерий деградации			
	0	1	2	3
1	2	3	4	5
Агрофизические:				
- плотность сложения, т/м ³	< 1,10	1,15–1,2	1,20–1,25	> 1,25
- водопрочность агрегатов, %	> 40	40–30	30–20	< 20
- водопроницаемость, мм/мин	> 1,0	1,0–0,8	0,8–0,6	< 0,6
Физико-химические:				
токсичные соли, %:				
- с участием соды	< 0,05	0,05–0,1	0,11–0,2	> 0,2
- без соды	< 0,10	0,10–0,2	0,21–0,3	> 0,3
Токсичная щелочность, мг-экв./100 г почвы	< 0,7	0,7–1,0	1,1–1,6	> 1,6
Почвенно-поглощающий комплекс, %:				
- кальций	> 85	85–82	82–80	< 80
- магний	< 15	15–16	16–17	> 17
- натрий	< 1,0	1,0–2,0	2,0–3,0	> 3

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
Агрохимические:				
- гумус, %	> 4,4	4,4–4,1	4,0–3,8	< 3,8
- Сг.к. : Сф.к.	> 2,0	2,0–1,5	1,4–1,1	< 1,0
Подвижный фосфор, мг/100 г почвы	> 4,5	4,5–4,1	4,0–3,8	< 3,8
Обменный калий, мг/100 г почвы	> 50	50–42	41–35	< 35
Уровень грунтовых вод при минерализации, г/дм ³ :				
- < 3,0	> 3,0	3,0–2,0	1,9–1,0	< 1,0
- ≥ 3,0	> 5,0	5,0–3,0	2,9–2,0	< 2,0
Примечание – 0 – недеградированные почвы; 1 – слабодеградированные; 2 – среднедеградированные; 3 – сильнодеградированные почвы.				

Таблица 2 – Критерии деградации южных черноземов (комплексный покров)

Показатель	Критерий деградации			
	0	1	2	3
Агрофизические:				
- плотность сложения, т/м ³	< 1,20	1,20–1,25	1,25–1,3	> 1,3
- водопрочность агрегатов, %	> 40	40–30	30–20	< 20
- водопроницаемость, мм/мин	> 0,8	0,8–0,6	0,6–0,4	< 0,4
Физико-химические:				
токсичные соли, %:				
- с участием соды	< 0,05	0,05–0,1	0,11–0,2	> 0,2
- без соды	< 0,10	0,10–0,20	0,21–0,3	> 0,3
Токсичная щелочность, мг-экв./100 г почвы	< 0,7	0,7–1,0	1,1–1,6	> 1,6
Почвенно-поглощающий комплекс, %:				
- кальций	> 80	80–78	77–75	< 75
- магний	< 20	17–18	19–20	> 20
- натрий	< 3,0	3,0–4,0	4,0–5,0	> 5,0
Агрохимические:				
- гумус, %	> 3,4	3,4–3,2	3,2–3,0	< 3,0
- Сг.к. : Сф.к.	> 1,5	1,5–1,3	1,3–1,0	< 1,0
Подвижный фосфор, мг/100 г почвы	> 4,5	4,5–4,1	4,0–3,8	< 3,8
Обменный калий, мг/100 г почвы	> 45	45–43	42–40	< 40
Уровень грунтовых вод при минерализации, г/дм ³ :				
- < 3,0	> 3,0	3,0–2,0	1,9–1,0	< 1,0
- ≥ 3,0	> 5,0	5,0–,0	2,9–2,0	< 2,0
Примечание – 0 – недеградированные почвы; 1 – слабодеградированные; 2 – среднедеградированные; 3 – сильнодеградированные почвы.				

Критерии деградации представлены четырьмя видами почв: недеградированные, слабодеградированные, среднедеградированные, сильнодеградированные. Показатели среднедеградированных почв соответствуют предельно допустимым параметрам почв, разработанных

ным в Руководстве по контролю и регулированию почвенного плодородия орошаемых земель при их использовании [15].

Предложенные критерии деградации почв при орошении позволяют определить на ранних стадиях негативные почвенные процессы, которые приводят к снижению их плодородия и дальнейшему выбытию из сельскохозяйственного оборота. Поскольку черноземы обыкновенные самые плодородные почвы, их параметры изменения более жесткие, чем у черноземов южных, которые чаще всего встречаются в комплексе с солонцами.

Когда почвы достигают показателей средней деградации, необходимо предпринимать соответствующие меры для повышения их плодородия. Например, при поднятии грунтовых вод до 2 м, при котором происходит накопление солей в поверхностных горизонтах почвы, рекомендуется прекратить орошение и перевести почвы в неорошаемые условия с подбором сельскохозяйственных культур, понижающих УГВ. К таким культурам относятся озимая пшеница, люцерна, кукуруза на зерно.

При увеличении плотности почв до уровня среднедеградированных, рекомендуется пересмотреть способы обработки почв, внести органические удобрения, кальцийсодержащие мелиоранты, провести мульчирование поверхности почвы.

При содержании токсичных солей и обменного натрия на уровне слабой деградации необходимо перейти на выращивание соле- и солонцеустойчивых культур при неорошаемом режиме (биологической мелиорации).

Однако при достижении показателей щелочности и солонцеватости, соответствующих уровню среднедеградированных почв, рекомендуется провести мелиорацию земель гипсом и другими гипсосодержащими веществами в профилактических дозах – 4–5 т/га. Эти приемы должны быть проведены непременно в режиме орошения, так как химические реакции по обмену натрия на кальций проходят во влажных условиях, а затем требуется дополнительная промывка продуктов этих реакций.

При снижении гумуса необходимо создать соответствующие условия для биохимической деятельности микроорганизмов в сторону синтеза, что усиливает гумификацию. Наибольшее разнообразие видового состава почвенных микроорганизмов и их высокая активность проявляются при влажности почвы 60–70 % НВ в интервале темпера-

тур 20–30 °С. Даже при кратковременном внедрении в процесс анаэробных условий, что бывает при избытке полива, гумификация ослабевает. Поэтому лучшие условия для гумификации – это неорошаемые, они соответствуют природным факторам, при которых формировались почвы в естественных условиях. Но для деятельности микроорганизмов требуется свежее органическое вещество, поэтому следует выращивать культуры, которые дают много пожнивно-корневых остатков (многолетние травы), либо вносить в почву навоз крупного рогатого скота, птичий помет и другие органические удобрения. В случае отсутствия органики, рекомендуется использование зеленого удобрения (сидератов) или пожнивных остатков с измельчением и заделкой их в почву.

Таким образом разработанные показатели и критерии деградации почв позволяют предусмотреть в Волгоградской области мероприятия по воспроизводству плодородия почв и определить при каком режиме (орошаемом или неорошаемом) циклического орошения их проводить.

Для выбора режимов циклического орошения рекомендуется также использовать критерии благополучного экологического состояния почв и ландшафтов (таблица 3) [22].

Таблица 3 – Критерии благополучного экологического состояния почв и ландшафтов [22]

Показатель	Природная зона	
	степная	сухостепная
Содержание гумуса в почве, %	5–7	3–4
Степень засоления почвы, %	0,1–0,3	0,2–0,3
pH	7–7,5	7–8
Окислительно-восстановительный потенциал	400–600	350–500
Глубина грунтовых вод, м	8–10	5–7
Пределы регулирования влажности почвы, доли НВ	0,7–0,8	0,7–0,85
Отношение оросительной нормы к осадкам	0,3–0,5	0,6–1,0
Оросительная норма, М (по Л. В. Кирейчевой), мм	130–270	400–590
Минерализация поливной воды, г/л	0,5–0,7	1,0
Нисходящий ток воды, мм	30–40	40–80
Ирригационное питание на уровне грунтовых вод, доли М	0,1–0,15	0,20–0,25
Инфильтрационное питание, доли М	0,05–0,08	0,08–0,13
Отношение дренажного стока к питанию грунтовых вод	0,73–0,93	0,85–0,91
Влагообмен между почвой и грунтовыми водами, доли испарения	0,05–0,1	0,05–0,1
Допустимые пределы изменения УГВ, м, в подзонах:		
- бессточная	0,3	0,5
- дренированная	0,5–1,0	1,0–1,5
- интенсивно дренированная	1–2	1–1,5

По степени деградации земель оценивается уровень состояния почв. Высокий уровень соответствует относительно благополучному состоянию почвы. Средний и низкий уровень – средне- и сильнодеградированным почвам.

В случае применения циклического орошения предлагается система показателей, оценивающих уровни состояния почв, разработанных для черноземов надпойменных террас (таблица 4) [23].

Таблица 4 – Показатели оценки уровни состояния почв при использовании циклического способа орошения [23]

Показатель	Уровень состояния почв		
	высокий	средний	низкий
1	2	3	4
Черноземы I надпойменной террасы			
Агрофизические:			
- содержание агрегатов при мокром просеивании, %: 10–0,25 мм	65–70	55–64	40–54
- плотность сложения, г/см ³	1,0–1,1	1,11–1,20	1,21–1,30
- пористость, %	55–65	54–50	49–45
- водопроницаемость агрегатов, мм/мин	1,2–1,0	0,9–0,5	0,4–0,2
- наименьшая полевая влагоемкость, % сухой массы почвы	> 55	40–55	30–40
Физико-химические:			
- токсичная щелочность (НСО ₃ и Na + Mg), мг-экв./100 г почвы	< 0,7	0,7–0,9	1,0–1,5
- содержание токсичных солей без участия соды, %	< 0,1	0,10–0,35	0,36–0,50
- Са в ППК, %	> 80	80–75	74–70
- содержание поглощенных Na + K, % от суммы катионов	< 1,0	1,0–2,0	2,0–,0
Гидрохимические:			
уровень грунтовых вод при минерализации:			
- 3–5 г/дм ³ (не щелочная вода)	> 3,5	3,5–3,0	3,0–2,5
- > 5 г/дм ³ (не щелочная вода)	> 4,0	4,0–3,5	3,5–3,0
- 3–5 г/дм ³ (щелочная вода)	> 4,5	4,5–4,0	4,0–3,5
- > 5 г/дм ³ (щелочная вода)	> 5,0	5,0–4,5	4,5–3,5
Биохимические:			
- общее содержание гумуса в минеральном профиле почвы, %	> 5	5–4	4–3
- плодородие почв, % от потенциального	> 90	90–60	60–30
- нитрификационная способность, мг/кг почвы	> 30	30–15	14–10
Эрозионная опасность:			
- мощность гумусового горизонта в районах эрозии, м	> 0,40	0,40–0,25	0,25–0,10
- мощность гумусового горизонта в районах дефляции, м	0,40	0,40–0,20	0,20–0,05
- площадь средне и сильно эродированных почв, % от общей площади	10	10–20	20–60

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4
- превышение суммарных потерь почвы при эрозии над допустимыми нормами, т/га	< 1,0	1,0–3,0	3,0–6,0
Загрязнение почв тяжелыми металлами по суммарному показателю, мг/кг почвы	< 16	16,1–32,0	32,1–64,0
Урожайность сельскохозяйственных культур, % от средней	Проектная	Снижение урожая на 10–15 %	Снижение урожая на 15–25 %
Черноземы II надпойменной террасы			
Агрофизические:			
содержание агрегатов при мокром просеивании, %: - 10–0,25 мм	60–70	50–59	45–49
- плотность сложения, т/м ³	1,15–1,2	1,21–1,25	1,26–1,35
- пористость, %	50–60	49–45	44–39
- водопроницаемость агрегатов, мм/мин	> 1,0	0,9–0,7	0,7–0,4
- наименьшая полевая влагоемкость, % сухой массы почвы	> 50	35–50	20–25
Физико-химические:			
- токсичная щелочность (НСО ₃ и Na + Mg), мг-экв./100 г почвы	< 0,7	0,7–1,0	1,0–1,8
- содержание токсичных солей без участия соды, %	< 0,1	0,1–0,4	0,41–0,55
- Са в ППК, %	> 85	85–80	80–75
- содержание поглощенных Na + К, % от суммы катионов	< 1,0	1,0–1,5	1,5–2,0
Гидрохимические:			
уровень грунтовых вод при минерализации: - 3–5 г/дм ³ (не щелочная вода)	> 3,5	3,5–3,0	3,0–2,5
- > 5 г/дм ³ (не щелочная вода)	> 4,0	4,0–3,5	3,5–3,0
- 3–5 г/дм ³ (щелочная вода)	> 4,5	4,5–4,0	4,0–3,5
- > 5 г/дм ³ (щелочная вода)	> 5,0	5,0–4,5	4,5–3,5
Биохимические:			
- общее содержание гумуса в минеральном профиле почвы, %	> 6	6–5	5–4
- плодородие почв, % от потенциального	> 90	90–50	50–30
- нитрификационная способность, мг/кг почвы	> 30	30–20	20–15
Эрозионная опасность:			
- мощность гумусового горизонта в районах эрозии, м	> 0,50	0,50–0,30	0,30–0,20
- мощность гумусового горизонта в районах дефляции, м	0,40	0,40–0,30	0,30–0,10
- площадь средне и сильно эродированных почв, % от общей площади	10	10–20	20–50
- превышение суммарных потерь почвы при эрозии над допустимыми нормами, т/га	< 1,0	1,0–4,0	4,0–6,0
Загрязнение почв тяжелыми металлами по суммарному показателю, мг/кг почвы	< 16	16,1–32,0	32,1–64,0
Урожайность сельскохозяйственных культур, % от средней	Проектная	Снижение урожая на 10–15 %	Снижение урожая на 15–20 %

Согласно данной разработке предлагается при циклическом чередовании орошаемого и богарного земледелия на орошаемых участках, соответствующих высокому уровню состояния почв, в системе севооборота на два-три года вводить влаголюбивые культуры.

Если по показателям оценки уровень состояния орошаемых почв оценивается как средний, то в системе севооборота вводятся солеустойчивые культуры, способствующие рассолению пахотного слоя.

В результате данный способ мелиорации черноземов обеспечит снижение последствий регулярного длительного орошения почвы и за счет чередования орошения почв с богарой позволит сохранить естественность агроландшафтов и обеспечить повышение урожайности и объем валовых сборов сельскохозяйственных культур.

1.3 Конструкции оросительных систем и техника полива при циклическом орошении

Циклическое орошение как новый вид орошения требует технического совершенства оросительных систем (ОС). Они должны создаваться как при осуществлении нового строительства, так и при реконструкции физически и морально устаревших уже используемых оросительных систем.

В качестве перспективных подходов к разработке и проектированию ОС нового поколения для циклического орошения рекомендуются конструкции внутрихозяйственной оросительной сети, описанные в авторском свидетельстве [23] и патенте РФ [24].

Схемы оросительных систем для циклического орошения и планы размещения полей для определенной конструкции таких систем представлены на рисунке 2.

Разработанная технология циклического орошения предусматривает в восьмипольном севообороте четыре орошаемых поля и четыре поля не орошаемых, где будут проводиться мероприятия, направленные на восстановление плодородия почвы, улучшения ее структуры, мелиоративного состояния.

Восьмипольный участок севооборота ограничен контуром 1, а его поля – границами 5. По продольной оси участка расположен подземный трубопровод 4 с подсоединительными гидрантами 8, питаемые насосной станцией 3. В исходный момент времени на каждом из орошаемых полей А, В, Е и И имеется комплект поливного оборудо-

дования: распределительный 6 и вспомогательный 10 трубопроводы-шлейфы. К последним подключаются рабочие дождевальные шлейфы 12. Внутри каждого орошаемого поля трубопроводы 10 перемещаются на вторые позиции 11 по направлению стрелок 2, а дождевальные шлейфы по направлению стрелок 13. Другие четыре поля Д, Б, Ж, Г остаются без орошения. После завершения оросительного периода для полей А, В, Е, И (четыре года) оросительное оборудование перемещается на поля Д, Б, Ж, Г. С этой целью трубопроводы 6 перемещаются по направлению стрелки 9 на позицию 7. К трубопроводу 6, перемещаемому на новое поле, перемещаются трубопроводы 10 по направлению стрелок 2, а к ним подключаются дождевальные шлейфы.

