

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Департамент мелиорации  
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«РОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ПРОБЛЕМ МЕЛИОРАЦИИ»  
(ФГБНУ «РосНИИПМ»)

РУКОВОДСТВО ПО КОНТРОЛЮ И РЕГУЛИРОВАНИЮ  
ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

Новочеркасск 2015

СОДЕРЖАНИЕ

1 Область применения.....	4
2 Нормативные ссылки.....	4
3 Объекты наблюдений при проведении контроля за почвенным плодородием орошаемых земель.....	5
3.1 Основные объекты наблюдений – почвы.....	5
3.1.1 Морфологические признаки почв и мощность генетических почвенных горизонтов.....	6
3.1.2 Показатели водно-физических свойств почв.....	12
3.1.3 Показатели физико-химических свойств почв.....	16
3.1.4 Показатели агрохимических свойств почв.....	22
3.1.5 Показатели эколого-токсикологического состояния.....	24
3.1.6 Биологическая активность почв.....	26
3.2 Сопутствующие объекты наблюдений, влияющие на плодородие орошаемых почв.....	28
3.2.1 Оросительные и коллекторно-дренажные воды.....	29
3.2.2 Грунтовые воды.....	31
3.2.3 Агроклиматические условия и урожайность возделываемых культур.....	34
4 Организация контроля за почвенным плодородием орошаемых земель.....	44
4.1 Служба, методика проведения и периодичность определения показателей.....	44
4.2 Репрезентативность показателей свойств почв.....	49
4.3 Обработка и анализ материалов наблюдений .....	50
5 Оценка свойств и состояния орошаемых земель.....	52
5.1 Предельно-допустимые и оптимальные параметры орошаемых почв.....	52
5.2 Критерии экологической оценки орошаемых почв.....	55
6 Приемы регулирования почвенного плодородия орошаемых земель..	58
6.1 Поддержание допустимого уровня грунтовых вод.....	60
6.2 Борьба с вторичным засолением.....	62

6.3	Устранение щелочности и подкисления почв.....	65
6.4	Снижение солонцеватости и обогащение почв кальцием.....	68
6.5	Снижение уплотненности и слитизации в орошаемых почвах	78
6.6	Приемы, способствующие накоплению гумуса и обеспечивающие почву элементами питания.....	80
6.7	Регулирование микробиологических процессов в почве.....	84
6.8	Снижение негативного воздействия загрязненности на почвы.	87
7	Схема выбора приемов по показателям почвенного плодородия орошаемых земель.....	89
8	Экономическая эффективность применения комплексных приемов по воспроизводству почвенного плодородия.....	96
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	97
	ПРИЛОЖЕНИЕ А Морфологические показатели почв.....	111
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б Описание почвенного разреза.....	112
	ПРИЛОЖЕНИЕ В Полевой почвенно-мелиоративный журнал.....	113
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г Водно-физические свойства почв.....	114
	ПРИЛОЖЕНИЕ Д Физико-химические свойства почв.....	117
	ПРИЛОЖЕНИЕ Е Агрохимические свойства почв.....	124
	ПРИЛОЖЕНИЕ Ж Эколого-токсикологическое состояние почв.....	127
	ПРИЛОЖЕНИЕ И Нитрификационная способность почв.....	132
	ПРИЛОЖЕНИЕ К Качество оросительной воды по ее минерализации и степени развития неблагоприятных процессов...	133
	ПРИЛОЖЕНИЕ Л Глубина залегания грунтовых вод и степень их минерализации.....	136
	ПРИЛОЖЕНИЕ М Оценка загрязнения продукции растениеводства...	137
	ПРИЛОЖЕНИЕ Н Методика определения дозы гипса (мелиоранта) по порогу коагуляции.....	139
	ПРИЛОЖЕНИЕ П Пример расчета экономической эффективности от применения комплексной мелиорации солонцовых почв.....	140

## 1 Область применения

Настоящее Руководство устанавливает комплексный контроль за мелиоративным состоянием и почвенным плодородием орошаемых земель с последующей разработкой мероприятий по их регулированию. Оно предназначено для специалистов Россельхознадзора, Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору, Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, а также для сельхозпроизводителей различных форм собственности, водохозяйственных и эксплуатационных организаций.

## 2 Нормативные ссылки

В Руководстве использованы нормативные ссылки на следующие стандарты и документы:

- ГОСТ 27593-88 Почвы. Термины и определения;
- ГОСТ 26640-85 Земли. Термины и определения;
- ГОСТ 17.1.2.03-90 Охрана природы. Гидросфера. Критерии и показатели качества воды для орошения;
- Федеральный закон от 16 июля 1998 г. № 101-ФЗ «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения»;
- Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании»;
- Федеральная целевая программа «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 годы» (утв. постановлением Правительства РФ от 12 октября 2013 г. № 922);
- Руководство по контролю и регулированию почвенного плодородия орошаемых земель при их использовании (2000 г.);
- Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель (утверждены Минприроды России 15.02.95, Роскомземом

28.12.94 и Минсельхозпродом);

- Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения (под ред. Л. М. Державина, Д. С. Булгакова. – М.: Росинформагротех, 2003).

### 3 Объекты наблюдений при проведении контроля за почвенным плодородием орошаемых земель

#### 3.1 Основные объекты наблюдений – почвы

Анализ имеющихся литературных данных свидетельствует о том, что для контроля за почвенным плодородием и мелиоративным состоянием орошаемых почв требуется от 6–8 до 20 показателей и более [1–11].

Из них четко выделяются группы показателей мелиоративного состояния и почвенного плодородия орошаемых земель:

- морфологические признаки почв и мощность генетических почвенных горизонтов;
- водно-физические;
- физико-химические;
- агрохимические;
- биологические;
- эколого-токсикологические.

Набор показателей не должен быть слишком большим, чтобы не увеличивать трудоемкость контроля, но и нельзя ограничиваться пятью-семью показателями, так как устойчивость почвы как естественно исторического тела и урожайность сельскохозяйственных культур зависят от многих физических, химических свойств, от типа режимов, причем каждый из этих факторов может оказаться в минимуме или превысить максимум. Поэтому важно учитывать информативность параметров, взаимосвязь между собой свойств и режимов почв как сбалансированной системы.

Но в первую очередь объектами контроля должны быть те показатели,

которые являются приоритетными для данной местности, а также те, по которым в данной местности наблюдается или предполагается неблагополучие [12]. Это позволит обосновать комплекс мероприятий по регулированию плодородия почв.

### 3.1.1 Морфологические признаки почв и мощность генетических почвенных горизонтов

Основными морфологическими признаками почв являются: строение почвы, ее мощность, окраска, гранулометрический состав, структура, сложение, новообразования и включения.

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

Генетические горизонты выделяются по сумме признаков и свойств, возникших в результате совместного действия процессов почвообразования.