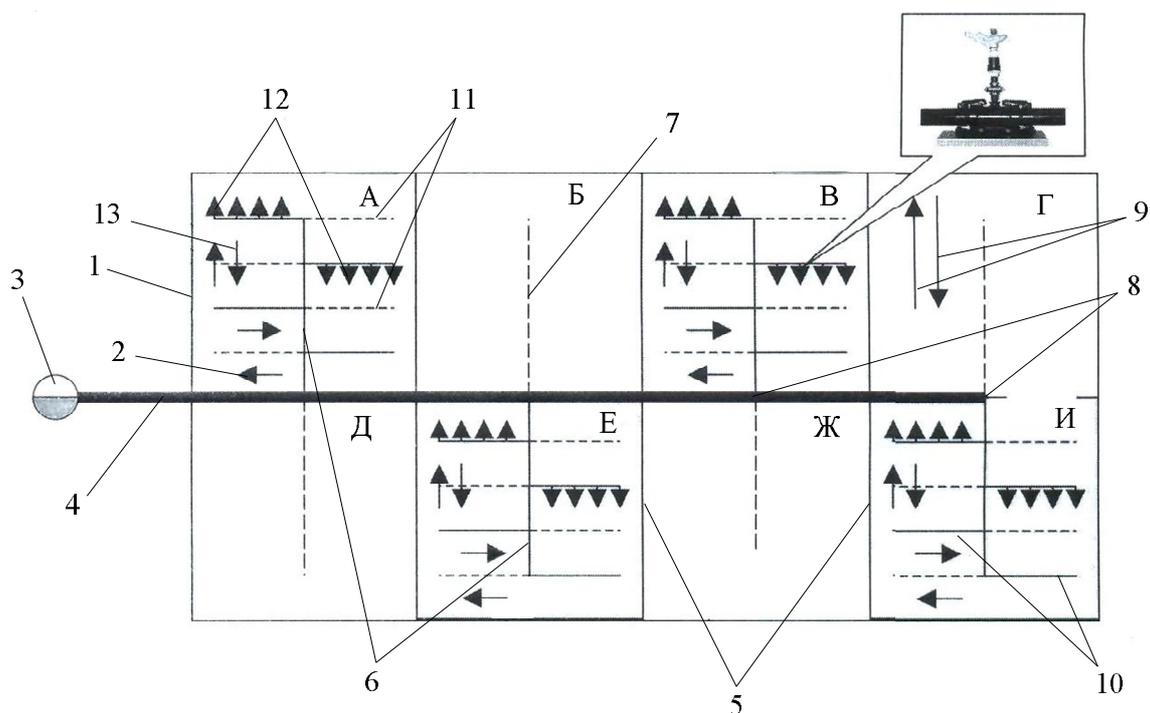


Рисунок 2 – Схема циклического орошаемого восьмипольного севооборота

При внедрении циклического орошения сельскохозяйственных культур рекомендуются дождевальная техника отечественного и импортного производства, в том числе современные мобильные оросительные системы, дождевальные шлейфы, комплекты технологического оборудования синхронно-импульсного дождевания и другие.

Основными характеристиками, влияющими на экологическую безопасность почв, являются интенсивность, крупность капель и равномерное распределение дождя по площади. Рассматривая эти пара-

метры, следует сказать, что они оказывают существенное влияние на выбор режима орошения и поливной техники.

Так для равномерного увлажнения почвы, сохранения ее структуры и аэрации интенсивность искусственного дождя для любого момента времени должна быть меньше значений скорости впитывания воды в почву и составлять для тяжелых грунтов 6–8 мм/ч, а для легких почв 30–40 мм/ч. Для существующих оросителей роторного типа среднего радиуса действия интенсивность дождя может достигать 0,01–0,08 мм/мин. Эти значения являются косвенным показателем для определения режима орошения.

При выборе расчетной крупности капель искусственного дождя учитывают, что крупные капли разрушают состав почвы, уплотняют ее и оказывают негативное воздействие на растения, травмируя их. При орошении дождеванием черноземов крупность капель не должна превышать 2–3 мм. Это должно учитываться при выборе техники орошения и поливных машин.

На основании изучения работ отечественных и зарубежных исследователей составлена схема воздействия дождевальных машин (ДМ) на экологическую устойчивость орошаемого массива (рисунок 3).

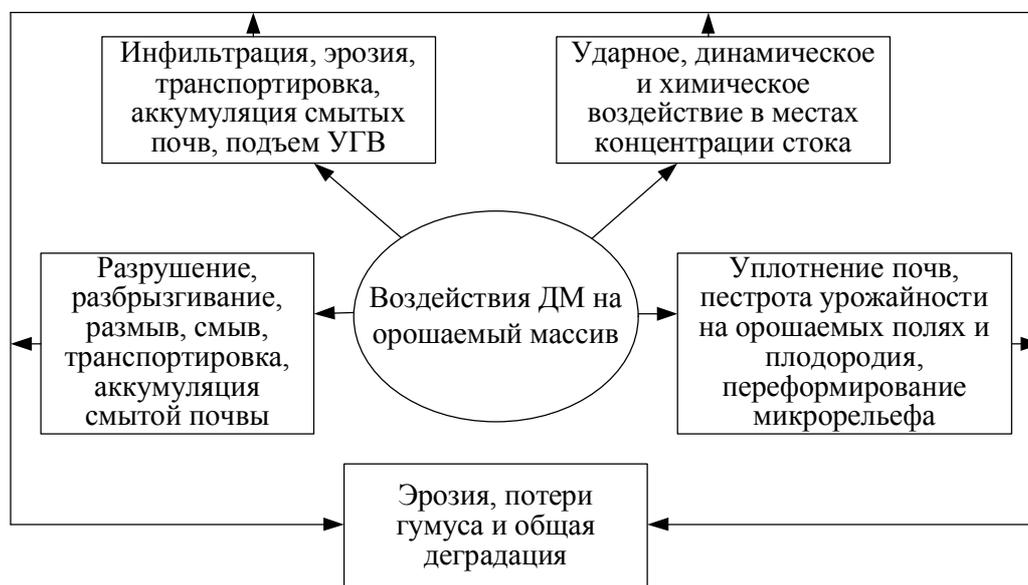


Рисунок 3 – Схема воздействий дождевальных машин на орошаемый массив

Имеющиеся на данный момент времени методики и используемые показатели оценки эффективности использования дождевальной техники не учитывают негативные воздействия на орошаемые земли.

Проведенные исследования показали, что к наиболее важным показателям, влияющим на экологическую безопасность орошения, относятся расход ДМ в л/с; уровень механизации и автоматизации, выражаемый через расход, управляемый одним человеком; производительность одной ДМ в га/ч при норме 300 м³/га; средняя интенсивность дождя в мм/мин; средневзвешенный диаметр капель в мм; коэффициент земельного использования (КЗИ). Количественные значения показателей имеются в справочниках [25].

2 Комплекс мероприятий, направленных на восстановление почвенного плодородия при циклическом орошении

В условиях циклического орошения режим орошения должен быть максимально использован для коренного мелиоративного улучшения почв севооборотного участка. Орошаемые условия способствуют ускорению процессов химических реакций, а побочные продукты этих реакций выносятся с оросительной водой за пределы зоны основного распространения корней культурных растений. Поэтому такие условия оптимальны для применения методов химической и комплексной мелиорации.

2.1 Химическая мелиорация

Если оценка мелиоративного состояния земель, переводимых под циклическое орошение, проведенная по критериальным показателям, представленным в подразделе 1.2, выявила наличие таких негативных процессов как осолонцевание, ощелачивание, дефицит кальция в почвенном поглощающем комплексе (ППК), то они нуждаются в химической мелиорации.

Применение содержащих кальций мелиорантов основано на механизме донасыщения поглощающего комплекса почвы кальцием за счет вытеснения обменных натрия и магния [26]. При использовании химических веществ, мелиорирующей основой которых являются минеральные кислоты, происходит разложение карбонатов кальция и магния почвы с образованием сульфатов этих металлов. Кроме того, нейтрализуется щелочь почвенного раствора, и происходит замена натрия на кальций и магний в ППК.

Характеристика веществ, используемых для химической мелиорации почв, представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристика веществ, используемых для химической мелиорации почв

Мелиорант	Мелиорирующая основа	Удобрительное вещество	pH суспензии	Физическое состояние	Влажность, %
Глиногипс (природное месторождение) (Пролетарский, Багаевский и др. районы Ростовской области)	Гипс – 68–82 %	Микроэлементы: Fe, Ba, Mn, Cr, V, Cu	7,2–7,8	Твердое, слегка пылит	15–23
Гипс (природное месторождение)	Гипс – 70–85 %		6,8–7,5	Твердое, слегка пылит	18–23
Глауконит (природное месторождение) (Куйбышевский, Родионово-Несветайский, Октябрьский, Верхне-Донской районы Ростовской области)	Гипс – 70–75 %	Zn, Cu, Cr, V	7,1–7,6	Песок	20–23
Фосфогипс (отход производства минеральных удобрений) – Ф (г. Белореченск Краснодарского края, г. Невинномысск Ставропольского края)	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

Глиногипс, гипс и глауконит имеют реакцию рН близкую к нейтральной, поэтому их рекомендуется применять на почвах с нейтральным типом засоления (не щелочных). Физиологически кислые мелиоранты (фосфогипс, минеральные кислоты, терриконовая порода, электролит травления стали) прекрасно срабатывают при улучшении почв щелочного типа, нейтрализуя щелочность и вовлекая в обменные процессы труднорастворимые кальциевые соли.

Жидкие мелиоранты из-за трудности использования целесообразно перемешивать с твердыми сыпучими компонентами. К тому же природные мелиоранты или промышленные отходы при обработке кислотами становятся более активными, так как мелиорирующие и удобрительные элементы из труднодоступных соединений переходят в более доступные.

В том случае, когда в почвах помимо вышеуказанных неблагоприятных физико-химических свойств отмечаются неудовлетворительные показатели агрохимии (низкое содержание гумуса, питательных веществ), имеющих высокую плотность, слитость, низкую водопроницаемость, то восстановление плодородия таких почв рекомендуется проводить при помощи органо-минеральных компостов и удобрительно-мелиорирующих смесей.

При этом происходит одновременное воздействие на различные свойства почв: химическими мелиорантами – на физико-химические, удобрительными средствами – на агрохимические.

В состав органо-минеральных компостов (ОМК), удобрительно-мелиорирующих компостов (УМК) и удобрительно-мелиорирующих средств (УМС) входят органические удобрения (навоз КРС, птичий помет, солома, опилки) и кальцийсодержащие мелиоранты (фосфогипс, гипс, терриконовая порода) в определенном соотношении. Существуют требования к внешнему виду, насыщенности питательными и мелиорирующими компонентами и экологической безопасности компостов.

Соотношение определяется наличием мелиорирующих веществ в мелиоранте. Чем этот процент больше, тем меньшая доля в компосте отводится под него. Например, в фосфогипсе, гипсе, глиногипсе мелиорирующих веществ 80–90 %, соответственно оптимальное соотношение органика: мелиорант составляет 3:1 (таблица 6).

В настоящее время производителям можно порекомендовать несколько видов удобрительно-мелиорирующих компостов, соответствующих указанным требованиям (таблица 7) [27].

Таблица 6 – Выбор оптимального соотношения компонентов компоста по уровням состояния почв

Мелиорирующая основа, %	Органика : мелиорант
80–90 (фосфогипс, гипс, глиногипс)	3:1
50–60 (глауконит)	2:1
20–30 (терриконовая порода)	1:1

Таблица 7 – Виды удобрительно-мелиорирующих компостов и средств

Компоненты (соотношения)	Мелиорирующая основа, в пересчете на гипс, %	Питательная основа		
		Масса органического вещества	P ₂ O ₅	K ₂ O
Н + Ф	42	50	0,37	0,24
Н + ЭТС	22	75	0,53	0,36
Н + Тп	25	50	0,40	0,60
Н + Гл	35	50	0,33	4,83
Пп + Ф	34–49	50–67	1,53–1,6	0,6–0,8
Пп + Гл	38	50	0,91	2,6
Пп + Ф + Гл	37–57	34–67	1,20–1,22	1,7–1,9
Пп + О + Ф	32–47	50–67	1,0–1,26	0,34–0,56
Пп + О + Гл	31–38	50–60	0,47–0,59	1,90–2,32
Пп + Ф + ЭТС	42–52	40–50	1,15–1,28	0,64–0,80
Пп + Гл + ЭТС	38–44	40–50	0,72–0,81	2,10–2,70
Пп + Ф + О + ЭТС	37–47	43–57	0,81–0,92	0,41–0,47
Пп + Гл + О + ЭТС	36–41	43–50	0,46–0,52	1,30–1,49

Примечание – Н – навоз; ЭТС – электролит травления стали; Тп – терриконовая порода; Гл – глауконит; О – опилки. Рекомендуемые соотношения УМК и средств разработаны в ФГБНУ «РосНИИПМ».

Реакция среды (рН) полученных компостов нейтральная или слабокислая. Все предлагаемые к использованию компосты не содержат Zn, Cd, Ni, Cu, Pb выше ПДК.

При выборе компонентов для УМК следует учитывать наличие в них тяжелых металлов, особенно при работе с фосфогипсом, так как помимо распространенных тяжелых металлов он содержит фтор и стронций [28, 29]. Компосты, в которых используется органика, содержат загрязнителей меньше, чем чистый фосфогипс, так как именно органическое вещество является инактиватором тяжелых металлов.

В случае, когда в почвах присутствуют загрязнения тяжелыми металлами, гербицидами, пестицидами, минеральными удобрениями, а также на землях, подверженных атмосферному загрязнению промышленными отходами, рекомендуется использовать компосты, в которых в качестве мелиоранта используется глауконит. Он обладает

адсорбирующей способностью по отношению к марганцу, цинку, никелю, меди, хрому [30].

Доза мелиоранта рассчитывается с учетом свойств почв (степени солонцеватости, щелочности, плотности), мощности мелиорируемого слоя и характеристики мелиоранта (влажность, процентное содержание мелиорирующей основы) [14, 15, 31].

Сыпучие мелиоранты (гипс, фосфогипс, глиногипс, ОМК, УМК и УМС) можно вносить разбрасывателями минеральных и органических удобрений. При внесении доз мелиорантов до 6 т/га целесообразно использовать разбрасыватели РУМ-5, КСА-3, РТО-4, РОУ-5. При увеличении доз до 12 т/га следует применять более производительные и грузоподъемные разбрасыватели РУМ-8, ПРТ-10, КСА-7, а при внесении дозы более 12 т/га используются разбрасыватели минеральных удобрений ПРТ-10, ПРТ-16.

В кормовых севооборотах мелиорант вносят после уборки ранних зерновых (ячменя, озимой пшеницы), силосных культур (кукурузы, кормосмесей) или распашки люцерны.

К внесению мелиорантов допускаются только технически исправленные машины. Прилагаемые к разбрасывателям таблицы о регулировании выгрузного отверстия, в зависимости от доз внесения, рассчитаны для минеральных удобрений и извести. Поэтому перед внесением этими машинами мелиорантов с другими физическими свойствами необходимо откорректировать шкалу, уточнить параметры рассева мелиоранта в зависимости от режима работы машины. Для этого следует сделать несколько проходов на основных режимах работы машины и проконтролировать величину вносимой дозы. Доза мелиоранта в пределах ширины рассева не должна колебаться более чем на 25 %.

2.2 Комплексная мелиорация

Комплексная мелиорация представляет собой использование глубоких мелиоративных обработок на фоне применения химических мелиорантов. Глубокие мелиоративные обработки в значительной степени способствуют увеличению глубины мелиорируемого слоя, устранению плужной подошвы, разрыхлению плотных осолонцованных горизонтов, проникновению влаги в более глубокие слои почвы,

что имеет огромное значение для увеличения потенциала влагозапасов почвы перед переходом к неорошаемому режиму.

Глубокие мелиоративные обработки почв представляют собой глубокое рыхление, глубокие вспашки (ярусные и отвальные), вспашку с почвоуглублением, чизелевание, кротование.

Глубокое рыхление или пахоту глинистых или тяжелосуглинистых слитых почв проводят при влажности пахотного горизонта 60–75 % НВ. При влажности выше или ниже этих пределов ухудшается качество обработки, и увеличиваются затраты на ее дополнительную разделку [32].

Глубина рыхления зависит от уровня залегания, мощности слабопроницаемых слоев (особенно слитых) и коэффициента фильтрации почв. В большинстве случаев мощность улучшаемого слоя составляет 0,4–0,6 м. На суглинистых засоленных почвах с целью вымывания токсичных водорастворимых солей глубину рыхления увеличивают до 0,7–0,8 м. Для усиления промывающего действия поливных вод глубокое рыхление совмещают с нарезкой кротовин. В этих случаях глубина рыхления составляет 0,4–0,6 м, ниже зоны рыхления закладывают кротовины, расстояние между которыми составляет 1–4 м. Работоспособность кротовин во времени зависит от устойчивости почвы к осыпанию, вымыванию, выветриванию и т. д., то есть определяется гранулометрическим составом, водопрочностью агрегатов и степенью увлажнения в момент проведения кротования. Оптимальной влажностью почвы для проведения кротования считается 25–40 %.

На равнинных участках при коэффициенте фильтрации менее 0,1 м/сут, плотности более 1,3 т/м³, на переувлажненных и тяжелых почвах с уклоном поверхности более 0,02 выполняют сплошное рыхление. На уплотненных высокогумусированных почвах при коэффициенте фильтрации более 0,1 м/сут – полосовое. При полосовом рыхлении орошаемых земель расстояние между полосами для глинистых почв составляет 2–3 м, для легкосуглинистых – 4–6 м. Направление рыхления должно быть перпендикулярно по отношению к оросителю или дрене и к основным направлениям агротехнических обработок.

Выпускаемые в настоящее время рыхлители делятся на рыхлители с активными, пассивными рабочими органами и рыхлители с приспособлениями для внесения химических мелиорантов. Наибольшее распространение получили рыхлители с пассивными рабо-

чими органами. Рыхлитель РУ-65.2,5 – трехстоечное орудие со съемной средней стойкой. Им осуществляют сплошное рыхление почвы до 0,65 м при ширине захвата 2,5 м. В нижней части стоек рыхлитель снабжен съемными кротователями, которые рекомендуется использовать в плотных слоях почвы. Глубина заложения кротовин 0,8 м. Агрегатируется рыхлитель с тракторами класса тяги 60–65 кН.

В отличие от рыхлителей РН-80 и РУ-65.2,5, у которых рыхление выполняется вертикально расположенными ножами-стойками, рыхлители РГ-0,5, РГ-0,8, РГ-1,2 выполняют объемное рыхление. Объемность рыхления заключается в том, что лемех рыхлителя отрывает и поднимает часть почвы и одновременно, встряхивая ее между стойками, проводит безотвальную обработку.

Для более глубокого рыхления слабопроницаемых и засоленных почв тяжелого механического состава используют одностоечный рыхлитель-кротователь РГ-1,2, выполняющий одновременно несколько операций: одно полосовое рыхление до 1,2 м, сочетание рыхления с кротованием или одно кротование с глубиной заложения кротовин от 0,4 до 1,2 м. Агрегатируется РГ-1,2 с тракторами класса тяги 50–60 кН. Рыхлителями РГ-0,8 и РГ-1,2 можно совмещать глубокое объемное рыхление с одновременным внесением химических мелиорантов для устранения процессов осолонцевания и ощелачивания. Если почвы обладают высоким сопротивлением к рыхлению, то в качестве подготовительных операций выполняют мелкую вспашку или дискование в два следа, которые на 10–52 % уменьшают тяговые усилия орудий.

После глубокого рыхления мелиоративное поле выравнивают длинноразными планировщиками или выполняют планировку многоотвальными планировщиками-выравнивателями ВП-36,3 или ПК-1.

Глубокое рыхление можно провести более упрощенными орудиями – кротователями или щелерезами, из ряда которых на современном рынке представлены глубокорыхлители ГР-1,8-МТЗ-82.1, ГР-2.5-МТЗ-1221.2 (1523), ГР-3.4-ХТЗ-150к-09 (К-700), ГР-4.3-К-701 (744); СЛЕ; плуги-рыхлители универсальные ПРУН-8-45, ПРУН-5-45; глубокорыхлители-щелерезы ГЩ(м), ЩН-2,3 (Т-150), ЩН-3,8 (К-700).

Улучшить водно-физические свойства слитых почв можно плантажной или ярусной вспашками.

Плантажную вспашку на глубину 0,5–0,7 м выполняют плугами типа ППН-40, ППН-50. Проводят ее на уплотненных или слитых почвах, обладающих мощным гумусовым слоем (обыкновенные черноземы). Плантажная вспашка способствует улучшению водно-физических свойств и снижению содержания водорастворимых солей при близком залегании минерализованных грунтовых вод [33]. В настоящее время рынок сельхозтехники предлагает также плуги ярусные ПНЯ-4-42, ПНЯ-6-42; плуги чизельные ПЧ-2,5, ПЧ-4,5 с глубиной обработки до 45 см.

Последействие глубокой вспашки сохраняется три-четыре года, а глубокого рыхления – два-три года.

При комплексной мелиорации вначале выполняется химическая мелиорация, с соответствующим расчетом доз мелиорантов увеличивая расчетный слой до 45–50 см, а затем подбирается согласно свойствам почв вид глубокой мелиоративной обработки.

2.3 Особенности мелиорации земель с комплексным почвенным покровом

Если участок, предназначенный для циклического орошения, представляет собой территорию с комплексным почвенным покровом, мелиоративное улучшение его имеет свои особенности.

Для начала необходимо установить комплексность почвенного покрова и процентное соотношение пятен солонцов и зональных почв. Для этого составляют почвенный план с изображением отдельных элементов комплекса (пятен), отражающий их конфигурацию и расположение в пределах мелиорируемого участка.

В зависимости от процента солонцов в комплексе применяются различные технологии освоения почв с комплексным почвенным покровом [31]:

- при содержании солонцов менее 35 % рекомендуется технология выборочной мелиорации: сначала на солонцовые пятна дозой, рекомендуемой для солонцов, за вычетом дозы, рекомендуемой для преобладающей почвенной разности; затем мелиорируют весь массив дозой, принятой для зональных почв;

- при содержании солонцов более 35 % рекомендуется сплошное внесение мелиоранта дозой, рекомендуемой для солонцов.

Такая схема соблюдается и при химической, и при комплексной мелиорации.

В целях соблюдения требований максимальной экологичности процесса мелиорации (во избежание излишнего внесения химических веществ в почву), а также стремления к сглаживанию неоднородности почвенного покрова участка, технологию выборочного внесения мелиорантов целесообразно применять в максимально возможном количестве случаев, даже если доля солонцов превышает 35 % от площади комплекса. Ограничением применения данной технологии будет являться ситуация, когда пятна солонцов мелкие и довольно равномерно распределены по всему участку [34].

3 Мероприятия, направленные на регулирование почвенного плодородия при циклическом орошении

3.1 Приемы снижения уровня грунтовых вод

Основной способ недопущения подъема грунтовых вод к критическому уровню – наличие и бесперебойная работа дренажа.

Экологическое обоснование дренажа на орошаемых черноземах должно базироваться не только на исходной характеристике почвенно-мелиоративных и гидрогеологических условий территории и прогнозе их изменений, но и на мелиоративных режимах и соответствующих им типам ирригационного почвообразования.

Наиболее благоприятная экологическая обстановка складывается при полугидроморфном мелиоративном режиме (грунтовые воды на глубине 2,5–6,0 м), обеспечивающем в условиях орошения формирование вторичных полугидроморфных (лугово-степных) почв.

Наблюдающиеся при этом режиме ощелачивание, осолонцевание, обесструктурирование, слитизация почв не связаны с грунтовыми водами, а обусловлены геохимическими процессами при взаимодействии поливной воды неблагоприятного состава с почвой и аллювиально-иллювиальными явлениями, взаимосвязанными с режимом и способами орошения.

Допустимая глубина уровня грунтовых вод, обеспечивающая полугидроморфный мелиоративный режим (ирригационно-лугово-степной тип почвообразования), должна составлять не менее 2,5 м. Это обеспечивается дренажем с глубиной дрен 3,0–3,5 м.

Во избежание экологически недопустимых последствий необходимо предусматривать на дренируемом участке преобладание градиентов фильтрационных напоров к дренам от центральной его части над градиентами, направленными за пределы орошаемого массива с относительно глубоким залеганием УГВ. Такой подход к проектированию дренажа не исключает применения экологически обоснованного отсечного дренажа на границах орошаемого массива. Для уменьшения потери плодородия черноземов при сооружении дренажа, помимо совершенствования технологии его строительства, необходимы меры по сокращению удельной протяженности дрен за счет снижения инфильтрации оросительной воды.

Основопологающим условием применения циклического орошения является достаточно низкий УГВ – 4 м и более [11]. При достижении УГВ 2,5 м необходимо переходить на неорошаемый режим освоения орошаемых земель, так как при неорошаемом режиме создаются условия для снижения грунтовых вод до допустимых уровней и обеспечения наиболее благоприятной мелиоративной и экологической обстановки с использованием дренажа глубиной 3,0–3,5 м.

Для снижения и устранения деградационных процессов, сформировавшихся в период режима орошения, при неорошаемом режиме высеваются культуры, которые отличаются повышенной устойчивостью к неблагоприятным факторам среды (соле- и солонцестойчивость) (таблица 8), а также культуры, которые по своим биологическим параметрам способствуют улучшению почв (глубоко проникающая корневая система, азотфиксирующая способность корневой системы бобовых трав), то есть выполняют роль биологического дренажа [35, 36].

Таблица 8 – Соле- и солонцестойчивость сельскохозяйственных культур

Культура	Солонцестойчивость	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

Продолжение таблицы 8

1	2	3
Овес	Средняя	Средняя
Просо, могар	Средняя	Средняя
Люцерна	Средняя	Средняя
Озимая рожь	–	Средняя
Томаты	–	Средняя
Капуста	–	Средняя
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 венечное	Слабая	Слабая-сильная

К таким культурам относятся люцерна, различные травосмеси, озимые зерновые и другие культуры с мощной глубокой корневой системой.

При самом коротком цикле, состоящем из трех лет орошения и трех лет неорошаемого земледелия, биологический дренаж работает все шесть лет [37]. По данным В. И. Бобченко озимая пшеница забирает из второго метрового слоя более 1000 м³/га, из третьего – порядка 600 м³/га, люцерна в состоянии забирать влагу с глубины 5 м [38].

Сходными свойствами обладают также высокостебельчатые сорта озимых, подсолнечник, донник, которые наряду с достаточно хорошими урожаями, благодаря глубокому проникновению корневой системы, способны дополнительно дренировать почвогрунты, эффективно использовать воду из глубоких слоев почвы. Это подтверждают результаты исследований специалистов ВНИИГиМ, которые сочетали в севооборотах неорошаемые и поливные условия выращивания с учетом возможностей сельскохозяйственных культур. При этом повышалась суммарная эффективность использования воды, удобрений, улучшались почвенно-мелиоративные условия и т. д. [39].

Экологическую надежность циклического орошения в Волгоградской области можно существенно повысить дополнительным биологическим дренажом: полезащитными и другими лесопосадками. Совместное воздействие на грунтовые воды лесных полезащитных

полос и посевов люцерны может обеспечить дренажный модуль на земельном массиве порядка 0,05–0,1 л/(с·га).

При неорошаемом режиме рекомендуется проводить мелиоративные обработки почвы с углублением пахотного слоя: чизелевания, кротования, глубокого рыхления (см. раздел 2.2).

Мелиоративные обработки применяют для разуплотнения почв, вызванного механическим воздействием тяжелой сельскохозяйственной техникой, и для устранения процессов переувлажнения, заболачивания и понижения уровня грунтовых вод.

3.2 Приемы оптимизации гумусного состояния и питательного режима почв

Основным показателем плодородия почв является гумус, его запасы и качественный состав. Сработка запасов гумуса сопровождается ухудшением практически всех свойств почв – разрушением структуры, уплотнением и снижением водопроницаемости, снижением величины ППК, уменьшением содержания доступных элементов питания и биологической активности и, как следствие, потерей почвой ее роли как геохимического барьера.

Основными направлениями в решении проблемы обеспечения почв гумусом являются:

- сохранение существующих запасов гумуса;
- увеличение обеспеченности почв гумусом за счет внесения органических веществ;
- создание благоприятных условий для накопления и закрепления органических веществ в почве.

Так как гумусное состояние находится в прямой зависимости от свойств почв, первоочередными мероприятиями по его оптимизации являются те, которые способствуют снижению или исключению деградационных процессов, таких как переувлажнение и заболачивание, осолонцевание и ощелачивание, уплотнение и слитизация, вторичное засоление и т. д.

Затем должны проводиться приемы по накоплению общего содержания гумуса и улучшению его состава. Основную часть дефицита гумуса следует компенсировать в режиме орошения при осуществлении химической мелиорации, которую по последним разработкам РосНИИПМ [40, 41] рекомендуется проводить удобрительно-мелио-

рирующими компостами или сочетая содержащие кальций вещества (гипс, фосфогипс) и органику. Остальные запасы гумуса должны быть восполнены при неорошаемой фазе. Именно в неорошаемых условиях, когда влажность и воздух в почвах более оптимизированы, возобновляются аэробные процессы, активизирующие микробиологическую деятельность. В эту фазу нормализуется процесс гумификации тех пожнивно-корневых остатков, которые в большей своей массе формируются в режиме орошения, меняется состав гумуса в сторону образования гуматов. Вновь образованные гуматы кальция обеспечивают создание водопрочной структуры почвы.

При выборе агрономелиоративных приемов по накоплению гумуса необходимо придерживаться следующих положений:

1 Баланс гумуса в пахотных почвах зависит от баланса органически связанного азота. Внесение минерального азота снижает потери гумуса почвой. Кроме этого, азот минеральных удобрений участвует в процессах гумификации свежего органического вещества (растительных остатков, навоза и др.) и тем самым увеличивает количество новообразованного гумуса, и часть азота минеральных удобрений закрепляется в почве в органической форме.

2 Для поддержания бездефицитного баланса органического вещества в пахотном слое почв необходимо вносить органические удобрения в сочетании с оптимальными нормами минеральных туков, рассчитанных на запланированный урожай с учетом запасов питательных элементов в почве и внесения их с органикой.

3 При разработке системы удобрений следует иметь в виду, что нормы органических удобрений существенно изменяются в зависимости от типа севооборота, структуры посевов, уровня урожайности и должны уточняться с учетом местных условий. Научными учреждениями разработаны нормы внесения органических удобрений для орошаемых почв юга России [42]: на выщелоченные черноземы – 7–12 т/га в год; на обыкновенные – 6–8 т/га в год; на каштановые почвы – 4–5 т/га.