В почвах орошаемой зоны могут преобладать следующие генетические почвенные горизонты [13]:

- $A_{\text{пах}}$  – верхняя часть профиля любых почв, преобразованная земледельческой обработкой, с мощностью максимальной глубины вспашки;

- $A$  – гумусовый, часто называется гумусо-аккумулятивный, имеет более темную окраску, чем другие горизонты. Он занимает верхнюю часть профиля и характеризуется максимальным содержанием гумуса и минеральных элементов питания;

- $A_1$  – гумусово-элювиальный. Осветленный горизонт, в результате элювиирования обеднен илом и полуторными окислами в сравнении с нижележащим;

- $A_2$  – элювиальный. Четко осветленный, ясно кремнеземистый, похожий на подзолистый с плитчатой, слоеватой, чешуйчатой, листовой структурой или бесструктурен. Характеризуется выщелачиванием из него ряда органических и минеральных соединений;

- АВ – гумусовый переходный. По гумусовому содержанию является количественно менее выраженным продолжением горизонта А. Формируется в почвах, где выщелочивание минеральной части не выражено или развито слабо (черноземы и комковатые почвы). Он совмещает в себе черты гумусово-аккумулятивного горизонта и материнской породы;

- В<sub>i</sub> – иллювиальный (иллювиально-глинистый). Бурый или коричневатобурый с ореховато-призмовидной структурой. Отмечен накоплением илистой фракции за счет лессивирования из вышележащего элювиального горизонта. Характерны глинисто-гумусовые кутаны по граням структурных отдельностей;

- В<sub>Ca</sub> – аккумулятивно-карбонатный, содержит максимальное в профиле почвы количество карбонатов за счет иллювиально-десуктивной аккумуляции. Помимо карбонатной пропитки почвенной массы встречаются новообразования СаСО<sub>3</sub> в виде прожилок (псевдомицелий), мучнистых скоплений (белоглазки) и каменисто-цементированных конкреций (журавчики);

- В<sub>CaSa</sub> – иллювиальный горизонт гипса (В<sub>Ca</sub>) и легкорастворимых солей (В<sub>Sa</sub>) является нижней частью профиля почв с непромывным водным режимом. Типичные новообразования гипса в виде друз кристаллов и пропитка почвенной массы легкорастворимыми солями;

- В<sub>Na</sub> – солонцовый. Характеризуется типичными свойствами солонцеватости, главные из которых – иллювиированное накопление коллоидов, их пептизационная способность и щелочная реакция среды;

- В<sub>сл</sub> – слитой, вязкий и пластичный во влажном состоянии, очень плотный (плотность 1,7–1,9 т/м<sup>3</sup>), глыбистый в сухом. Почти черного цвета при слабой гумусированности. Всегда глинистый;

- ВС – переходный горизонт, переходный от собственной почвы к материнской породе, %;

- С – почвообразующая (материнская) порода. Рыхлая порода не затронутая или слабозатронутая почвообразованием;

- D – подстилающая порода выделяется в том случае, когда почвенные

горизонты образовались на одной породе, а ниже расположена другая. Или массивно-кристаллическая почвообразующая порода.

Горизонты, совмещающие в себе свойства выше и нижерасположенных горизонтов, обозначаются двойными символами, например: АВ, ВС и т. п. Каждая почва формируется в определенных условиях, поэтому в ее профиле необязательно должны быть представлены все горизонты.

Мощность почв характеризуется их глубиной от поверхности до материнской породы, а мощность гумусового горизонта от поверхности до гумусового переходного горизонта – АВ. Они варьируют в широких пределах (таблица 1) [13].

Таблица 1 – Мощность почв и их гумусовых горизонтов [13]

Почвы	Генетический профиль	Мощность, см	
		Профиль почвы	Гумусовый горизонт
Черноземы типичные южно-европейской фации	A + АВ + В + C <sub>к</sub>	400–500	100–150
Черноземы типичные восточно-европейской фации	A + АВ + В + C <sub>к</sub>	250–300	80–120
Кашгановые	A + АВ + В + C <sub>к</sub>	150–250	45
Бурые полупустынные	A + В + В <sub>к</sub> + C <sub>s</sub>	120	25
Дерново-подзолистые	A <sub>1</sub> + A <sub>2</sub> + Вi	80	15
Подзолистые	A <sub>1</sub> + A <sub>2</sub> + Вi	80	2
Бурые лесные	A + АВt + Вt	80–100	30–40
Солонцы	A + В <sub>NA</sub> + C <sub>s</sub>	150	3–30

У генетических горизонтов мощность определяется с указанием их верхних и нижних пределов: A<sub>1</sub> – 0–7 см, A<sub>2</sub> – 7–23 см и т. д.

Окраска почвы может быть самой разнообразной. Она вызывается сочетанием трех цветов – темного, красного и белого, дающих различные оттенки.

Темный цвет обусловлен находящимися в почве гумусом. С увеличением его содержания окраска изменяется от светло-серой (2–3 % гумуса) до темного (9–12 %).

Красный цвет вызывается соединениями окислов железа (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и марганца (Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Белая окраска обычно связана с присутствием в почве аморфного

кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ) или карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) и реже каолинита ( $\text{H}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) и гипса ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

Гамму сизовато-голубоватых оттенков почве придают закисные соединения железа (сидерит  $\text{FeCO}_3$ , вивианит  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ), образующие в результате восстановительных процессов в переувлажненных почвах.

Окраске почвы обычно присущи тусклые и сложные тона из-за взаимного наложения многих цветов. Сухие почвы имеют более светлые тона, чем влажные.

Окраску почвы обычно трудно охарактеризовать каким-нибудь одним цветом, поэтому следует указывать степень ее интенсивности (светло-бурая, темно-бурая) или же назвать промежуточные тона (коричнево-серая, серо-бурая).

Влажность. Принято различать шесть степеней влажности почвы.

1 Сухая почва – пылит, при ее пересыпании из одной руки в другую разлетается пыль.

2 Свежая – сухая на вид, чуть влажная на ощупь, холодит руку, светлеет при высыхании, темнеет при добавлении воды.

3 Влажноватая – влажная на вид и на ощупь, светлеет при высыхании, но не темнеет при добавлении воды, увлажняет фильтровальную бумагу, сохраняет форму, приданную ей при сжатии, но не мажет руку.

4 Влажная – при сжатии образца на поверхности проступает тонкая водная пленка, придающая поверхности блеск, но вода не вытекает, мажет руку.

5 Сырая – при сжатии образца с его поверхности капает вода.

6 Мокрый – из горизонта самопроизвольно сочится вода.

Гранулометрический состав в полевых условиях определяют по следующим признакам (таблица 2) [13].

Структура – это различной величины и формы комочки или отдельности (агрегаты), на которые распадается почва.

Таблица 2 – Основные признаки почв различного гранулометрического состава (по Красюку) [13]

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

Песчаные и супесчаные почвы, как правило, бесструктурны. Оструктурирование почв начинает проявляться с легкосуглинистых почв и достигает своего максимального проявления в глинистых.

Агрегаты различают по форме и размерам. При морфологическом описании почв применяется детальная классификация структурных отдельностей, разработанная С. А. Захаровым. В обобщенном виде выделяют структурные агрегаты [14].

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

Сложение – внешнее выражение плотности и породности почвы.

Плотное сложение имеют обогащенные коллоидами иллювиальные горизонты пахотных почв. Оно требует значительных усилий для вдавливания ножа в почву. Слитное сложение наблюдается в иллювиальных горизонтах

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

Новообразования представляют собой отложение различных веществ, возникновение которых связано с почвообразовательным процессом. Происхождение их может быть химическое и биологическое. По химическому составу химические новообразования подразделяются на следующие группы:

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

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

- скопления углекислой извести. По форме они подразделяются на:

- 1) налеты, придающие почве «седину»;

- 2) известковую плесень в виде скопления тончайших игольчатых кристаллов углекислого кальция;

- 3) карбонатную лжегрибницу или псевдомицелий – очень тонкие прожилки мучнистой кристаллической извести;

- 4) белоглазку – белые, пухлые, округлой формы диаметром 1–2 см скопления извести с резко очерченными краями;

- 5) журавчики – плотные скопления извести различной формы и размера и т. д.;

- скопления кремнекислоты встречаются в виде кремнеземистой присыпки – тончайший налет кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ) на поверхности структурных отдельностей и прожилки и пятна скопления кремнезема округлой формы;

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

тельную глубину.

Новообразования биологического происхождения представлены в виде экскрементов дождевых червей и личинок насекомых (капролиты), ходов червей и землероющих животных (червоточины и кротовины), сохранившихся следов корней растений (корневины) и т. п.

Включениями считаются посторонние предметы, присутствие которых в почве не обусловлено почвообразовательным процессам (кости животных, куски угля, обломки кирпичей, черепки посуды и т. д.).

При описании почвенных разрезов есть возможность определить карбонатность почв и ее выщелоченность, карбонатность – содержание в почве или почвообразующей породе карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ), а выщелачивание – нисходящая миграция карбонатов и других солей щелочноземельных и щелочных металлов с почвенными растворами.

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

Оценка степени карбонатности и выщелочности почв по глубине вскипания от  $\text{HCl}$  и примерное содержание карбонатов от характера вскипания от 10 %  $\text{HCl}$  представлены в приложении А.

Пример описания почвенного разреза представлен в приложении Б.

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

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

### 3.1.2 Показатели водно-физических свойств почв

Под влиянием орошения наименее устойчивыми оказываются водно-

физические и физические свойства почв. Предпосылки к их ухудшению кроются в наличии монтмориллонитовой илистой фракции, которая способствует сильному набуханию почв [15], а также в отсутствии свободного карбоната кальция в гумусовом горизонте и низкая гумусированность орошаемых почв [16, 17].

Неправильное орошение (переполив, высокая интенсивность дождя дождевальными машинами), нарушение технологии возделывания сельскохозяйственных культур, отсутствие продуманной системы удобрений, применение тяжелых средств механизации труда, использование для полива вод низкого качества еще более усугубляют эти процессы.

В результате отмечается увеличение плотности сложения почвы (объемной массы), ухудшение структуры пахотных горизонтов, появляются признаки глыбистости, уменьшение количества водоносных пор и пор аэрации, снижение впитывающей способности почв. Количество водопептизируемого ила при орошении увеличивается в 1,5–2,0 раза и снижается содержание агрегированного, что приводит к повышению липкости, связности почв, способности при высыхании образовывать корку, т. е. формируются признаки, характерные для слитных почв.

Практика показывает, что определение водно-физических свойств почвы в составе контроля почвенного плодородия совершенно необходимо, ибо регулирование урожая сельхозкультур не может быть достигнуто, пока не регулируемыми остаются физические факторы [5].

Для оценки водно-физических свойств следует определять следующие показатели (приложение Г, таблица Г.1):

- структурное состояние или агрегатный состав определяется методом рассеивания на ситах при сухом и мокром просеивании по методу Саввинова. Образец берется с 0–30 см слоя определяется ежегодно [14].

Кроме морфологогенетического понимания структуры существует агрономическое понимание структурных и бесструктурных почв. В агрономическом смысле почва считается структурной если в ее составе преобладают

агрономически ценные мезоагрегаты т.е комковато-зернистые агрегаты от 0,25 до 7(10) мм составляют 55 % при сухом просеивании (объем пробы 2,5 кг). Иные почвы считаются бесструктурными. По размерам агрегатов при сухом просеивании почвенная структура подразделяется на глыбистую (агрегаты более 10 мм), или макроструктура (агрегаты 10–0,25 мм), микроструктура (агрегаты менее 0,25 мм).

При мокром просеивании определяется не только структурное состояние, но и водопрочность агрегатов. Оценка этих показателей проводится по приложению Г (таблица Г.1);

- гранулометрический и микроагрегатный составы почв. Определение гранулометрического или микроагрегатного состава проводится по всему профильному составу один раз в 5 лет. Оно позволяет уточнить название почвы по гранулометрическому составу (приложение Г, таблица Г.2).

По данным микроагрегатного и гранулометрического составов можно рассчитать фактор дисперсности  $K$  по методу Н. А. Качинского. Он характеризует степень разрушения микроагрегатов в воде и выражается процентным отношением ила (частиц менее 0,001 мм) микроагрегатного к илу гранулометрическому [14]:

$$K = \frac{a}{b} \cdot 100, \quad (1)$$

где  $a$  – содержание ила при микроагрегатном анализе, %;

$b$  – при гранулометрическом анализе, %.

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

- плотность сложения (объемная масса) и порозность почвы [14].

Плотность сложения почвы определяется в шурфах прибором Качин-

ского по слоям 0–20, 20–40, 40–60, 60–80, 80–100 см ежегодно.

Проведение оценки по этим показателям представлено в приложении Г;

- водопроницаемость – это способность почв впитывать и пропускать сквозь толщу горизонтов и слоев воду с поверхности.

Водопроницаемость предпочтительнее определять в полевых условиях методом рам или прибором ПВН-00, один раз в 5 лет, при необходимости и чаще [14].

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

Порозность рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{общ}} = \left(1 - \frac{d_v}{d}\right) \cdot 100, \quad (2)$$

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

$d_v$  – плотность сложения почвы, т/м<sup>3</sup>;

$d$  – плотность твердой фазы почвы, т/м<sup>3</sup>.

Плотность твердой фазы почвы (удельная масса) определяется с помощью пикнометра (методом Качинского) один раз в 5 лет [14];

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

- предельная полевая влагоемкость (синонимы общая или наименьшая)

широко используется для расчетов запасов продуктивной влаги и поливной нормы. Для ее определения часто пользуются площадками после определения водопроницаемости методом заливаемых площадок [14]. Оценка этого показателя для почв тяжелого гранулометрического состава приведена в приложении Г (таблица Г.1);

- продуктивная влага – разница между общей влагоемкостью (или наименьшей влагоемкостью) и влажностью завядания. Последняя определяется умножением максимальной гигроскопичности на 1,5 – для тяжелых почв и 1,25 – для легких. От запасов продуктивной влаги в прямой зависимости находится состояние растений и урожайность сельскохозяйственных культур. Продуктивная влага может быть выражена в процентах или мм.

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

### 3.1.3 Показатели физико-химических свойств почв

Одним из важнейших показателей плодородия является засоленность почв. По содержанию и составу водорастворимых солей определяют степень засоления и глубину залегания солевого горизонта.

Согласно существующим классификациям [4, 13, 17] при содержании водорастворимых солей (в среднем для слоя 0–100 см) до 0,25 % обеспечивает хороший рост и развитие растений (выпадов нет, урожайность нормальная). Слабое угнетение (выпада растений нет, снижение урожая на 10–20 %) при содержании солей 0,25–0,45 % (слабое засоление); среднее угнетение (выпады растений) – при содержании солей 0,40–0,70 % (среднее засоление); сильное угнетение – при 0,70–1,20 % (сильное засоление); и солончаки более 1,2 % (урожай практически отсутствует).

Определение состава водной вытяжки по горизонтам или слоям почвенного профиля дает возможность установить глубину залегания верхнего солевого горизонта, что очень важно при разработке мероприятий по регули-

рованию плодородия. Классификация по этому показателю представлена в приложении Д (таблица Д.1).

Для контроля за изменением засоленности почв следует пользоваться классификацией по содержанию солей в зависимости от химизма засоления (приложение Д, таблица Д.2) или использовать оценку степени засоления почв по сумме токсичных солей или отдельных ионов (приложение Д, таблица Д.3), предложенные Н. И. Базилевич, Е. И. Панковой [17].

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

Как видно, чрезмерное скопление солей в почве может вызвать солевое отравление и гибель растений. Из вредных легкорастворимых солей наиболее часто встречаются в почвах хлориды и сульфаты натрия, сода. Заметное угнетение сельскохозяйственных растений при содовом засолении начинается при содержании иона  $\text{HCO}_3$  в количестве 0,08 % и рН – 8,8–9,0. При содержании 0,1–0,2 %  $\text{HCO}_3$  и при рН – 9,5–10,0 культурные растения обычно гибнут. При хлоридном засолении заметное угнетение начинается при содержании хлор-иона 0,04–0,08 %.