4 Эффективность 1 т сидератов за ротацию севооборота эквивалентна 1 т подстилочного навоза. Так, например, 150–200 ц зеленой массы пожнивной бобовой культуры, запаханные поздней осенью по своему удобрительному действию, равноценны внесению 20 т навоза на 1 га [43].

5 Многолетние травы накапливают 1,0–1,5 т/га органического вещества в год, а при высоких урожаях – до 6–10 т/га.

6 С каждой 1 т измельченной соломы, стержней и корней вносится до 800 кг органического вещества, 15 кг азота, 8 кг калия, микроэлементы соломы стимулируют биологическую активность почв. Развивающийся при ее внесении комплекс сапрофитной микрофлоры подавляет болезнетворные микроорганизмы, способствует мобилизации питательных веществ из почвы, фиксации атмосферного азота. Солому хорошо вносить с жидким навозом, фосфатами, терриконовой породой. В солоmistый навоз следует добавлять азотные удобрения – на 1 т до 15 кг азота.

7 Органические удобрения (навоз КРС, птичий помет, измельченную солому) целесообразно сочетать с содержащими кальций мелиорантами. Мелиоранты способствуют лучшему использованию удобрений, повышают коэффициент гумификации, снижают подвижность гуматов, увеличивая последствие удобрений.

8 В связи с недостатком органики следует развивать компостирование [44]. Исходными материалами служат осадки сточных вод, промышленных и бытовых отходов, популяции бактерий и других микроорганизмов, а также наличие кислорода и влажности. При внесении компостов в почву поступает на гектар в среднем 50–60 кг азота, 15–20 кг фосфора, 16–20 кг калия, 50–70 кг кальция, 12–15 кг серы, а также зольные вещества и микроэлементы. По сравнению с навозом при внесении в равных дозах компоста и навоза в почву поступает в один-два раза больше азота, в 12–20 раз фосфора, а калия, кальция и серы в несколько десятков раз. В компостах наблюдается большее содержание бора, йода, меди, марганца, кобальта [45].

Прямое воздействие на консервативную часть гумуса с целью увеличения содержания и запасов гуматов и гумина, изменения группового состава гумуса более сложно. Для этого необходимо изменить или общие условия гумификации или использовать хорошо гумифицированные органические удобрения: гуминовые препараты, углегуматы, органо-минеральные компосты [46–48].

Оптимизация питательного режима при циклическом орошении осуществляется минеральными и органическими удобрениями.

Основные виды минеральных удобрений (МУ) представлены фосфорными, азотными, калийными (таблица 9) [47, 49–54].

Таблица 9 – Виды минеральных удобрений

Вид удобрения	Содержание д. в., %
Фосфорные удобрения	
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

Для оптимизации минерального питания сельхозкультур необходимо сбалансированное внесение не только макроэлементов, но и микроэлементов (таблица 10). Существенным недостатком минеральных удобрений является наличие в них сопутствующих балластных элементов и токсичных веществ.

Таблица 10 – Виды микроудобрений

Микроудобрение	Содержание металла, %
Сульфат меди	24,9
Пиритные огарки	0,2–0,4
Сульфат марганца	24,9
Сульфат цинка	27,7
Марганцевые шламы	14–17
Молибденовокислый аммоний	50
Борная кислота	16
Молибдат аммония-натрия	35
Бормагниевое	9
Борнодатолитовое	13–14
Окись цинка	65

Для выбора режимов циклического орошения, а также оценки потенциального выноса веществ в водные объекты важную роль играет растворимость минеральных удобрений в воде.

Наиболее растворимыми являются азотные удобрения, такие как аммиачная селитра, мочевины, сульфат аммония и т. д. Фосфорные и калийные удобрения менее растворимы [49–53, 55–58].

На данный момент особое внимание уделяется смешанным удобрениям, выполняющим не только удобрительные функции, но и стимулирующим рост растений, процессы формирования качества урожая, в частности, накопления белка, усиливающего процессы реутилизации элементов питания из вегетативных органов.

Широкое распространение в последние годы получило новое комплексное безбалластное удобрение – КРИСТАЛОН [59].

КРИСТАЛОН представляет собой мелкокристаллическую гигроскопическую слабослеживающуюся массу светло-зеленого цвета. Содержит 18 % азота (из них 4,9 % в нитратной, 3,3 % – в аммиачной и 9,8 % в амидной формах), по 18 % фосфора и калия, 3 % магния, 0,025 % цинка.

Все элементы питания содержатся в водорастворимой форме. Микроэлементы находятся в форме хелатного комплекса с ЭДТА. Это легко растворимые в воде и доступные растениям соединения, кото-

рые практически не закрепляются почвой, как простые соли, и не разрушают органические структуры действующего вещества пестицидов, что делает возможным совмещение обработок. В отличие от гуматов, содержание питательных веществ в которых непостоянно, КРИСТАЛОН строго соответствует сертификату анализа.

Традиционно во всем мире КРИСТАЛОНЫ используют для организации полного минерального питания культур закрытого грунта (гидропоника) и в системах капельного орошения, но в России КРИСТАЛОНЫ отлично зарекомендовали себя в качестве листовой подкормки для полевых культур.

НИТРАБОР представляет собой смесь кальциевой селитры с кристаллической борной кислотой. Содержит 15,5 % азота, 26 % кальция, 0,2 % бора, рекомендуемая доза внесения под большинство полевых культур – 20–50 кг/га. Производитель КРИСТАЛОНОВ и НИТРАБОРА – компания «Hydro Agri Rotterdam B.V.» (Голландия).

МАСТЕР 18.18.18+3 и МАСТЕР 3.11.38+4 представляют собой кристаллический продукт белого цвета. По химическому составу они абсолютно идентичны соответственно КРИСТАЛОНУ ОСОБОМУ и КРИСТАЛОНУ КОРИЧНЕВОМУ.

Удобрение АВА – это комплексное бесхлорное, стимулирующее рост почвенных микроорганизмов, удобрение, представляющее собой высокотемпературный закаленный расплав солей метафосфорной кислоты. Состав сбалансирован по всем основным элементам питания растений (таблицы 11, 12). Удобрение негигроскопично, имеет острую температурную зависимость растворения. Рабочая температура растворения удобрения в почве выше плюс 8 °С [54].

Таблица 11 – Состав удобрения, включающий широкий спектр макроэлементов, необходимых для питания растений

Состав	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S
Массовая доля, %	48–55	14–25	8–12	5–8	0,5–1,0

Таблица 12 – Микроэлементные добавки

Состав	B	Fe	Mn	Co	Mo	Zn	Cu	Se	SiO ₂ (раств.)
Массовая доля, %	0,5–0,1	0,5	0,1	0,1	0,01	0,05	0,02	0,0005	До 2,0

Растворение стеклообразных гранул удобрения происходит постепенно в течение двух-трех лет в отличие от традиционных удобрений, которые сразу растворяются и вымываются из почвы. Интенсив-

ность растворения гранул АВА зависит от температуры среды, что соответствует изменению потребности растений в питательных элементах при различных температурных условиях. При сезонном снижении температуры и темпов развития биомассы скорость растворения стеклообразных фосфатных гранул также резко замедляется.

МИКРОМАК и МИКРОЭЛ – комплексные минеральные удобрения с микроэлементами. Комплекс этих удобрений имеет цель повысить эффективность работы фосфорных и калийных удобрений и снизить традиционное внесение азотных удобрений за счет повышения эффективности их использования, а также активизации процесса азотфиксации. Испытания показали возможность снижения дозы внесения азотных удобрений на 30–50 % без снижения урожайности зерновых культур. Производится данный препарат ООО «Волски Биохим» (г. Нижний Новгород).

БОРОПЛЮС представляет собой продукт ферментативного разложения растительного субстрата. Характеризуется высоким содержанием аминокислот и прогормональных соединений, в результате чего выполняет функцию стимулятора роста растений. По данным производителя, МЕГАФОЛ может играть роль стрессопротектанта, стимулирует обмен веществ и усвоение растениями элементов питания из удобрений и почвы. Удобрения серии МАСТЕР, БОРОПЛЮС и препарат МЕГАФОЛ производятся компанией Valagro (Италия).

Таким образом, быстрорастворимые минеральные удобрения лучше использовать при неорошаемом режиме, а постепенно растворимые в течение двух-трех лет – при орошаемом режиме.

В севообороте эффективность удобрений значительно возрастает по сравнению с бессменным возделыванием культур или монокультур за счет более полного использования питательных веществ разными культурами.

Большое влияние на нормы удобрений под культуры оказывают предшественники, которые оставляют в почве неодинаковые количества пожнивно-корневых остатков, по-разному удобряются, оказывают различное влияние на водный и питательный режимы почвы, засоренность полей и т. д.

При разработке системы удобрений в севообороте, прежде всего нужно изучить урожайность сельскохозяйственных культур по полям севооборота за последние три-пять лет и запланировать их урожай-

ность на предстоящие годы в соответствии с местными почвенно-климатическими и организационно-хозяйственными условиями, а при циклическом орошении уточнить соотношение орошаемого и неорошаемого режимов.

Во-вторых, необходимо установить факторы, находящиеся в минимуме, ограничивающие рост урожайности сельскохозяйственных культур и эффективность удобрений, обеспеченность каждого поля доступными формами питательных веществ.

Главным фактором, определяющим уровень урожаев и их устойчивость в зоне с недостаточным и неустойчивым увлажнением, является влагообеспеченность сельскохозяйственных культур в период вегетации. Поэтому основой эффективного ведения земледелия без орошения (неорошаемого режима) в данных условиях служат агротехнические мероприятия, направленные на накопление влаги в почве, и наиболее экономное, эффективное ее использование выращиваемыми растениями. Система удобрений без орошения должна способствовать ослаблению зависимости урожая от погодных условий. Как показывает практика, этому может содействовать применение в севооборотах умеренных количеств органических и минеральных удобрений.

Так как основой земледелия зоны неустойчивого увлажнения Волгоградской области являются зерновые культуры, то система удобрения состоит в использовании ресурсов навоза с внесением его в одном-двух полях севооборота по 10–15 т на 1 га при средней обеспеченности навозом 1–2 тонны на 1 га пашни и в применении небольших количеств минеральных удобрений [60]. Фосфорные удобрения вносят в малых дозах в рядки при посеве зерновых, азотные – под озимую пшеницу в подкормку, а под яровую пшеницу – до посева в дозах 20–30 кг N на 1 га. Такие минимальные дозы удобрения при выполнении агротехнических приемов богарного земледелия обеспечивают получение возможных урожаев с поддержанием плодородия почв на современном его уровне.

Система удобрений в севооборотах на участках с циклическим орошением должна быть только органо-минеральной. Это позволит сохранить стабильность показателей, характеризующих потенциальное плодородие почвы, и обеспечить устойчивые высокие урожаи возделываемых культур.

Основным органическим удобрением при неорошаемом режиме, когда не проявляется щелочность, является навоз, птичий помет, измельченная солома, сидераты. Если требуется органика в орошаемую фазу, следует использовать удобрительно-мелиорирующие компосты и смеси, которые одновременно устраняют щелочность и солонцеватость, обогащают почву органическим веществом и создают условия для процессов гумификации и нитрификации [41, 61].

Система удобрений в севообороте не является постоянной. Под влиянием их систематического использования изменяются агрохимические параметры почвы, в соответствии с этим должны корректироваться дозы и соотношения вносимых туков.

Выявлено, что при систематическом внесении полного минерального удобрения, повышенных доз фосфорных удобрений, а также навоза происходит заметное увеличение содержания валового и, особенно, подвижного фосфора. Необходимость фосфорных удобрений в данном случае снижается. Так, при содержании в почве P_2O_5 4–10 мг/кг почвы нормой фосфорных удобрений под озимую пшеницу оказалась $P_{120-150}$, при содержании 25–30 мг/кг почвы она, соответственно, уменьшилась до 50–90 мг/кг, а при высоком содержании – 40 мг/кг почвы и выше, внесение фосфора ограничивалось предпосевным.

В отличие от фосфора азот не накапливается в почве на орошении в значительных количествах, последствие его выражено менее четко. Положительное действие калия во времени на поливных землях, как правило, возрастает. Особенно это проявляется при насыщении севооборотов многолетними травами.

Рассчитанную дозу удобрений следует корректировать в зависимости от запасов питательных веществ на участках, от предшественников и от вида удобрений на предшествующую культуру.

Для получения планируемых урожаев озимой пшеницы и кукурузы на орошаемых черноземах должен поддерживаться бездефицитный баланс азота. Для этого в севообороте озимая пшеница должна размещаться по плану или обороту пласта люцерны. Под кукурузу необходимо вносить органические удобрения в сочетании с минеральными, применять сидераты, осуществлять культуртехнические работы, направленные на активизацию микробиологических процессов в почве.

Фосфорные удобрения нужно рассчитывать таким образом, чтобы полностью компенсировать количество фосфора, выносимого из почвы с урожаем, а на бедных по этому элементу почвах предусмотреть его постепенное накопление. На фосфорное питание значительное влияние оказывает правильное сочетание доз азота и фосфора, которое создает нормальные условия для формирования планируемого урожая.

Чтобы избежать передозировки, минеральные удобрения лучше вносить в дозах, рассчитанных на планируемый урожай с учетом содержания питательных веществ в почвах. Эти дозы не должны превышать рекомендуемые (таблица 13).

Таблица 13 – Примерные нормы внесения минеральных удобрений при выращивании сельскохозяйственных культур на орошаемых черноземах

Культура	Норма удобрений
Озимая пшеница по пропашным	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₆₀
Озимая пшеница по пласту	N ₉₀ P ₆₀ K ₃₀
Кукуруза на зерно по обороту пласта	N ₁₂₀₋₁₄₀ P ₁₂₀₋₁₃₀ K ₆₀
Ячмень на корм (покровная люцерна)	N ₇₀ P ₁₂₀₋₁₈₀ K ₆₀₋₉₀
Люцерна	N ₈₀₋₉₀ P ₁₂₀₋₁₆₀ K ₆₀₋₉₀
Кукуруза на смеси и силос	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₆₀
Кормовая свекла	N ₉₀₋₁₂₀ P ₉₀₋₁₂₀ K ₆₀₋₁₂₀
Соя	N ₆₀ P ₆₀₋₉₀ K ₆₀
Промежуточные	N ₉₀₋₁₂₀ P ₆₀₋₉₀ K ₄₀₋₆₀

4 Подбор культур для севооборотов, осваиваемых в условиях циклического орошения

Циклическое орошение предусматривает, что в специальном севообороте в течение определенного числа лет возделываются влаголюбивые культуры (поливной режим), а остальное время отведено под возделывание засухоустойчивых культур (неорошаемый режим).

При этом основной целью орошаемого режима в циклическом орошении является получение максимальных урожаев влаголюбивых культур, а неорошаемый режим предназначен для восстановления нарушенного регулярным орошением равновесия почвенных процессов, то есть восстановления почвенного плодородия.

При подборе культур для циклического орошения необходимо учитывать, что каждая культура выполняет роль предшественника (определяя запасы гумуса, азота и других элементов плодородия), а также противозерозионную и санитарно-защитную роль. То есть при пра-

вильном чередовании каждая предшествующая культура должна обеспечить наилучшие условия для развития последующей независимо от текущего режима, а особенно при переходе от одного режима к другому.

Именно поэтому при циклическом орошении на первый план выходит учет требований к произрастанию, а также использование возможностей и биологических особенностей сельскохозяйственных культур нормально развиваться в тех или иных почвенно-мелиоративных условиях. Кроме того, необходимо учитывать логистические возможности района, где возделываются сельскохозяйственные культуры в системе циклического орошения, наличие рынка сбыта и востребованность их на потребительском рынке. Только при сочетании этих факторов имеется возможность эффективного внедрения циклического орошения и экономической эффективности производства продукции растениеводства.