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

К наиболее неблагоприятным свойствам почв относится их щелоч-

ность. В щелочной среде повышается подвижность гумуса, происходит диспергация структурных агрегатов, ухудшается пищевой режим почв. Изменение реакции почвы определяет поступление элементов питания в растения. Установлено, что наибольшая активность микробиологических процессов наблюдается при рН – 6–8, гумификации – 5,0–7,5.

Максимальная доступность питательных элементов: азота при рН – 6–8; фосфора – 6,5–7,5; калия – 7–8; кальция и магния – 7,0–8,5; меди, бора и цинка – 5,0–7,0; железа – 4,0–6,5. Как видно, когда рН превосходит 8 единиц, нормальные условия для развития сельскохозяйственных культур нарушаются. Кроме того, в этих условиях наблюдается опережающий вынос ионов кальция за пределы почвенного профиля. Только почвы, насыщенные кальцием, отличаются агрономически ценной водопрочной структурой, благоприятной для развития микробиологических процессов, оптимизирующих питательный режим почв. При «кальциевом голодании» усиливается токсичное влияние обменного натрия, и растение начинает сильно отставать в росте, развиваются болезни [18–20].

Показателями щелочности являются содержащиеся в водной вытяжке:  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , рН и обменный натрий в почвенном поглощающем комплексе.

С целью установления щелочности на орошаемых участках, кроме обязательного отбора образцов на солевой состав весной и осенью, необходимо дополнительно взять образцы почвы до и после полива в метровом слое по слоям 0–20, 20–40, 40–60, 60–80, 80–100 см на определение  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^{2-}$  и рН. В случае ее обнаружения определить полностью состав водной вытяжки.

Контролировать щелочность можно, придерживаясь критерия предложенного В. П. Бобковым [21]: почвы, содержащие  $\text{HCO}_3 \geq \text{Ca} + \text{Mg}$  по водной вытяжке, считаются щелочными. Более полная оценка должна проводиться по классификации, представленной в приложении Д (таблица Д.5) [22].

Значительное снижение урожайности сельскохозяйственных культур и

падение плодородия наблюдается не только на засоленных и подверженных ощелачиванию землях, но и при наличии солонцеватости почв. Показателем степени солонцеватости является содержание натрия Na и магния Mg (%) в почвенном поглощающем комплексе (ППК). Наличие в ППК повышенного содержания Na и Mg способствует формированию у почв неблагоприятных свойств, которые выражаются, прежде всего, в ухудшении водно-физических и химических свойств почв (увеличивается плотность сложения почв, уменьшается общая порозность) и в утрате почвой благоприятной комковато-зернистой структуры, в обеднении гумусом верхних почвенных горизонтов. То есть в большинстве случаев нарушается оптимальное экологическое равновесие между растением и средой его обитания. С пополнением натрием почвенного поглощающего комплекса усиливается «кальциевое голодание». Наиболее четко эти факторы проявляются при содержании в ППК обменного  $Na \geq 7-10 \%$ , обменных  $Na + Mg \geq 30 \%$ .

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

Контроль осуществляется по классификации, представленной в приложении Д (таблица Д. 6) [23].

Дополнительно о солонцовых и щелочных процессах можно судить по показателям содоустойчивости, методику определения которой и классификацию разработал В. П. Бобков (приложение Д, таблица Д.7) [24].

К категории с неудовлетворительным плодородием относятся почвы с содоустойчивостью равной 0–20 мг-экв на 100 г. Это почвы практически не обладающие содоустойчивостью (0–10 мг-экв/100 г) или обладающие очень слабой содоустойчивостью (10–20 мг-экв/ 100 г). Это, как правило, солонцовые и солончаковые почвы, в которых периодически отмечается наличие

СО<sub>3</sub>. Содоустойчивость, равная 20–35 мг-экв/100 г, является показателем удовлетворительного плодородия. Сюда относятся почвы с достаточно высокой емкостью поглощения, слабосолонцеватые, в профиле которых присутствуют водорастворимые соли. При содоустойчивости более 35 мг-экв/100 г обычно сохраняется оптимальное плодородие с удовлетворительной экологической ситуацией на орошаемых участках. В эту категорию входят почвы незасоленные, несолонцеватые [25].

Контроль за содержанием и глубиной залегания гипса и карбонатов важен не только с точки зрения оценки почвенного плодородия, но и с целью использования их запасов для мелиорации солонцеватых почв [23]. Высокозагипсованные почвы с содержанием CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O более 0,3 % (приложение Д, таблица Д.8) и поверхностнокарбонатные (приложение Д, таблица Д.9) с содержанием CaCO<sub>3</sub> более 3 % используются для самомелиорации, только в карбонатные слои для образования гипса добавляется серная кислота [26].

Степень карбонатности почв также следует определять по приложению Д, (таблица Д.10) [23]. Закарбонатные почвы сильно уплотнены и зачастую водонепроницаемы.

Отбор образцов на содержание гипса и карбонатов проводится раз в пять лет по слоям 0–20, 20–40, 40–60, 60–80, 80–100 см.

Отсутствие CaCO<sub>3</sub> при периодически промывном режиме определяет нейтральную или слабокислую реакцию среды и экологический оптимум для большинства культурных растений: пшеница, кукуруза, сахарная свекла, яблоня, груша, слива, вишня и др.

Слабо и средне карбонатные почвы, т. е. содержание CaCO<sub>3</sub> до 8 % обычно снижают биологическую продуктивность для большинства сельскохозяйственных растений на 10–15 % по сравнению с почвами выщелоченными.

Другим немаловажным показателем при контроле почвенного плодородия, особенно переувлажненных и заболоченных земель, являются недоокисленные вещества, наличие которых свидетельствует о проявлении скры-

тых негативных процессов. Земли, подвергающиеся переувлажнению, в основном средне- и низкообеспечены элементами питания в вегетационный период, хотя зачастую минеральные и органические удобрения вносятся в достаточных количествах. Переход питательных веществ в недоступные для растений формы объясняется созданием анаэробных условий, при которых образуются недоокисленные токсичные вещества, блокирующие их доступность сельскохозяйственным культурам.

Классификация, представленная в приложении Д (таблица Д.11), позволяет оценить общее содержание органических и неорганических соединений, куда входят: сероводород, сода, закисное железо и марганец, метан, этилен, муравьиная, масляная, молочная, уксусная, пропиленовая, ванильная, бензойная и другие кислоты [27]. Токсичность недоокисленных веществ бывает настолько велика, что полностью нарушается система питания растений и они погибают, иногда не получается даже всходов. Это следует учитывать при выявлении причин, снижающих урожайность сельскохозяйственных культур.

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

Помимо недоокисленных веществ для характеристики анаэробного почв, особенно в орошаемых почвах, требуется установление окислительно-восстановительного режима, который оценивается на основе величины и динамики окислительно-восстановительного потенциала (ОВП и Eh). Агрономическая оценка окислительно-восстановительных условий дана в приложении Д (таблица Д.12). Диапазон восстановительных условий делят на интенсивно-восстановительные (ОВП (Eh) менее 200 мВ), умеренно-восстановительные (200–300 мВ), слабовосстановительные (300–400 мВ) [28].

### 3.1.4 Показатели агрохимических свойств почв

Для контроля уровня плодородия почв рекомендуется определять следующие показатели: общий гумус по Тюрину, тип гумуса по величине отношения  $C_{г.к.} : C_{ф.к.}$ , степень гумификации органического вещества  $C_{г.к.} / C_{общ}$  100 %, обогащенность гумуса азотом  $C:N$ , содержание и состав подвижного органического вещества по Егорову или Тюрину, лабильных гумусовых веществ в нейтральной пиррофосфатной вытяжке по методике почвенного института, количество водорастворимых гумусовых веществ, содержание подвижных форм фосфора и калия в углеаммонийной вытяжке, нитратный азот дисульфифеноловым методом [10, 29–31].

Перечисленные показатели обеспечивают необходимую информацию о плодородии почв.

С содержанием и составом гумуса тесно связаны морфологические признаки и физические свойства почв. Гумус способен придавать своеобразную буферность по отношению к влиянию различных факторов среды. Соотношение гуминовых и фульвокислот определяет агрономическую ценность почв. Преобладание гуминовых кислот способствует формированию высокоплодородных почв с водопрочной структурой, высокой поглотительной способностью. Отношение  $C:N$  характеризует устойчивость гумуса против разрушения в процессе освоения – чем оно меньше, тем гумус более устойчив. Содержание подвижного органического вещества в почве отражает интенсивность процесса новообразования гумуса и биологического круговорота веществ в почве.

Основные показатели гумусного состояния почв разного уровня плодородия представлены в приложении Е (таблица Е.1).

Общее содержание гумуса, соотношение гуминовых и фульвокислот, отношение  $C:N$ , достаточно определить один раз в пять лет в тех же образцах, в которых будут определяться водорастворимые соли, состав почвенного поглощающего комплекса и т. д. Обязательно должен быть охвачен основной

корнеобитаемый слой (0–60 см).

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

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

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

Анализ и оценка обеспеченности почв ЭМП проводится с использованием общепринятых методик [5, 10, 28, 31]. В случае невозможности определения легкогидролизуемого азота (наиболее доступная форма азота растения), определяют отдельно нитраты и аммоний и по их сумме судят об обеспеченности почв этим ЭМП (приложение Е, таблица Е.2)

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

Современные технологии возделывания культур определяют возрастающую потребность в микроудобрениях, эффективное применение которых может быть достигнуто только при учете в почвах подвижных форм микроэлементов. В приложении Е (таблица Е.6) приведена обеспеченность подвижными формами микроэлементов [5].

### 3.1.5 Показатели эколого-токсикологического состояния

Эколого-токсикологическое состояние почв определяется уровнем их загрязненности. В соответствии с ГОСТ 17.4.3.04 загрязнение почв – это накопление в почвах химических или радиоактивных соединений в количествах, отрицательно влияющих на плодородие почв, продуктивность земель, сопредельные среды и растительный покров [32, 33].

Для сельскохозяйственных полей наиболее опасными загрязнителями являются тяжелые металлы (ТМ) и мышьяк. По степени опасности их делят на три класса [34]:

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

При оценке экологической опасности в первую очередь учитывается присутствие элементов, относимых к I и II классам токсичности [35].

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

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

Оценка загрязненности почв проводится путем сопоставления содержания загрязняющих элементов и веществ в почвах с их фоновым содержа-

нием с одной стороны и, с другой с их предельно допустимым содержанием (ПДК).

В первом случае можно использовать кларки по Виноградову, где загрязненность разделена на шесть групп (классов), каждая в один кларк по Виноградову [36]. Кларк – это фоновое содержание тяжелых металлов в почве. Первая группа загрязненности: фон + 1 кларк; вторая группа: фон + 2 кларка и т. д. При такой группировке уровень загрязненности почвы характеризуется как: 1 – слабый, 2 – умеренный, 3 – средний, 4 – повышенный, 5 – высокий, 6 – очень высокий. Каждая почва имеет свое фоновое содержание валовых форм ТМ и мышьяка (приложение Ж (таблица Ж.1) [32].

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

Для оценки уровня относительной опасности загрязнения почвенного покрова можно использовать показатели, представленные в приложении Ж (таблицы Ж.2 и Ж.3) [28].

Кроме того, о загрязненности почв тяжелыми металлами и другими загрязняющими веществами можно судить при сопоставлении их фактического содержания с предельно допустимыми концентрациями (приложение Ж, таблицы Ж.4 и Ж.5) и с ориентировочно допустимыми концентрациями (ОДК) (приложение Ж, таблицы Ж.6 и Ж.7) [35].

Степень загрязнения земель разными химическими веществами можно определять по таблице Ж.8 приложения Ж. При наличии большого количества загрязнителей загрязнение почв оценивается по показателю суммарного

загрязнения ( $Z_c$ ), который рассчитывается по формуле [32]:

$$Z_c = \sum \frac{C_{(i) \text{ факт}}}{C_{(i) \text{ фон}}} + \dots x(n-1), \quad (3)$$

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

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

$n$  – количество определяемых токсикантов, мг/кг.

В приложении Ж (таблица Ж. 8) представлена ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю.

Для определения содержания тяжелых металлов отбираются один раз в 4–5 лет образцы почв по слоям 0–10, 10–20 см с последующим их определением атомно-адсорбционным методом [7].

При обнаружении загрязнителей в почве выше ПДК следует проконтролировать их наличие в произрастающих растениях [37].

### 3.1.6 Биологическая активность почв

Биологическая активность почв связана в основном с жизнедеятельностью почвенных микроорганизмов, поэтому микробиологический режим является важнейшим фактором формирования плодородия почв и вместе с тем весьма чувствительным индикатором антропогенного воздействия на почву и, в том числе, степень ее загрязнения. Микроорганизмы принимают активное участие в круговороте азота, углерода, фосфора, серы и других элементов минерального питания, переводя ряд его элементов из недоступных для растений форм в доступные, способствуют деструкции различных фитотоксичных веществ и др. При орошении резко увеличивается численность актиномицетов, бактерий, фиксирующих атмосферный азот и других. Наибольшее разнообразие видового состава почвенных микроорганизмов и их высокая активность проявляются при влажности почвы 60–70 % НВ и в интервале

температур 20–30 °С [38]. В рамках контроля почвенного плодородия за биологической активностью почв достаточно определить степень влияния почвенных микроорганизмов на растения, нитрификационную способность почв и целлюлозоразлагающую активности или скорость разложения клетчатки [5, 28, 39].

Наиболее простой метод определения токсичного влияния почвенных микроорганизмов на растения разработан сотрудниками МГУ [40].

Метод основан на посеве пророщенных семян (от 10 до 50 шт.) на почву, увлажненную до состояния густой пасты. Контрольные семена раскладывают на увлажненной вате, покрытой фильтровальной бумагой. Семена проращивают в течение 5–7 дней при постоянной температуре во влажной камере.

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

Нитрификационная способность почвы, как правило, отражает ее общую биологическую активность, от которой в большей мере зависит уровень эффективного плодородия.

Интенсивность нитрификации может косвенно свидетельствовать об отсутствии или наличии питательных веществ для культурных растений. Нитрификацию достаточно определить один раз за вегетационный период по слоям 0–20, 20–40, 40–60 см.

Параметры нитрификационной способности почв представлены в приложении И.

Степень разложения клетчатки или целлюлозоразлагающая способность почв определяется методом взвешивания полотна до его закапывания в почву и после 10–14 дней после воздействия почвенной массы на разложение

полотна [38].

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

### 3.2 Сопутствующие объекты наблюдений, влияющие на плодородие орошаемых почв

К сопутствующим объектам наблюдений авторами отнесены оросительные, грунтовые и коллекторно-дренажные воды, а также климатические факторы и растения.

Наибольшее воздействие на почву оказывает вода. Она обеспечивает в прямом и переносном смысле жизнь почвы и жизнь в почве. Все химические, физические и биологические реакции и процессы совершаются при непосредственном участии воды. На орошаемых землях помимо природных (атмосферных, почвенных, поверхностных, грунтовых, подземных) вод добавляются оросительные и коллекторно-дренажные. Их действие очень велико и многообразно. С оросительной водой в почву поступают минеральные соли и механические взвеси.