Основные требования влаголюбивых и засухоустойчивых культур к условиям произрастания представлены в таблицах 14 и 15 [39, 41, 42, 62, 63].

При входе в режим полива при циклическом орошении предпочтение отдается высокоокупаемым культурам – овощным и кормовым, при неорошаемом режиме возделываются засухоустойчивые высокопродуктивные культуры – озимая пшеница, подсолнечник и другие.

После ряда лет регулярного орошения сельскохозяйственных культур на этом участке начинают активизироваться негативные почвенные процессы, поэтому требуется перевод земель в неорошаемый режим земледелия, основная цель которого – восстановление почвенного плодородия.

Ведущая роль при этом режиме принадлежит культурам – фитомелиорантам (многолетние травы, соле- и солонцеустойчивые культуры, дренирующие культуры) (таблица 16) [62, 63].

Многолетние травы, бобовые и злаковые оставляют после себя в почве большое количество корней и пожнивных остатков, которые разлагаясь при доступе воздуха, образуют перегной, который увеличивает растворимость почвенных минералов и распадается до простых солей. Происходит процесс минерализации органического вещества.

Таблица 14 – Требования к условиям произрастания и участие в образовании гумуса влаголюбивых культур

Культура	Лучшие предшественники	Для каких культур лучший предшественник	УГВ, см	Корневая система, глубина проникновения	Требования к органике	Солеустойчивость, солонцевостойчивость, рН	Срок		Продолжительность вегетации, дни	Количество пожнивных остатков, ц/га		Средняя урожайность, ц/га		Минерализация гумуса, т/га		Образование гумуса, т/га		Накопление гумуса, т/га	
							посева	уборки		богара	орошение	богара	орошение	Расчетное					
														богара	орошение	богара	орошение	богара	орошение
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Кукуруза на зерно	Озимая пшеница, овощи, кормовые смеси (бобовые, сахарная свекла)	Подсолнечник	100–120	Мощная, мочковатая, многогрудная, силёноразветвленная. Глубина до 3 м	Требовательна	Среднеустойчива к засолению. Неустойчива к солонцеватости. рН = 6,0–7,0	Конец апреля – начало мая	Первая декада сентября	90–150	7	13,5	38	73	0,07	0,15	0,14	0,27	+0,07	+0,12
Горох	Озимые зерновые, кормовые, пропашные и овощные культуры, масличные	Зерновые, овощные и кормовые	70–80	Стержневая	Очень требователен	Среднеустойчив к засолению. Неустойчив к солонцеватости. рН = 6,0–7,0	При наступлении физической спелости почвы	Начало июля	Скороспелые 60–65	18,2	37	14	37	0,01	0,037	0,36	0,74	+0,35	+0,7
									Позднеспелые 100–120	15,6	39,6	12	44	0,01	0,044	0,31	0,79	+0,3	+0,75

Продолжение таблицы 14

20	-0,32
19	-0,11
18	0,39
17	0,19
16	0,7
15	0,3
14	320
13	150
12	38,5
11	19,5
10	60–180
9	Усыхание ботвы, образование на клубнях плотной шелушащейся корки, подсыхание столонов и легкое отделение от них клубней
8	После окончания посева зерновых, при <i>t</i> почвы на глубине 8–10 см 7–8 °С
7	Среднеустойчив к засолению. Неустойчив к солонцеватости. рН = 5,0–5,5
6	Требователен, умеренно требователен
5	Развита слабо, обладает высокой поглотивительной способностью особенно к фосфору
4	100–120
3	Озимые и яровые зерновые, кукуруза на силос, кормовые, зерновые бобовые, масличные прядильные
2	Озимые зерновые и кормовые, горох, соя, люцерна, люцерно-злаковые смеси, корнеплоды, капуста, огурцы, бахчевые, пар, занятый горохо-овсяными смесями, овощи, бобовые, кукуруза
1	Картофель

Продолжение таблицы 14

20	+0,6	+1,0
19	+0,2	+0,6
18	0,6	1,04
17	0,25	0,64
16	0,03	0,04
15	0,01	0,02
14	25	40
13	6-12	20
12	30	52
11	12,6	32
10	128-150	60-90
9	Уборка в фазу образования бобов до осыпания листьев. Влажность зерна – 15 %.	Раздельный способ уборки при побурении 67-75 % плодов
8	При <i>t</i> почвы 8-10 °С	При <i>t</i> почвы 12-15 °С, когда минует опасность заморозков, в рисовых посевах 20.06-25.06, в пожнивных – 1.07-10.07
7	Среднеустойчива к засолению. Неустойчива к солонцеватости. рН = 6,5-7,1	–
6	Малотребовательна	Безразлична, богатство гумусом снижает качество продукции
5	0,4-0,6 м	До 1 м
4	–	–
3	Кукуруза на зерно, сборное поле овощей, кормовые и технические культуры	–
2	Озимая пшеница, кукуруза, люцерна, овощные культуры, кормовая и сахарная свекла, картофель	Озимый рапс, ячмень, рожь, ранние сорта картофеля, озимые, кукуруза на силос, сахарная свекла, зернобобовые
1	Соя	Гречиха

Продолжение таблицы 14

20	+2,1		+0,57	+0,56	+1,49
19	+1,2		+0,3	+0,4	+0,8
18	2,2		0,59	0,96	1,58
17	1,21		0,29	0,62	0,88
16	0,01		0,02	0,4	0,09
15	0,06		0,01	0,21	0,05
14	100		21	400	88
13	55		14,5	205	49
12	110		29,3	48	79,2
11	60,5		23,2	30,8	44,1
10	100–120		290–320		85–140
9	Раздельный способ (полная спелость верхней части метелки)		–		–
8	Ранний посев		Севот на 2–3 недели раньше озимых культур		В первой декаде мая, при прогревании верхнего слоя воды до 12–15 °С
7	Среднеустойчив к засолению. Среднеустойчив к солонцеватости		Устойчив к засолению		Устойчив к засолению. Среднеустойчив к солонцеватости. рН = 6,0–8,7
6	Умеренно требователен		–		Умеренно требователен
5	До 1,2 м		Стержневая, хорошо развита		Мочковатая, поверхностная. Глубина до 0,25 м
4	80		–		–
3	Озимая пшеница		–		–
2	Пропашные или зерновые бобовые (особенно горох)		Многолетние травы, сидосные культуры, зерновые колосовые		Зерновые бобовые (горох, соя), пшеница, кукуруза, сорго, люцерна, клевер
1	Овес		Рагс озимый		Рис

Продолжение таблицы 14

20	-0,4	-0,3	-0,1
19	-	-	-
18	0,03	0,44	0,26
17	-	-	-
16	0,5	0,8	0,4
15	-	-	-
14	250	400	200
13	-	-	-
12	30	44	26
11	-	-	-
10	55-60	100-120	130-145
9	С 10-20 июля через 2-3 дня, в период массового плодоношения – через 1-2 дня	-	В начале августа
8	III декада мая и I декада июня	-	-
7	Среднеустойчив к засолению. Среднеустойчив к солонцеватости. рН = 6,4-7,0	Среднеустойчива к солонцеватости. рН = 6,5-8,0	Среднеустойчив к засолению. Среднеустойчив к солонцеватости. рН = 5,5
6	Очень требователен	Очень требовательна	Требователен
5	-	Стрежневая, до 1 м	Слабо развита, мочковатая
4	-	-	-
3	Дук, морковь, капуста, томаты	Томат	Морковь, капуста
2	Белокочанная и цветная капуста	Дук батун и репчатый, капуста, томат, огурец, ранний, картофель, горох	Ранняя белокочанная и цветная капуста, огурец, томат, зерновы
1	Огурец	Морковь	Дук

Продолжение таблицы 14

20	-0,4	-0,1
19	-	-
18	0,44	0,26
17	-	-
16	0,8	0,4
15	-	-
14	400	200
13	-	-
12	44	26
11	-	-
10	130-150	111-120
9	Август – сентябрь	-
8	Май – июнь	I декада мая
7	Среднеустойчива к засолению. рН = 6,5-7,4	Среднеустойчив к засолению. Среднеустойчив к солонцеватости. рН = 5,5-7,0
6	Требовательна	Очень требователен
5	Развита слабо. Глубина до 0,6-0,7 м	-
4	-	-
3	Овощи, сильно зарастающие сорняками (корнеплоды)	Огурец, лук
2	Клевер, картофель, огурец, сельдерей, бобовые, овощи, горох, лук	Капуста, лук, морковь, зернобобовые, тыквенные, (огурец, кабачок, патиссон, тыква), люцерна
1	Капуста	Томат

Таблица 15 – Требования к условиям произрастания и участие в образовании гумуса засухоустойчивых культур

Куль-тура	Луч-ший пред-шест-вен-ник	Для ка-ких культур лучший пред-шест-венник	УГВ, см	Корне-вая сис-тема, глубина про-никно-вения	Тре-бова-ния к орга-нике	Соле-устойчи-вость, солонце-устойчи-вость, pH	Срок		Продолжи-тельность вегетации, дни	Количество пожнивных остатков на 1 га, ц/га		Урожай-ность, ц/га		Минерали-зация гумуса, т/га		Образование гумуса, т/га		Накопление гумуса, т/га	
							по-сева	убор-ки		бо-гара	оро-шение	бо-гара	оро-шение	Расчетное					
														бо-гара	оро-шение	бо-гара	оро-шение	бо-гара	оро-шение
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Люцерна на сено	Картофель, кукуруза, бахчевые, озимая пшеница по пару	–	70	При беспопроном посеве – 100–150 см, на легких почвах – 200–250 см	Малотребовательна	Средняя солестойчивость. Средняя солонцестойчивость. pH = 7,0–8,3	Ранние сроки после посева озимых хлебов	–	При t = 22–23 °С – 42 дня – первая половина лета, 3 и 4 укосы – около 55 дней – вторая половина лета	Первый год жизни									
										79,2	66	100–120	–	0,05	0,08	1,58	1,98	+1,5	+1,9
										Второй и третий годы жизни									
										52,5	25–50	90–100	–	0,04	0,07	1,05	1,71	1,46	1,64

Продолжение таблицы 15

20	+1,1	+0,7
19	+0,5	+0,3
18	1,13	0,7
17	0,53	0,34
16	0,052	0,03
15	0,018	0,01
14	50	30
13	5–30	13
12	56,7	36
11	26,3	16,9
10	240–320	Раннеспелые – 80–90 дней, среднераннеспелые – 90–110 дней, среднеспелые – 100–120 дней и более
9	–	Ранние сорта – конец августа – начало сентября, среднепоздние – сентябрь – начало октября
8	1.09–20.09	Когда <i>t</i> почвы на глубине заделки семян 8–10 °С
7	Среднеустойчивая к засолению. Среднеустойчивая к солонцеватости. рН = 6,5–8,5	Среднеустойчив к засолению. рН = 6,0–6,8
6	Требовательна	Требователен
5	До 1,5 м	Более 3 м
4	90–110	–
3	Пропашные, овощные, зернобобовые, яровые зерновые культуры	Кукуруза, злако-бобовые и др. смеси на корм, овес, ячмень, яровая пшеница
2	В зоне недостаточного увлажнения – черные пары; острозасушливые районы – кулисные пары; степная зона – кукуруза на силос; зернобобовые культуры, однолетние травы (кроме сорго и суданской травы)	Озимая пшеница, кукуруза на зерно, озимые на корм, ранние и поздние овощные, соя, горох, фасоль
1	Озимая пшеница	Подсолнечник

Продолжение таблицы 15

20	-0,2	+0,8	+0,8
19	-0,1	+0,6	+0,7
18	0,3	0,8	0,8
17	0,23	0,6	0,5
16	0,5	0,04	0,04
15	0,36	0,02	0,03
14	250	40	40,5
13	178	21,4	27,5
12	30	40	56,7
11	23	29,9	35,8
10	1 год жизни – 110–120; 2 год жизни – 110–130	50–100	В среднем 80 дней (55–115 дней)
9	–	Раньше озимых ржи и пшеницы	–
8	–	1.09–20.09	1.05–10.05
7	Среднесолеустой- чива. рН = 6,5–8,0	Устойчив к засолению. Устойчив к солонцеватости. рН = 6,1–7,2	рН = 7,0–8,5
6	Требовательна	Требователен	Умеренно требовательно
5	–	–	Мочковатая, 0–40 см
4	–	90–110	80
3	–	–	–
2	Озимые зерновые, бобовые, карто- фель, овощи, пропашные	Кукуруза, подсолнечник, зерновые бобовые культуры, озимая пшеница	Кукуруза
1	Кормовая морковь	Озимый ячмень	Просо

Продолжение таблицы 15

20	+2,1	+0,8	+0,7	0,74
19	+1,2	+0,4	-0,5	+0,2
18	2,2	0,78	0,99	0,77
17	1,21	0,41	0,68	0,25
16	0,01	0,03	0,32	0,03
15	0,06	0,014	1,16	0,014
14	100	30	450	32
13	55	13,5	225	14,1
12	110	39	49,5	38,4
11	60,5	20,2	33,7	12,5
10	100-120	90-110	270	
9	-	В фазе восковой спелости	-	
8	Как можно раньше	Одновременно с ранними зерновыми культурами	25.09-25.10	
7	Среднеустойчив к засолению. Среднеустойчив к солонцеватости. рН = 5,0-7,5	-	Среднеустойчива к засолению. Среднеустойчива к солонцеватости. рН = 5,5-7,2	
6	Умеренно требователен	-	Малотребовательна	
5	До 1,2 м	2-3 м	Мощная корневая система	
4	80	-	80-120	
3	-	-	Кукуруза, картофель, сахарная свекла, кормовые корнеплоды	
2	Пропашные или зерновые бобовые (особенно горох)	Озимые зерновые, бобовые и пропашные культуры, яровые зерновые	Горох, картофель, вико-овсяная смесь	
1	Овес	Горчица	Рожь озимая	

Продолжение таблицы 15

1	Сахарная свекла	Дровяя пшеница
2	Удобренные озимые зернобобовые, кукуруза	Озимые пропашные культуры, кукуруза, подсолнечник, картофель, зерновые бобовые
3	–	–
4	100–110	90–110
5	2,5 м	Основная часть корней на глубине 0,20 м, 70–80 % массы корней – до 0,6 м
6	Требовательна	Требовательна
7	Устойчива к засолению. Устойчива к солонцеватости. рН = 6,5–7,5	рН = 6,0–7,5
8	Когда <i>t</i> почвы на глубине 5–7 см достигнет 6–8 °С	Самые ранние сроки посева
9	Конец августа – начало сентября	–
10	–	75–115
11	28,8	36,3
12	46,2	49,5
13	24	33
14	42	55
15	0,48	0,03
16	0,84	0,06
17	0,29	0,73
18	0,5	0,99
19	–0,2	+0,7
20	–0,38	+0,9

Продолжение таблицы 15

20	+1,2	+1,1	+0,8
19	+0,4	+0,5	+0,5
18	1,26	1,98	0,83
17	0,42	0,75	0,48
16	0,07	0,9	0,04
15	0,02	0,25	0,02
14	70	900	37,5
13	16,1	250	15
12	63	99	41,3
11	20,9	37,5	24
10	60-110	-	-
9	Первая-вторая декада июня	-	-
8	Конец марта – начало апреля	При <i>t</i> почвы, 12-15 °С на глубине заделки семян	
7	pH = 6,8-7,5	Среднеустойчиво к засолению. Среднеустойчиво к солонцевато- топsti. pH = 6,0-7,0	
6	Требователен	Малотребовательно	
5	Мочковатая слабо развитая корневая система	2,5 м	
4	90-110	-	
3	Овес, кукуруза и др. яровые культуры	-	
2	Пропашные кормовые, зернобо- бовые, овощные, озимая пшени- ца, кукуруза, картофель, сахар- ная свекла, промежуточные культуры весеннего и летнего посевов	Зерновые, бобовые, озимые культуры	
1	Яровой ячмень	Сорто	

Таблица 16 – Культуры-освоители (фитомелиоранты)

Культура	Солеустойчивость			Солонцеустойчивость			Особенность корневой системы	Мелиоративная роль
	слабая	средняя	сильная	слабая	средняя	сильная		
Донник (бобовые)			+			+	1,5–2 и до 5 м	Биологический дренаж, рассоление, рассолонцевание. При возделывании на сидераты – максимальное количество растительных остатков – 8,7 т/га
Люцерна (бобовые)		+			+		Мощная стержневая до 3 м	Биологический дренаж, азотфиксация в почве, рассоление почв
Эспарцет на сидераты (бобовые)	+				+		3,6 м	При возделывании на сидераты – количество растительных остатков – до 8,2 т/га, обогащает азотом
Вика озимая (бобовые)	+							Поставщик биологического азота
Рапс (масличные)			+	+				Санитарная роль
Райграс (многолетние злаки)	+						Мощная мочковатая корневая система	Оструктурирование почвы
Клевер (бобовые)							1,5–2 м в глубину, 60–70 см в сторону	Усиливает жизнедеятельность микроорганизмов, улучшает структуру почв, обогащает питательными веществами

Растения с глубокой и мощной корневой системой, такие как люцерна и другие, кроме большой массы корневых остатков оказывают на плодородие почвы многостороннее влияние. Оно состоит в том, что их сильные стержневые корни пронизывают плотные подпахотные слои, проделывая в них большие ходы. Отмирая, такие корни оставляют трубы, наполненные рыхлым органическим веществом. Корни дренируют почву на большую глубину, что улучшает ее структуру и способствует лучшему росту и развитию культур севооборота при циклическом орошении. Кроме того, при проникновении корне-

вой системы в глубокие слои почвы к ее поверхности выносятся кроме воды значительное количество минеральных солей.