Именно избыток оросительной воды вызывает подъем уровня грунтовых вод, засоление, подтопление и переувлажнение орошаемых территорий. Длительное орошение может изменить тип почв и направленность почвообразовательного процесса [5, 20, 41].

Глубина залегания грунтовых вод создает определенный мелиоративный режим и соответствующий ему ирригационный тип почвообразования, при котором изменяются физико-химические, химические, водно-физические свойства почвы. При залегании грунтовых вод более 6 м создаются автоморфные условия, 3–6 м – полугидроморфные, менее 3 м – гидроморфные, в том числе менее 1,5 м – сильногидроморфные условия.

Контроль за коллекторно-дренажными водами является необходимым условием, как фактор, влияющий на режим грунтовых вод, засоленность и

солонцеватость почвогрунтов и, в целом, почвенное плодородие.

На орошаемых массивах с открытой сетью дренажно-сбросных каналов, вода в них является смесью грунтовых дренируемых вод и поверхностных, включающих поливные воды и атмосферные осадки.

Если почва и вода существенно изменяются под влиянием антропогенных факторов, то климат меньше и медленнее всех реагирует на эти изменения, зато сам оказывает определенное влияние на развитие всей биоты в целом, организацию и характер хозяйственной деятельности и в том числе орошаемого земледелия.

Из всех компонентов контроля растения первыми реагируют на негативные процессы в почве и воде. Все классификации почвенных показателей, грунтовой и оросительной вод в той или иной форме учитывают реакцию растений.

Сложность диагностирования почвенного плодородия с помощью растений заключается в том, что они суммируют все признаки и окончательный вывод можно сделать лишь по результатам анализов. Если же неблагоприятные процессы определяются одним показателем (что бывает, конечно, редко), то по состоянию и продуктивности растений можно ориентировочно определить величину этого показателя (засоления, солонцеватости, щелочности и т. д.).

Без растений невозможно в полной мере дать объективную оценку почвенному плодородию, так как это самый «чуткий» прибор, который практически не ошибается.

### 3.2.1 Оросительные и коллекторно-дренажные воды

Проблема качества поливных вод имеет важное значение в основном для сухостепной и степной зон, где в связи с расширением площадей орошения испытывается недостаток пресных вод удовлетворительного качества и приходится использовать более минерализованные воды с менее благоприят-

ными ирригационными качествами. Практика и теория допускают использование этих вод, но при постоянном контроле за изменением свойств почв. Только научно-обоснованный подход может обеспечить использование минерализованных (речных, коллекторно-дренажных и др.) вод без ухудшения свойств почв.

Роль качества оросительной воды очень велика. В настоящее время существует классификация С. Я. Бездნიной [42–45], в которой выведено четыре класса воды, имеющих различное влияние на плодородие почв, а в связи с этим и подход к ее использованию должен быть различным. Чем хуже качество воды, тем более тщательно следует вести наблюдения за свойствами почв.

Согласно вышеприведенным ГОСТ и рекомендациям по оценке качества воды для орошения по опасности засоления почв рекомендуется классификация, в основу которой положена массовая концентрация солей и показатель по хлору. По степени опасности осолонцевания почв положена массовая концентрация солей и отношение катионов, по степени опасности содобразования разность между щелочными ионами ( $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^{2-}$ ) и катионами ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ) (приложение К, таблица К.1). К вполне пригодным (приложение К, таблица К.2) отнесены воды в основном с минерализацией до  $1,5 \text{ г/дм}^3$ , пригодные для большинства культур до  $1,0 \text{ г/дм}^3$ . К показателям благоприятной оросительной воды относится содержание хлор-ионов до  $2 \text{ мг-экв/дм}^3$ .

Нередко отмечается загрязнение источников орошения органическими и неорганическими веществами. Нормирование содержания микроэлементов и органических веществ следует проводить в случае опасности загрязнения ими оросительных вод (по указанию санэпидстанции). Содержание микроэлементов, в том числе и тяжелых металлов, а также органических веществ не должно превышать допустимых величин, указанных в приложении К (таблицы К.3 и К.4).

## 3.2.2 Грунтовые воды

На режим грунтовых вод влияют следующие факторы:

- природные – климатические, гидрологические, подземный приток и отток;
- ирригационно-хозяйственные – виды орошения, техника орошения, показателем которой служит коэффициент полезного действия оросительных систем, способ орошения, состав сельскохозяйственных культур и изменение его, коэффициент земельного использования и динамика его, водоподача на орошение и изменение ее по сезонам года и в многолетнем разрезе, поступление солей в оросительную сеть; наличие дренажа, типы его, величина дренажного стока, вынос им солей и динамика их по сезонам года и в многолетнем разрезе, влияние источников орошения и др. [46].

Для контроля почвенного плодородия орошаемых земель очень важное значение имеет уровень грунтовых вод. Подъем уровня грунтовых вод на орошаемом массиве определяется из уравнения водного баланса [28].

$$\Delta H = \frac{M_{\text{оп}} + P - E - \Delta W_0 + Q_1 - Q_2}{m}, \quad (4)$$

где  $\Delta H$  – подъем уровня грунтовых вод, м;

$M_{\text{оп}}$  – подача воды за любой период времени на орошаемое поле, включает в себя поливные воды и потери воды при поливе и в оросительной сети, мм;

$P$  – осадки, мм;

$E$  – суммарное испарение, мм;

$\Delta W_0$  – изменение запасов воды в балансируемом слое за время  $t$ , мм;

$Q_1, Q_2$  – приток и отток подземных вод, мм;

$m$  – дефицит влаги в зоне подъема грунтовых вод до полной влагоемкости грунта (обычно  $m = 0,1-0,2$  в долях объема).

Каждый из элементов баланса выражают в виде слоя воды, отнесенного на орошаемую площадь в м<sup>3</sup>/га.

Тщательность определения всех элементов баланса является залогом качественной оценки мелиоративного состояния орошаемых земель и предупреждения возможного подтопления прилегающей территории под влиянием орошения. Степень подтопления земель определяется глубиной грунтовых вод (таблица 3) [28].

Таблица 3 – Степень подтопления земель с учетом типов режимов почвообразования зональных почв [28]

Природный тип гидрогеологического режима	Степень подтопления земель при глубинах грунтовых вод, м				
	неподтопленные	подтопление			
		слабое	среднее	сильное	очень сильное
1	2	3	4	5	6
Лесостепная зона – черноземы выщелоченные и оподзоленные					
Автоморфный	6–7	5–6	4–5	3–4	2–3
Субавтоморфный	5–6	4–5	3–4	2–3	1–2
Автоморфно-гидроморфный	4–5	3–4	2–3	2	1–2
Лугово-черноземные почвы					
Субгидроморфный	3	2–3	1–2	1	1
Степная зона – черноземы и темно-каштановые почвы					
Автоморфный	9–10	8–9	7–8	6–7	5–6
Субавтоморфный	8–9	7–8	6–7	5–6	4–5
Автоморфно-гидроморфный	6–7	5–6	4–5	3–4	2–3
Черноземно-луговые почвы					
Субгидроморфный	4–6	3–4	3	2	1
Лугово-черноземные почвы					
Гидроморфный	3–4	2–3	1–2	1	1
Сухостепная зона – каштановые почвы					
Автоморфный	8–9	7–8	6–7	5–6	4–5
Субавтоморфный	7–8	6–7	5–6	4–5	3–4
Автоморфно-гидроморфный	6–7	5–6	4–5	3–4	2–3
Каштановые луговые почвы					
Субгидроморфный	4–6	3–4	3	2	21
Лугово-каштановые почвы					
Гидроморфный	3–4	2–3	1–2	1	более
Полупустынная зона – светло-каштановые, комплексные солонцеватые почвы					
Автоморфный	7–8	6,5–7	6–6,5	5,5–6	5–5,5
Субавтоморфный	6–7	5,5–6	5–5,5	4,5–5	4–4,5
Автоморфно-гидроморфный	5–6	5–5,5	4,5–5	4–4,5	3,5–4
Субгидроморфный	4–5	4–4,5	3,5–4	3–3,5	2,5–3
Гидроморфный	3–4	3–3,5	2,5–3	2–2,5	1–2
Пустынная зона – бурые почвы					
Автоморфный	7–8	6–7	5–6	4–5	3–4