В глубоких подпахотных слоях накапливается много углекислого газа, который, растворяясь, образует угольную кислоту H_2CO_3 , в свою очередь растворяющую минералы. При этом в раствор переходят фосфор, калий, кальций и другие элементы. Корни растений с глубокой и мощной корневой поднимают растворенные минеральные соли к поверхности почвы, которые после их отмирания откладываются в пахотном слое.

Из группы культур с глубоко проникающими корнями особо выделяется донник. Кроме высоких кормовых достоинств, эта культура служит мелиорантом. На солонцовых почвах донник дает устойчивые урожаи сена, а самое главное, способствует их рассолению и улучшает агрофизические свойства.

Мощная корневая система донника пронизывает слои почв, улучшает их водный и воздушный режим, что способствует рассолению и рассолонцеванию этих слоев. Урожай последующих зерновых культур значительно повышается.

Основное значение в накоплении органического вещества почвы имеют пожнивные остатки сельскохозяйственных культур. Они служат источником энергии для жизнедеятельности микроорганизмов и элементов минерального питания для растений, а также исходным материалом для образования гумуса.

Следует отметить большую ценность растительных остатков бобовых культур, которые в процессе вегетации концентрируют рассеянный в почве азот в органические соединения, которые в дальнейшем хорошо разлагаются в почве. Пожнивные остатки и корни бобовых содержат 1,5–2 % азота, а не бобовых – 0,5–0,8 %. Наибольшее количество органического вещества оставляют многолетние бобовые травы (люцерна, клевер) второго и третьего года жизни.

После бобовых даже без симбиотической азотфиксации содержание азота в корнях и растительных остатках увеличивается. Это связано как с биологическими особенностями бобовых, так и с тем, что вегетирующие растения изменяют энергетические условия для почвенных микроорганизмов. В результате происходит усиленная трансформация азота самой почвы, поглощение и накопление его в разных частях растений.

В процессе жизнедеятельности бобовых растений через корневую систему в почву выделяются различные органические вещества, оказывающие влияние на питание многочисленной и разнообразной гетеротрофной микрофлоры. Вследствие этого, в ней и особенно в ризосфере увеличивается численность и изменяется качественный состав микроорганизмов.

Повышение биологической активности почвы при возделывании бобовых является одним из основных факторов повышения плодородия почвы, роста продуктивности последующих культур и улучшения качества урожая.

Наибольшее количество растительных остатков бывает после заделки трав (сидерация). Это богатый источник органического вещества, который обеспечивает плодородие почвы на несколько лет. Если использовать, к примеру, в качестве сидератов эспарцет или донник, накапливающих от 8,2 до 8,7 т/га растительных остатков, то их заделка эквивалентна внесению 30–40 т/га навоза. При этом затраты на выращивание и заделку в два-три раза ниже, чем при заделке навоза, особенно в полях, расположенных далеко от животноводческих комплексов.

Использование озимых культур в сидеральном пару определяется получением всходов в оптимальные сроки летне-осеннего периода. Заслуживает особого внимания озимая вика как поставщик биологического азота. Ценность рапса определяется санитарной ролью в севообороте и интенсивным ростом в весенний период. Недостаток озимого рапса – его низкая зимостойкость в условиях Волгоградской области.

Из мятликовых культур представляет интерес использования в системе циклического орошения райграс, биологической особенностью которого является формирование мощной мочковатой корневой системы, обеспечивающей хорошую оструктуренность почвы.

Каждый гектар многолетних трав оставляет 4–5 т корневых и пожнивных остатков и около 150–160 кг связанного азота, 1 кг которого обходится в восемь раз дешевле, чем 1 кг азота промышленных туков.

Белая горчица особенно при заделке ее для сидерации уничтожает болезни сельскохозяйственных культур. В качестве примера нами представлен специальный севооборот, который может быть введен при освоении земель в режиме циклического орошения на территории Волгоградской области (таблица 17).

Таблица 17 – Чередование культур в специализированном севообороте при циклическом орошении

Культура	Требования к условиям произрастания	Оросительная норма, м ³ /га	Средняя урожайность		Количество пожнивных и корневых остатков, т/га	Минерализация гумуса		Образование гумуса		Накопление гумуса, т/га
			т/га	т к. е./га		К мин	т/га	К гум.	т/га	
Неорошаемый режим										
Подсолнечник	Оптимум влажности (ОВ) 60–70 % НВ. Корни располагаются до 3 м, солонцеустойчив. Накопитель влаги	0	1,4	2,0	1,69	0,01	0,014	0,2	0,34	0,33
Яровой ячмень на зерно	ОВ – 60–70 % НВ, малотребователен к почвенным условиям. Период вегетации ~ 85 дней	0	2,0	2,3	2,6	0,01	0,020	0,2	0,52	0,50
+ белая горчица на сидераты	ОВ – 60–70 % НВ		8,0		2,0	0,01	0,08	0,2	0,40	0,32
Орошаемый режим										
Картофель	ОВ – 70–80 % НВ, неустойчив к солонцеватости, требователен к органике	2200	30	9,0	3,85	0,02	0,6	0,1	0,39	–0,21
Капуста	ОВ – 85–90 % НВ, умеренно требовательна к органике	3000	35	4,6	3,8	0,02	0,7	0,1	0,38	–0,32

Продолжение таблицы 17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Неорошаемый режим										
Сахарная свекла	ОВ – 60–70 % НВ. Корневая система до 2,5 м. Устойчива к солонцеватости	0	35	9,1	3,85	0,02	0,70	0,2	0,77	0,07
Просо на зерно + горохо- подсолнечная смесь на корм	ОВ – 60–70 % НВ	0	2,8 21	3,3 4,3	3,36 3,57	0,01 0,01	0,028 0,21	0,2 0,2	0,67 0,71	0,64 0,50
Орошаемый режим										
Кукуруза на зерно	ОВ – 70–80 % НВ, требовательна к органике	3500	7,5	10,0	4,0	0,01	0,08	0,2	0,8	0,72
Соя на зерно	ОВ – 70–80 % НВ, малотребовательна к органике	4500	2,5	3,5	3,0	0,01	0,03	0,2	0,6	0,57
За весь цикл				48,0						+6,32

5 Периодичность полива сельскохозяйственных культур при циклическом орошении

Режим орошения при освоении земель при циклическом орошении предполагает создание максимально благоприятных условий для возделывания влаголюбивых культур. Поэтому режим орошения в этот период устанавливается таким, который требует культура, возделываемая в каждый год орошаемого режима.

Экологический оптимум влажности почвы для нормального роста и развития неодинаков у разных групп растений (таблица 18) [64, 65]. Оптимальная влажность для зерновых и корнеплодов составляет 55–70 %, капусты и картофеля – 65–75 % и для трав – 65–80 % от ПВ (НВ).

Таблица 18 – Оптимум влажности почвы для различных культур

Содержание воды в почве, % от полевой влагоемкости				
100	100–80	80–70	70–60	менее 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

Также меняется потребность культур во влаге и в зависимости от фазы развития. Чаще всего усиление потребности в воде происходит в начальные фазы развития культур, когда происходит усиленное развитие листовой, корневой или зерновой массы. Для каждой культуры такой критический период свой, и тогда даже небольшой недостаток влаги может сильно повлиять на будущий урожай (таблица 19).

Таблица 19 – Критические фазы развития сельскохозяйственных культур

Озимые	Выход в трубку – налив зерна
Кукуруза	За 10 дней до выметывания, 20 дней после массового выметывания
Зернобобовые	Бутонизация – цветение
Корнеплоды	Развитие листьев, формирование и рост корней
Картофель	Бутонизация, массовое клубнеобразование

Гранулометрический состав почвы существенно влияет на доступность влаги растениям. Так почвы тяжелого гранулометрического

состава (например, тяжелые суглинки), имеют очень высокий предел иссушения почвы, так как значительная часть влаги в них находится в недоступной для растений форме. Поэтому здесь нижний предел предполивной влажности почвы будет зависеть как от гранулометрического состава почвы, так и от биологических особенностей культур извлекать воду из почвы в зависимости от фазы их развития (таблица 20) [66].

Таблица 20 – Пороги влажности почв при выращивании сельскохозяйственных культур на орошении [66]

Культура	Фазы роста и развития растений	Расчетный слой почвы, см	Влажность расчетного слоя почвы, % от НВ			
			глинистые и тяжелосуглинистые	среднесуглинистые	легкосуглинистые	супесчаные
1	2	3	4	5	6	7
Зерновые колосовые	Кущение – колошение	50	$\frac{75}{95}$	$\frac{75}{95}$	$\frac{70}{90}$	$\frac{65}{85}$
	Колошение – молочная спелость	80	$\frac{75}{95}$	$\frac{70}{90}$	$\frac{65}{90}$	$\frac{65}{85}$
Кукуруза	Посев – образование девятого листа	50	$\frac{70}{90}$	$\frac{70}{90}$	$\frac{65}{85}$	$\frac{65}{85}$
	девять листьев – молочная спелость	80	$\frac{75}{95}$	$\frac{75}{95}$	$\frac{65}{85}$	$\frac{65}{85}$
	Посев – трубкование					
Однолетние травы	Трубкование – цветение	40	$\frac{70}{90}$	$\frac{70}{90}$	$\frac{65}{85}$	$\frac{65}{85}$
		60	$\frac{75}{95}$	$\frac{75}{95}$	$\frac{70}{90}$	$\frac{65}{85}$
Многолетние травы	Отрастание – ветвление второго порядка	60	$\frac{75}{95}$	$\frac{70}{90}$	$\frac{70}{90}$	$\frac{65}{85}$
	Ветвление второго порядка – бутонизация	80	$\frac{75}{95}$	$\frac{75}{95}$	$\frac{75}{95}$	$\frac{70}{90}$
Томаты	Посев – начало цветения	40	$\frac{80}{95}$	$\frac{80}{95}$	$\frac{80}{95}$	$\frac{75}{85}$
	Начало цветения – образование плодов	60	$\frac{85}{95}$	$\frac{85}{95}$	$\frac{85}{95}$	$\frac{80}{90}$

Продолжение таблицы 20

1	2	3	4	5	6	7
Капуста	Посадка – завивка кочана	40	$\frac{80}{90}$	$\frac{75}{90}$	$\frac{75}{85}$	$\frac{75}{85}$
	Завивка кочана – рост кочана	60	$\frac{80}{90}$	$\frac{80}{90}$	$\frac{80}{90}$	$\frac{80}{90}$
Картофель	Посадка – бутонизация	40	$\frac{75}{95}$	$\frac{75}{95}$	$\frac{75}{90}$	$\frac{75}{85}$
	Цветение – появление столонов	60	$\frac{85}{95}$	$\frac{80}{95}$	$\frac{80}{90}$	$\frac{80}{85}$
Примечание – в числителе – предполивная влажность, в знаменателе – после полива.						

Все указанные выше особенности почв и сельскохозяйственных культур следует учитывать при выборе режима полива при циклическом орошении. Только при соблюдении таких ограничений смогут выполняться требования экологической безопасности почв (недопущение переполивов и, как следствие, поддержание баланса воды и воздуха в почве), и создаваться условия для повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

Поливную норму следует рассчитывать по формуле [66, 67]:

$$D_{ir} = 100 \cdot H \cdot \alpha \cdot \beta_{\text{НВ}} \cdot (a - b) \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3,$$

где D_{ir} – поливная норма, м³/га;

H – глубина расчетного слоя, м;

α – плотность сложения почвы, т/м³;

$\beta_{\text{НВ}}$ – наименьшая влагоемкость, % от массы сухой почвы;

a и b – соответственно верхний и нижний пороги увлажнения почвы, доля от НВ;

k_1 , k_2 – коэффициенты, учитывающие потери воды на испарение при дождевании и подпитку грунтовых вод (таблицы 21, 22) [68–70];

k_3 – коэффициент снижения поливной нормы, обусловленный водонепроницаемостью почвы и уклонами поля (таблица 23) [66].

Примерные режимы орошения сельскохозяйственных культур для условий среднесухого года при глубине залегания грунтовых вод не более 3,0 м для районов Волгоградской области, где наблюдается недостаток увлажнения, представлены в таблице 24 [66].