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6
Субавтоморфный	6–7	5–6	4–5	3–4	2–3
Автоморфно-гидроморфный	5–6	4–5	3–4	2–3	1–2
Солонцеватые					
Субгидроморфный	4–5	3–4	2–3	1–2	менее 1
Засоленные					
Гидроморфный	3–4	2–3	1–2	1	менее 1

При контроле следует также оценить уровень залегания грунтовых вод и их минерализации. Если он выше критического, то происходит накопление водорастворимых солей (вторичное засоление) и обменных натрия и магния (осолонцевания) в корнеобитаемом слое. При высоком уровне грунтовых вод (1–1,4 м от поверхности) в почвах степной зоны обычно засоляются поверхностные слои (0–40 см), содержание солей в зависимости от минерализации 0,3–1,5 % и более; при уровне 1,4–2,0 м накопление солей происходит чаще всего в слое 30–80 см, при более глубоком уровне такое же количество солей накапливается в зоне капиллярной каймы грунтовых вод.

Критическая глубина зависит от степени минерализации грунтовых вод, колебания среднегодового и средневегетационного уровней, гранулометрического состава почвы, климатической зоны, водного режима почвы, химического состава растворимых солей. Для обеспечения оптимального почвенного плодородия орошаемых полей необходимо, чтобы глубина залегания грунтовых вод была больше критической. Ее контроль осуществляется по общепризнанной классификации, составленной Д. М. Кацем (приложение Л, таблица Л.1) [47].

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

Залегание пресных грунтовых вод выше 80 см неблагоприятно для всех полевых культур и большинства трав, на уровне 80–100 см – благоприятно для большинства трав, некоторых плодовых кустарников (смородины, малины) овса, гороха, льна, но исключает возделывание плодовых культур, 100–

120 см – оптимально для большинства полевых культур, но неблагоприятно для плодовых насаждений, 120–140 см – оптимально для косточковых плодовых культур, винограда, 140–200 – для семечковых плодовых, теплолюбивых косточковых (абрикоса, персика) [28].

При высоком уровне грунтовых вод необходим учет их динамики в течение вегетационного периода.

Коллекторно-дренажные воды в условиях дефицита оросительной воды могут быть использованы для орошения, но следует строго контролировать их качество, используя классификацию оценки качества поливных вод (приложение К). В случае плохого качества таких вод применять мелиоративные приемы, как для воды, так и самой почвы.

### 3.2.3 Агроклиматические условия и урожайность возделываемых культур

Температура, осадки, испаряемость, влажность воздуха и другие показатели были и остаются необходимыми для контроля плодородия земель, в том числе орошаемых. Теплообеспеченность территорий и сельскохозяйственных культур описывается многими показателями, однако главным, если не основным, является показатель ресурсов тепла или сумма температур выше 10 °С. В настоящее время для сельскохозяйственных культур уже установлены суммы температур, обеспечивающие созревание и достижение хозяйственно-ценных фаз развития (таблица 4) [48].

Таблица 4 – Обеспеченность созревания и достижения хозяйственно-ценных фаз развития (в 90 % лет)

Показатель ресурсов тепла (сумма температур выше 10 °С), °С		Культура
ЕЧС, Западная Сибирь	Восточная Сибирь, Дальний Восток	
1	2	3
Менее 400	Менее 400	Овощные культуры в защищенном грунте
400	400	Редис, салат, шпинат, лук на перо
Менее 800	Менее 700	Репа, турнепс, капуста (р), картофель (р) при спецагротехнике

Продолжение таблицы 4

1	2	3
1000	800	Ячмень (р), озимая рожь (р) на более теплых участках
1200	1000	Ячмень (р), горох (р), лен (р) на волокно
1400	1200	Овес (р), ячмень (с)
1600	1400	Яровая пшеница (р), озимая пшеница, кукуруза (с) в фазе выметывания, сахарная свекла на корм
1800	1600	Ячмень (п), овес (п), кукуруза (п) на силос в фазе выметывания, просо (р)
2000	1800	Яровая пшеница (п), подсолнечник (р) на семена, сахарная свекла на сахар
2200	2000	Кукуруза (р) на зерно, сахарная свекла (р), фасоль (р), просо (р)
2400	2200	Кукуруза (с) в фазе молочно-восковой спелости, рис (р), соя (р), виноград (р)
2600	2400	Абрикос (р), фасоль (п), подсолнечник (п) на семена
2800	2600	Кукуруза (с) на зерно, кукуруза (п) в фазе молочно-восковой спелости, сорго (р)
3000	–	Кукуруза (с, п) на зерно, виноград (с)
3200	–	Кукуруза (п) на зерно, грецкий орех, каштан
3400	–	Соя (п), арахис (р), сорго (п), инжир, гранат, хурма
3600	–	Хлопчатник (р), лимон, мандарин
4000	–	Хлопчатник (с), рис (п), виноград (п)
4400	–	Маслины, апельсин
4800	–	Хлопчатник (п), джут
Примечание – р – ранние сорта, с – средние, п – поздние.		

В итоге обобщения и анализа имеющихся материалов о требованиях сельскохозяйственных культур к теплу В. Н. Степановым составлена сводная характеристика значений биологического минимума температуры для разных периодов развития растений (таблица 5) [48].

Таблица 5 – Биологические минимумы и хозяйственные оптимумы температуры воздуха (°С) в разные периоды развития полевых культур [48]

Культура	Минимум				Оптимум			
	Появление всходов	Формирование вегетативных органов	Формирование генеративных органов и цветение	Плодоношение	Появление всходов	Формирование вегетативных органов	Формирование генеративных органов и цветение	Плодоношение
Зерновые								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Пшеница	4–5	4–5	10–12	12–10	6–12	12–16	16–20	16–22

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Рожь	4-5	4-5	10-12	12-10	6-12	12-16	16-20	16-22
Ячмень	4-5	4-5	10-12	12-10	6-12	12-16	16-20	16-22
Овес	4-5	4-5	10-12	12-10	6-12	12-16	16-20	16-22
Кукуруза	10-12	10-12	12-15	12-10	15-18	16-20	20-24	18-24
Просо	10-11	10-11	12-15	12-10	15-18	16-20	18-22	18-24
Рис	14-15	14-15	18-20	15-12	18-22	18-27	22-27	20-25
Гречиха	7-8	7-8	10-12	12-10	16-18	16-20	16-20	17-21
Бобовые								
Вика	4-5	4-5	10-12	12-10	6-12	12-16	16-20	16-22
Горох	4-5	4-5	10-12	12-10	6-12	12-16	16-20	16-22
Чечевица	4-5	4-5	10-12	12-10	6-12	12-16	17-21	17-22
Чина	4-5	4-5	10-12	12-10	6-12	12-16	17-21	19-23
Бобы	5-6	5-6	8-10	10	9-12	12-16	16-20	16-22
Нут	5-6	5-6	12-15	15-12	9-12	17-18	17-21	20-24
Фасоль	12-13	12-13	15-18	15-12	15-18	16-26	18-25	20-23
Соя	10-11	10-11	15-18	12-10	15-18	15-18	18-22	18-22
Люпин	5-6	5-6	8-10	10	9-12	14-16	16-20	16-20
Примечание – указана температура почвы для клубнеобразования.								