Таблица 21 – Поправочный коэффициент (k_1) к поливной норме, учитывающий потери воды на испарение при дождевании (по данным ЮжНИИГиМ)

Относительная влажность воздуха, %	Коэффициент к поливной норме при скорости ветра на высоте 12 м, м/с						
	0	1	2	3	4	5	6
30	1,12	1,14	1,16	1,19	1,21	1,24	1,27
35	1,10	1,12	1,14	1,17	1,19	1,22	1,24
40	1,08	1,12	1,13	1,15	1,17	1,19	1,22
45	1,07	1,09	1,11	1,13	1,15	1,17	1,20
50	1,05	1,07	1,09	1,11	1,13	1,16	1,18
55	1,03	1,05	1,07	1,09	1,11	1,14	1,15
60	1,02	1,05	1,05	1,07	1,10	1,12	1,14
65	1,00	1,02	1,04	1,05	1,08	1,10	1,12
70	1,00	1,00	1,02	1,04	1,06	1,08	1,10
80	1,00	1,00	1,00	1,01	1,03	1,05	1,07

Таблица 22 – Поправочный коэффициент (k_2) к поливной норме, учитывающий уровень грунтовых вод

Гранулометрический состав почвы	Коэффициент к поливной норме при глубине грунтовых вод, м			
	1,0	1–2	2–3	3–4
Легкие	–	0,66	0,86	1,00
Средние	0,41	0,62	0,84	0,96
Тяжелые	–	0,60	0,77	0,90

Таблица 23 – Коэффициент (k_3) снижения поливной нормы, обусловленный водопроницаемостью почвы и уклонами поля

Уклон поля	Коэффициент снижения поливной нормы при водопроницаемости почв, м/ч				
	сильная (песок) > 0,15	повышенная (супесь) 0,08	средняя (легкий суглинок) 0,045	пониженная (средний суглинок) 0,025	слабая (тяжелый суглинок, глина) < 0,015
Большой 0,03–0,05	0,90	0,87	0,84	0,80	0,75
Повышенный 0,015–0,03	0,92	0,90	0,88	0,83	0,78
Выше среднего 0,007–0,015	0,94	0,91	0,90	0,86	0,81
Средний 0,003–0,007	0,96	0,93	0,91	0,89	0,84
Малый 0,001–0,003	0,98	0,95	0,93	0,91	0,87
Без уклона < 0,001	1,0	0,98	0,97	0,96	0,95

Таблица 24 – Режимы орошения сельскохозяйственных культур для засушливых и неустойчиво-влажных климатических зон Волгоградской области

Культура	Оросительная норма, м ³ /га
Озимая пшеница	1100
Яровой ячмень	700
Кукуруза на зерно	1700
Горох	1050
Сорго	1000
Гречиха, просо (летний посев)	1300
Соя на зерно	1700
Подсолнечник	1400
Сахарная свекла	1750
Люцерна на корм 2-го и 3-го года жизни	3000
Люцерна 1-го года жизни пожнивно	1200
Люцерна на семена	2400
Кукуруза на з/к и силос в поукосных посевах	1500
Свекла кормовая	2100
Картофель весенней посадки	1700
Картофель летней посадки	1900

Оптимальные поливные нормы для основного способа полива дождеванием находятся в пределах от 300 до 500 м³/га. В условиях Северного Кавказа поливные нормы менее 300 м³/га считаются малоэффективными из-за испарения влаги с поверхности почвы, а нормы, превышающие 450–500 м³/га, образуют поверхностный сток [35].

Ограничением длительности орошаемого режима является поднятие уровня грунтовых вод до 2,5 м. После достижения такого уровня необходимо переводить участок в режим неорошаемого использования.

6 Экономическая и экологическая эффективность применения циклического орошения

Основным показателем эффективности используемых приемов в сельскохозяйственном производстве Волгоградской области является урожайность сельскохозяйственных культур, которая определяется плодородием почв. Известно, что в результате длительного орошения почвенное плодородие земель снижается из-за развития негативных процессов, таких как щелочность и солонцеватость, уплотнение и слизистизация, дегумификация, сопровождаемая не только потерей гумуса, но и изменением его качественного состава в сторону фульватизации.

На этом фоне нарушается баланс питательных элементов и сни-

жается их доступность растениям. В первую очередь это связано с нарушением естественных процессов почвообразования, особенно черноземов, поэтому применяя циклический вид орошения, появляется возможность сохранения их плодородия при максимально эффективном использовании для сельскохозяйственного производства.

Сравнительный анализ экономической эффективности регулярного и циклического орошения нами проведен на черноземах обыкновенных среднедеградированных. При восьмилетнем освоении земель в режиме регулярного орошения они такими же и остались, а при циклическом орошении перешли в категорию слабодеградированных почв.

В связи с этим, несмотря на поливы, урожайность сельскохозяйственных культур при орошении была всего на 7–25 % выше, чем при неорошаемом режиме. А в среднем за восемь лет внедрения технологии на 1 га регулярного орошения было получено 5,89 т к. е., а на 1 га циклического орошения – 4,98 т к. е., то есть при регулярном орошении получено урожая сельскохозяйственных культур только на 16 % больше, чем при циклическом. Это связано с неудовлетворительным состоянием почв, и постоянное орошение культур мало повлияло на плодородие почв.

При этом для выращивания одних и тех же культур при регулярном орошении потребовалось воды на 60 % больше, чем при циклическом. Поэтому затраты на возделывание культур были выше при регулярном орошении за счет проводимых поливов.

Затраты рассчитывались по технологическим картам на каждую культуру. В среднем за восемь лет при регулярном орошении они составили 41,2 тыс. руб./га, а при циклическом – 36,8 тыс. руб./га.

Выручка соответственно составляла 141,4 тыс. руб./га и 136,9 тыс. руб./га (таблицы 25, 26). Стоимость продукции взята при расчетах из сайта «Agro.ru.com» на 2011 год. А чистый доход получен одинаковый – 100,2 и 100,1 тыс. руб./га. Отсюда следует, что орошаемые земли, подверженные деградации, для восстановления их плодородия должны осваиваться в режиме циклического орошения.

Это подтверждают и результаты экологической оценки регулярного и циклического орошения, которая представлена на примере трех хозяйств Ростовской области, где была проведена производственная проверка разработанной системы циклического орошения (таблица 27).

Таблица 25 – Экономическая эффективность возделывания сельскохозяйственных культур в севообороте при регулярном орошении

Культура	Оросительная норма, м ³ /га	Урожайность		Затраты, тыс. руб./га	Выручка, тыс. руб./га	Чистый доход, тыс. руб./га
		т/га	т к. е./га			
Подсолнечник	1400	2,38	3,50	16,3	19,04	2,74
Яровой ячмень + белая горчица на сидераты	700 + 400	4,50	5,09	13,9	36,0	22,1
Картофель	2200	32,5	9,75	158,2	487,5	329,4
Капуста	3000	25,0	3,25	68,8	200,0	131,2
Сахарная свекла	1750	36,3	9,44	22,7	290,4	267,7
Просо на зерно + горохо-подсолнечная смесь на корм	800 + 400	3,7	4,29	10,4	37,0	26,6
		27,0	5,13	6,8	13,5	6,7
Кукуруза на зерно	1700	2,4	3,22	18,8	23,0	4,2
Соя на зерно	1700	2,5	3,45	14,3	25,0	10,7
Итого в среднем за восемь лет	1756		5,89	41,2	141,4	100,2

Таблица 26 – Экономическая эффективность возделывания сельскохозяйственных культур в специальном севообороте при циклическом орошении

Культура	Требования	Оросительная норма, м ³ /га	Урожайность		Затраты, тыс. руб./га	Выручка, тыс. руб./га	Чистый доход, тыс. руб./га
			т/га	т к. е./га			
Неорошаемый режим							
Подсолнечник	См.	0	2,22	3,22	7,1	17,8	10,7
Яровой ячмень + белая горчица на сидераты	табл. 17	0	3,60	0,68	5,8	28,8	23,0
Орошаемый режим							
Картофель	То же	2200	32	9,6	158,1	480	329,4
Капуста	«	3000	25	3,25	68,8	200,0	131,2
Неорошаемый режим							
Сахарная свекла	«	0	35,0	9,1	12,5	280	267,5
Просо на зерно + горохо-подсолнечная смесь на корм	«	0	2,8	3,25	5,4	28	22,6
		0	21	4,0	4,2	11	6,8
Орошаемый режим							
Кукуруза на зерно	«	1700	2,4	3,22	18,8	24	4,2
Соя на зерно	«	1700	2,5	3,45	14,3	25,0	10,7
Итого в среднем за восемь лет	«	1075		4,97	36,8	136,9	100,1

Таблица 27 – Экологические показатели черноземов обыкновенных при регулярном и циклическом орошениях

Ключевой участок	Щелочность, мг-экв./100 г	Оценка		Солонцеватость, Na % от Σ ЕКО	Оценка		Потери гумуса в пахотном слое, %	Оценка		Плотность сложения пахотного слоя, т/м ³	Оценка	
		1 ¹⁾	2 ²⁾		1 ¹⁾	2 ²⁾		1 ¹⁾	2 ²⁾		1 ¹⁾	2 ²⁾
ОПХ «РООМС» Багаевского района Ростовской области	Регулярное орошение пресной водой (0,6 г/дм ³)											
	1,0	–	1	3	ЧЭС	2	15	ЧЭС	1	1,25	ЧЭС	1
	После 16 лет циклического орошения											
ООО «Приазовье» Неклиновского района Ростовской области	Регулярное орошение слабоминерализованной водой (1,7–1,9 г/дм ³) сульфатно-натриевого состава											
	1,3	–	2	6	ЧЭС	2	16	ЧЭС	1	1,32	ЧЭС	2
	После 13 лет циклического орошения											
ГП «Батайское» Аксайского района Ростовской области	Регулярное орошение слабоминерализованной водой (1,6–1,8 г/дм ³) сульфатно-натриевого состава											
	1,36	–	2	7	ЧЭС	2	6	ЧЭС	1	1,34	ЧЭС	2
	После 6 лет циклического орошения											
	1,08	–	1	3	УС	1	Нет	УС	0	1,28	УС	1
¹⁾ Оценка земель по критериям экологической обстановки территорий. ²⁾ Оценка земель по индикаторным показателям.												

Оценка этих земель проведена по критериям экологической обстановки территорий [71] и по индикаторным показателям степени деградации почв [72].

Параметрами критериев экологической обстановки территорий (участков) являются экологическое бедствие (ЭБ), чрезвычайная экологическая ситуация (ЧЭС) и удовлетворительная ситуация (УС).

Деградация почв и земель по индикаторному показателю характеризуется пятью степенями: 0 – недеградированные (ненарушенные); 1 – слабodeградированные; 2 – среднедеградированные; 3 – сильнодеградированные; 4 – очень сильнодеградированные (разрушенные).

Для определения степени деградации из всех существующих индикаторов, согласно методике, выбраны наиболее информативные показатели (таблица 28) [72].

Таблица 28 – Определение степени деградации почв и земель сельскохозяйственного назначения [72]

Показатель	Степень деградации				
	0	1	2	3	4
Увеличение содержания обменного натрия (в % от ЕКО): - для почв, содержащих < 1 % натрия - для других почв	< 1 < 5	1–3 5–10	3–7 10–15	7–10 15–20	> 10 > 20
Увеличение щелочности (при переходе нейтрального типа засоления в щелочной), мг-экв./100 г	< 0,7	0,71–1,0	1,1–1,6	1,7–2,0	> 2,0
Увеличение равновесной плотности сложения пахотного слоя почвы, в % от исходного ¹⁾	< 10	11–20	21–30	31–40	> 40
Уменьшение запасов гумуса в профиле почвы (А + В), % от исходного ¹⁾	< 10	11–20	21–40	41–80	> 80
¹⁾ За исходное принимается состояние недеградированного аналога (нулевая степень деградации).					

Анализ результатов при изучении свойств почв при регулярном и циклическом орошении показал, что наиболее значимыми показателями-индикаторами для изучаемых ключевых участков являются щелочность и солонцеватость почв, плотность сложения почв, потери гумуса.

Если исходить из этого, то черноземы обыкновенные на всех ключевых участках при регулярном орошении относились к среднедеградированным почвам, а участки характеризовались чрезвычайной экологической ситуацией. Такой деградации черноземы достигли под воздействием поливной воды плохого качества. В ОПХ «РООМС» деградационные процессы развивались гораздо слабее благодаря более

высокому качеству поливной воды. В результате этого почвы по основным индикаторным показателям при регулярном орошении характеризовались как слабодegradированные, а участок относился к территории с ЧЭС (таблица 28).

После пребывания земель в режиме циклического орошения ЧЭС изменилась на всех ключевых участках на удовлетворительную ситуацию. Это подтверждают и показатели деградации почв, которые стали относиться к 1, а по некоторым индикаторам и к 0 степеням, то есть стали либо слабо-, либо недеградированными. При этом на участках, орошаемых пресной водой, индикаторные показатели были в основном нулевыми, а на участках, поливаемых слабоминерализованной водой сульфатно-натриевого состава, – слабодegradированными [72].

Кроме этого, нами проведена оценка земель, используемых в разных режимах, на основе бонитировки почв и поправочных коэффициентов (таблица 29) [73].

Таблица 29 – Оценка земель по бонитировочным баллам

Участок	Почва	До орошения	Регулярное орошение	Циклическое орошение
1	Чернозем обыкновенный, орошаемый пресной водой (0,6 мг/дм ³)	94	60	76
2	Чернозем обыкновенный, орошаемый слабоминерализованной водой (1,7–1,9 г/дм ³) сульфатно-натриевого состава	100	55	83
3	Чернозем обыкновенный, орошаемый слабоминерализованной водой (1,6–1,8 г/дм ³) сульфатно-натриевого состава	94	53	68

Чернозем обыкновенный (участок 1) до орошения и на данный момент на богарных массивах оценивается в 94 балла.

Регулярное орошение пресной водой (0,5–0,7 г/дм³) гидрокарбонатно-кальциевого состава, согласно проведенным исследованиям (таблица 26), привело к увеличению плотности почвы до 1,25 т/м³ (Кп = 0,8), к удовлетворительной водопрочности (Кп = 0,8), к низкому содержанию гумуса (Кп = 0,8). Согласно разработкам Карманова баллы бонитетов почв, приобретающих ряд отрицательных свойств, корректируются не более чем двумя поправками, далекими от единицы, поэтому черноземы обыкновенные при регулярном орошении стали оцениваться уже в 60 баллов [74–76].

В результате циклического орошения черноземы разуплотнились до $1,21 \text{ т/м}^3$ ($K_p = 0,9$), водопрочность стала удовлетворительной ($K_p = 0,9$), гумус увеличился, но по классификации остался низким ($K_p = 0,9$). Балл бонитета черноземов обыкновенных после 16 лет их освоения в условиях циклического орошения увеличился до 76, но не достиг исходной величины – 94 баллов.

В результате поливов слабоминерализованной водой ($1,7\text{--}1,9 \text{ г/дм}^3$) сульфатно-натриевый состав чернозема (участок 2) в первую очередь был подвержен осолонцеванию. После 12 лет регулярного орошения почвы стали слабосолонцеватыми ($K_p = 0,85$), среднешелочными ($K_p = 0,85$), сильноуплотненными ($K_p = 0,75$), водопрочные агрегаты отсутствуют ($K_p = 0,65$). Исходя из этого, балл бонитета почв при регулярном орошении снизился до 55.

Тринадцатилетнее циклическое орошение способствовало улучшению свойств почв, а именно: солонцеватость и щелочность исчезли, почвы частично разуплотнились, но остались в разряде сильноуплотненных ($K_p = 0,8$), а водопрочность стала удовлетворительной ($K_p = 0,85$). Поскольку показатели уплотненности и водопрочности зависят друг от друга, в этом случае берется поправочный коэффициент средний ($K_p = 0,83$).

Черноземы (участок 3) орошались слабоминерализованной водой сульфатно-натриевого состава. Черноземы подверглись ощелачиванию, солонцеватости, уплотнению и другим негативным процессам. После 35-летнего регулярного орошения такой водой балл бонитета черноземов стал соответствовать 53.

После шестилетнего освоения земель в режиме циклического орошения солонцеватость исчезла, но щелочность осталась на уровне слабой ($K_p = 0,9$), плотность почвы тоже снизилась до $1,28 \text{ т/м}^3$ ($K_p = 0,8$), поэтому бонитет почв повысился только до 68 баллов.

Таким образом, основные показатели экономической и экологической эффективности, а также оценка земель, проведенная на основе бонитировки почв и поправочных коэффициентов, указывают на необходимость использования системы циклического орошения с целью сохранения и восстановления плодородия черноземов и повышения их продуктивности.

Список использованных источников

1 Агроклиматический справочник по Волгоградской области / отв. ред. З. М. Русива. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1967. – 144 с.

2 Данильченко, Н. В. Водосберегающие оросительные нормы и природоохранные режимы орошения зерновых и кормовых культур в Нижнем Поволжье / Н. В. Данильченко. – М.: МГУП, 2006. – 151 с.

3 Шашко, Д. И. Агроклиматические ресурсы СССР / Д. И. Шашко. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 250 с.

4 Стратинская, Э. Н. Изменение почвенных процессов на черноземах при периодическом переувлажнении / Э. Н. Стратинская, Е. В. Долина, Р. Е. Юркова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск: Геликон, 2006. – Вып. 35. – 196 с.

5 Докучаева, Л. М. Принцип подбора культур для севооборотов, осваиваемых при циклическом орошении / Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова, Э. Н. Стратинская; под ред. В. Н. Щедрина. – Новочеркасск: Геликон, 2007. – Вып. 37. – 174 с.

6 Альтернативная система орошаемого земледелия (циклическое орошение) / В. Н. Щедрин [и др.]; ФГНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск: Геликон, 2007. – 27 с.

7 Юркова, Р. Е. Циклическое орошение – один из способов воспроизводства почвенного плодородия орошаемых земель / Р. Е. Юркова, Э. Н. Стратинская // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск: Геликон, 2007. – Вып. 37. – 174 с.

8 Стратинская, Э. Н. Подбор сельскохозяйственных культур для севооборотов, осваиваемых при циклическом орошении / Э. Н. Стратинская // Проблемы мелиорации земель и воспроизводства почвенного плодородия: материалы Международ. науч.-практ. конференции, г. Краснодар, 9–12 сентября 2008 г. – Краснодар: КубГАУ, 2008. – 172 с.

9 Циклическое орошение – способ сохранения плодородия почв Юга России / В. Н. Щедрин [и др.]. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2010. – 28 с.

10 Стратинская, Э. Н. Изменение свойств почв при снижении водной нагрузки / Э. Н. Стратинская, Т. П. Андреева // Мелиорация и водное хозяйство. – 2010. – № 2. – С. 33–35.

11 Щедрин, В. Н. Теория и практика альтернативных видов орошения черноземов юга Европейской территории России: моногр. / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 435 с.

12 Докучаева, Л. М. Изменение направленности почвенных процессов при снижении водной нагрузки на орошаемые земли / Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова; ФГБНУ «РосНИИППМ». – Новочеркасск, 2012. – 54 с. – Деп. в ВИНТИ 07.07.12, № 292-В2012.

13 Кирейчева, Л. В. Изменение состава и свойств черноземов при орошении / Л. В. Кирейчева, Л. А. Воронина // Гидротехника и мелиорация. – 1987. – № 10. – С. 50–53.

14 Мелиорация солонцовых почв в условиях орошения / Н. С. Скуратов [и др.]. – Новочеркасск, 2005. – 179 с.

15 Скуратов, Н. С. Руководство по контролю и регулированию почвенного плодородия орошаемых земель при их использовании / Н. С. Скуратов, Л. М. Докучаева, О. Ю. Шалашова. – Новочеркасск, 2000. – 86 с.

16 Чесняк, Г. Я. Определение параметров свойств черноземов типичных мощных разного уровня плодородия. Теоретические основы и методы определения оптимальных свойств почв / Г. Я. Чесняк // Научные труды и методы определения оптимальных параметров свойств почв: науч. тр. / Почв. ин-т им. В. В. Докучаева. – М., 1980. – С. 12–16.

17 Самойлова, Е. М. Предельно-допустимые параметры степных черноземов Алтайского края при орошении / Е. М. Самойлова // Вестник сельскохозяйственных наук. – 1980. – № 4. – С. 31–38.

18 Карманов, И. И. Комплексная оценка плодородия почв / И. И. Карманов // Модели плодородия почв и методы их разработки: сб. науч. тр. / Почв. ин-т им. В. В. Докучаева. – М., 1982. – С. 26–29.

19 Ельников, И. И. О методике разработки оптимальных параметров свойств почв / И. И. Ельников // Модели плодородия почв и методы их разработки: сб. науч. тр. / Почв. ин-т им. В. В. Докучаева. – М., 1982. – С. 36–41.

20 Бездни́на, С. Я. Оптимальные параметры мелиоративного режима почв / С. Я. Бездни́на // Гидротехника и мелиорация. – 1986. – № 11. – С. 117–120.

21 Оценка деградации орошаемых почв / Зимовец Б. А. [и др.] // Почвоведение. – 1998. – № 9. – С. 1119–1126.

22 Щедрин, В. Н. Орошение сегодня: проблемы и перспективы / В. Н. Щедрин. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2004. – 225 с.

23 А. с. 1743481А1 СССР, А 01 G 25/00. Способ мелиорации черноземов / В. Н. Щедрин, Н. Н. Бредихин (СССР). – № 4885128/15; заявл. 09.08.90; опубл. 30.06.92, Бюл. № 24. – 6 с.

24 Пат. 2324331 Российская Федерация, МПК А 01 G 25/00. Способ мелиорации орошаемых черноземов / Щедрин В. Н. [и др.]; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – № 2006133800/12; заявл. 21.09.06; опубл. 20.05.08, Бюл. № 14. – 6 с.

25 Снопич, Ю. Ф. Выбор дождевальных машин при восстановлении внутрихозяйственной оросительной сети [Электронный ресурс] / Ю. Ф. Снопич // Научный журнал КубГАУ: политематический сетевой электрон. журн. / Кубанский гос. аграрн. ун-т. – Электрон. журн. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – № 62(08). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru>.

26 Докучаева, Л. М. Использование фосфогипса и фосфогипсо-содержащих мелиорантов для мелиорации солонцовых почв в условиях орошения / Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова, О. Ю. Шалашова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2012. – № 3(07). – 13 с. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=113&id=116>.

27 Воеводина, Л. А. Требования к промышленным отходам и местным сырьевым ресурсам при приготовлении органоминеральных компостов и смесей / Л. А. Воеводина, О. Ю. Шалашова, С. А. Гарин // Современные проблемы мелиорации земель, пути и методы их решения: сб. науч. тр. / ФГНУ «РосНИИПМ». – Ч. 2. – Новочеркасск, 2003. – 243 с.

28 Рекомендации по использованию фосфогипса для мелиорации солонцов. – М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2006. – 52 с.

29 Любимова, И. Н. Влияние потенциально-опасных химических элементов, содержащихся в фосфогипсе, на окружающую среду / И. Н. Любимова, Т. И. Борисочкина. – М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2007. – 73 с.

30 Юркова, Р. Е. Приемы инактивации тяжелых металлов и восстановления почвенного плодородия орошаемых земель [Электронный ресурс] / Р. Е. Юркова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2012. – № 1(05). – 12 с. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=82&id=92>.

31 Рекомендации по оптимизации мелиоративного состояния орошаемых почв солонцовых комплексов / Н. С. Скуратов [и др.]. – Новочеркасск, 1990. – 84 с.

32 Максименко, В. П. Интенсификация восстановления плодородия уплотненных почв на орошаемых землях / В. П. Максименко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2009. – № 5. – С. 24–28.

33 Суковатов, В. А. Свойства солонцовых почв при различных способах мелиорации / В. А. Суковатов, В. В. Черненко, В. П. Калинин // Плодородие. – 2008. – № 5. – С. 64–69.

34 Докучаева, Л. М. К обоснованию способов внесения мелиорантов на почвы с комплексным покровом / Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова // Современные проблемы использования мелиорированных земель и повышения их плодородия: материалы Международ. науч.-практ. конф. ГНУ ВНИИМЗ Россельхозакадемии, г. Тверь, 27–28 июня 2013. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2013. – 340 с.

35 Скуратов, Н. С. Использование и охрана орошаемых черноземов / Н. С. Скуратов, Л. М. Докучаева, О. Ю. Шалашова. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2001. – 246 с.

36 Зинковская, Т. С. Экологические ограничения при проведении агро-мелиоративных мероприятий в земледелии / Т. С. Зинковская. – М.: МКИД, 2004. – С. 36–45.

37 Бобченко, В. И. Обеспечить экологическую надежность мелиоративных систем в орошаемой зоне / В. И. Бобченко // Мелиорация и водное хозяйство. – 1989. – № 10. – С. 54–61.

38 Бобченко, В. И. Усовершенствование технологии орошения черноземов / В. И. Бобченко // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1987. – № 8.

39 Бойко, С. И. Циклическое орошение – эффективный прием земледелия в зоне неустойчивого увлажнения [Электронный ресурс] / С. И. Бойко. – Режим доступа: <http://cnsnb.ru>, 2009.

40 Докучаева, Л. М. Обеспеченность элементами питания черноземов обыкновенных при мелиорации удобрительно-мелиорирующими компостами и внесении минеральных удобрений / Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Вып. 47. – Новочеркасск: Геликон, 2012. – С. 83–92.

41 Шалашова, О. Ю. Очищающие, удобрительные и мелиорирующие компосты / О. Ю. Шалашова, Р. Е. Юркова, С. Л. Гарин // Мелиорация антропогенных ландшафтов: межвуз. сб. науч. тр. – Новочеркасск, 2004. – Т. 22. – 294 с.

42 Орлов, Д. С. Особенности органического вещества орошаемых почв / Д. С. Орлов, Е. М. Аниканова, В. А. Маркин // Проблемы ирригации почв юга черноземной зоны. – М.: Наука. – 1980. – С. 36–42.

43 Полуэктов, Е. В. Влияние антропогенной деятельности на свойства почв: учеб. пособие / Е. В. Полуэктов, В. В. Турулев. – Новочеркасск, 1995. – 83 с.

44 Ковалев, Н. Г. Основные направления совершенствования технологических средств производства удобрений путем ускоренной биоконверсии органического сырья, получаемого на предприятиях агропромышленного комплекса / Н. Г. Ковалев // Вестник ВНИИМЖ. – 2012. – № 4(8). – С. 3–12.

45 Зинковская, Т. С. Классификация биологических мелиорантов, применяемых в земледелии / Т. С. Зинковская, Н. Г. Ковалев, В. Н. Зинковский // Плодородие. – 2012. – № 4. – С. 20–22.

46 Александрова, Л. Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л. Н. Александрова. – Л.: Наука, 1980. – 217 с.

47 Рекомендации по проектированию интегрированного применения средств химизации в ресурсосберегающих технологиях адап-

тивно-ландшафтного земледелия. – М.: Росинформагротех, 2010. – 464 с.

48 Стратинская, Э. Н. Изменение гумусного состояния в черноземах обыкновенных при циклическом орошении [Электронный ресурс] / Э. Н. Стратинская, Л. М. Докучаева, Т. П. Андреева // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. период. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2011. – № 1(01). – 8 с. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=1&id=17>.

49 Шафран, С. А. Комплексные минеральные удобрения / С. Я. Шафран // Химизация сельского хозяйства. – 1989. – № 11. – С. 26–30.

50 Романенко, Т. А. Удобрения: значение, эффективность применения / Т. А. Романенко, А. И. Тютюнникова, В. Г. Сычев. – М.: ЦИНАО, 1998. – 376 с.

51 Вольфович, С. И. Комплексные азотно-фосфорные удобрения / С. И. Вольфович. – М.: Изд-во МГУ, 1982. – 50 с.

52 Дворянкин, А. Е. Комплексные удобрения в хелатной форме на сахарной свекле / А. Е. Дворянкин, А. А. Решетников // Агрехимические приемы повышения плодородия почв и продуктивность с.-х. культур в адаптивно-ландшафтных системах земледелия: материалы 40-й Международ. науч. конф. (ВНИИА). – М.: ВНИИА, 2006. – С. 138–140.

53 Шафран, С. А. Агрехимическое обоснование применения калийных удобрений в Нечерноземной зоне России / С. А. Шафран, Ф. В. Янишевский // Агрехимия. – 1998. – № 4. – С. 5–17.

54 Минеральные удобрения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://avamarket.com/V_Products/b7, 2011.

55 Минеев, В. Г. Химизация земледелия и природная среда / В. Г. Минеев. – М.: Агропромиздат, 1990. – 152 с.

56 Сычев, В. Г. Основные ресурсы урожайности сельскохозяйственных культур и их взаимосвязь / В. Г. Сычев. – М.: ЦИНАО, 2003. – 228 с.

57 Сычев, В. Г. Состояние и стратегия развития агрохимического обслуживания сельскохозяйственного производства России на период до 2010 года / В. Г. Сычев, А. Н. Аристархов // Плодородие. – 2004. – № 5. – С. 28–34.

58 Шафран, С. А. Оптимизация азотного питания зерновых культур при разной обеспеченности дерново-подзолистых почв фосфором и калием: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.03 / Шафран Станислав Аронович. – Москва, 1995. – 51 с.

59 Минеральные удобрения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://exponet.ru/exhibition/online/interagrokd2003>, 2011.

60 Михайлов, Н. И. Определение потребности растений в удобрениях / Н. И. Михайлов, В. П. Книпер. – М.: Колос, 1971. – 256 с.

61 Выбор приемов воспроизводства плодородия солонцовых почв при орошении / В. Н. Щедрин [и др.]. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ». – 2010. – 23 с.

62 Кеферов, К. Н. Биологические основы растениеводства / К. Н. Кеферов. – М.: Высшая школа, 1982. – 407 с.

63 Вавилов, П. П. Растениеводство / П. П. Вавилов. – М.: Агропромиздат, 1986. – 512 с.

64 Справочник по оценке почв / В. Ф. Вальков [и др.]. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2004. – 236 с.

65 Вальков, В. Ф. Очерки о плодородии почв / В. Ф. Вальков, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников. – Ростов-н/Д.: Изд-во СКНЦВШ, 2001. – 240 с.

66 Сенчуков, Г. А. Ландшафтно-экологические и организационно-хозяйственные аспекты обоснования водных мелиораций земель / Г. А. Сенчуков. – Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2001. – 276 с.

67 Ильинская, И. Н. Нормирование водопотребности для орошения сельскохозяйственных культур на Северном Кавказе / И. Н. Ильинская // ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2001. – 164 с.

68 Мелиорация земель России / под ред. Г. А. Сенчукова. – Новочеркасск, 1997. – 215 с.

69 Ольгаренко, Г. В. Нормирование орошения люцерны с учетом вероятностного характера гидрометеорологической и воднобалансовой информации / Г. В. Ольгаренко. – Новочеркасск, 1998. – 67 с.

70 Режим орошения сельскохозяйственных культур на юге Европейской части РСФСР: рекомендации / под ред. Б. Б. Шумакова. – Ростов н/Д., 1986. – 95 с.

71 Методика расчета затрат на оказание услуг по подаче воды на рисовые оросительные системы. – М., 2011. – 27 с.

72 Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. – М., 2007. – 52 с.

73 Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель. – М., 1994. – 15 с.

74 Докучаева, Л. М. Оценка эффективности использования орошаемых земель на основе бонитета почв и поправочных коэффициентов / Л. М. Докучаева, Э. Н. Стратинская // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск: Геликон, 2010. – Вып. 43. – С. 6–12.

75 Карманов, И. И. Бонитировка почв на основе почвенно-экологических показателей / И. И. Карманов, Т. А. Фриев // Земледелие. – 1982. – № 5. – С. 10–14.

76 Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. – М.: Росинформагротех, 2003. – 240 с.

Научное издание

**КОМПЛЕКС МЕРОПРИЯТИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ
НА СОХРАНЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОЧВЕННОГО
ПЛОДОРОДИЯ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ ОРОШЕНИИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР
В ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Подписано в печать 10.06.2015. Формат 60×84 1/16.
Усл. печ. л. 4,42. Тираж 500 экз. Заказ № 41.

ФГБНУ «РосНИИПМ»
346421, Ростовская область, г. Новочеркасск,
Баклановский проспект, 190

Отпечатано с готового оригинал-макета
ИП Белоусов А. Ю.
346421, Ростовская область, г. Новочеркасск,
Баклановский проспект, 190 «Е»