Суммы положительных температур воздуха выше 10 °С по субъектам Российской Федерации представлены в таблице 6 [48].

Таблица 6 – Суммы положительных температур воздуха выше 10 °С по субъектам РФ, обеспеченные на 90 %

Наименование субъекта РФ	Сумма положительных температур воздуха выше 10 °С	Наименование субъекта РФ	Сумма положительных температур воздуха выше 10 °С
1	2	3	4
Мурманская область	325	Республика Карачаево-Черкесия	2039
Республика Карелия	820	Кабардино-Балкарская Республика	2650
Архангельская область	1100	Республика Северная Осетия	2650
Ненецкий АО	226	Ингушская Республика	3100
Республика Коми	700	Чеченская Республика	3100
Вологодская область	1350	Республика Дагестан	2794
Ленинградская область	1434	Коми-Пермский АО	1344
Новгородская область	1677	Пермская область	1410
Псковская область	1633	Екатеринбургская область	1410
Калининградская область	1996	Республика Удмуртия	1655
Тверская область	1594	Республика Башкортостан	1800
Ярославская область	1560	Оренбургская область	2320
Костромская область	1560	Челябинская область	1610

Продолжение таблицы 6

1	2	3	
Ивановская область	1655	Курганская область	1800
Владимирская область	1745	Ямало-Ненецкий АО	423
Московская область	1795	Ханты-Мансийский АО	1076
Смоленская область	1469	Тюменская область	1035
Брянская область	1950	Омская область	1835
Калужская область	1800	Томская область	1360
Орловская область	2250	Новосибирская область	1550
Тульская область	1900	Кемеровская область	1360
Рязанская область	2025	Алтайский край	1730
Липецкая область	2050	Республика Алтай	1200
Курская область	2050	Таймырский АО	525
Белгородская область	2250	Эвенкийский АО	901
Воронежская область	2250	Красноярский край	1170
Тамбовская область	2050	Республика Хакасия	1339
Нижегородская область	1840	Республика Тува	1370
Кировская область	1560	Иркутская область	1205
Республика Марий-Эл	1840	Усть-Ордынский Бурятский АО	999
Республика Чувашия	1935	Республика Бурятия	820
Республика Мордовия	2025	Читинская Область	1450
Республика Татарстан	1860	Агинский Бурятский АО	1554
Самарская область	2225	Республика Саха	1149
Ульяновская область	2025	Магаданская область	540
Пензенская область	2200	Чукотский АО	403
Саратовская область	2475	Корякский АО	692
Волгоградская область	2800	Камчатская область	530
Астраханская область	3200	Амурская область	1625
Республика Калмыкия	3200	Еврейский АО	2125
Ростовская область	2900	Хабаровский край	1625
Краснодарский край	3450	Сахалинская область	1090
Республика Адыгея	3168	Приморский край	1900
Ставропольский край	2600	–	–

Сравнивая таблицы 4 и 6 можно составлять набор культур по теплообеспеченности для любого субъекта РФ. Но, конечно, в комплексе экологических условий, регулирующих рост и развитие растений, следует учитывать термопериодизм, то есть различия в термическом режиме дня и ночи.

Влагообеспеченность территорий в целом, так и отдельных сельскохозяйственных культур оценивается значительным количеством показателей: гидротермический коэффициент (ГТК), запасы продуктивной влаги (W), биологический коэффициент испарения (Ки) и др. [48, 49].

По характеру увлажнения территория России разделена на три зоны: влажную, засушливую и сухую.

Во влажной зоне количество осадков за год превышает возможное испарение или испаряемость. Значительное снижение урожая в этой зоне из-за недостатка влаги маловероятно. Наоборот, избыток влаги может привести к снижению урожайности.

Эта зона делится на две подзоны: избыточно влажную и влажную, и, в основном совпадает с лесной зоной. В засушливой зоне осадки за год заметно меньше возможного испарения. Растения часто испытывают недостаток влаги, вследствие чего для этой зоны характерны значительные колебания урожая по годам.

По степени засушливости она разделяется на три подзоны: незначительно засушливую или слабозасушливую (приблизительно соответствует лесостепи), засушливую (степь), и очень засушливую (сухая степь).

В сухой зоне (пустыни и полупустыни) количество осадков так незначительно, что земледелие без орошения нерентабельно. Помимо орошения за счет воды крупных рек, здесь широко используются и местные воды (лиманное орошение, падинное земледелие).

В таблице 7 приведена краткая характеристика зон и вероятность лет с различным увлажнением.

Таблица 7 – Зоны и подзоны увлажнения

Зона увлажнения	Подзона увлажнения	Соответствующая природная зона в местах с хорошо выраженной зональностью	ГТК VI–VIII	Вероятность различно увлажненных лет (%)					
				сухих	очень засушливых	засушливых	слабо засушливых	влажных	избыточно влажных
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Влажная	избыточно влажная	Тайга, преимущественно на глеево-подзолистых и подзолистых почвах	Более 1,6	0	0	5	10	25	60
	влажная	Тайга и лиственные леса на подзолистых почвах	1,6–1,3	0	5	10	25	30	30

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Засушливая	слабо засушливая	Лесостепь	1,3(1,6)–0,7(1,0)	0	15	25	30	20	10
	засушливая	Типичная степь на обыкновенных черноземах	1,0(1,3)–0,7(1,0)	10	25	35	20	5	•
	очень засушливая	Степь на южных черноземах и темно-каштановых почвах	0,7–0,4	35	45	15	5	•	0
Сухая	сухая	Полупустыня на светло-каштановых почвах	0,4–0,2	75	20	•	0	0	0
	очень сухая	Пустыня на бурых почвах	Менее 0,2	10 0	•	0	0	0	0
Примечание – точка (•) означает вероятность менее 5 %. Цифры в скобках соответствуют Забайкалью и югу Дальнего Востока.									

Под сухим понимается год, когда осадки не могут обеспечить получение даже минимально приемлемого урожая в производственных условиях (в среднем он менее 10–15 % от урожая при оптимальном увлажнении). В очень засушливые и засушливые годы недостаток влаги приводит к снижению урожая на 50 % и 30 % соответственно.

Наибольший урожай соответствует влажным, а для некоторых культур (например, подсолнечника) слабо засушливым годам. При избыточном увлажнении урожай может снижаться из-за развития грибковых заболеваний, полегания и прочих потерь.

Указанные изменения урожая в зависимости от увлажнения сохраняются и при условии внесения удобрений, эффективность которых также связана с увлажнением; эффективность удобрений снижается как при недостатке влаги, так и при ее избытке.

Растения чувствительны как к недостатку влаги в почвах, так и к ее избытку. При недостатке влаги падает тургорное давление клеток, теряется их

эластичность, резко снижается динамика всех биохимических процессов, что приводит к гибели растений. При избытке влаги у растений нарушается кислородный обмен, а в почвах накапливаются ядовитые закисные соединения.

Растения потребляют значительное количество воды на жизненные процессы, рост, образование тканей. Расход воды определяется транспирационными коэффициентами, которые представляют количество воды, необходимое на синтез 1 г сухого вещества (таблица 8).

Таблица 8 – Средний расход воды на образование 1 г сухого вещества [13]

Растение	Расход, г	Растение	Расход, г
Рис	680	Фасоль	700
Рожь	630	Картофель	640
Овес	580	Подсолнечник	600
Пшеница	540	Арбуз	580
Ячмень	520	Кукуруза	370
Люцерна	840	Просо	300

Биопродуктивность растений в большой степени зависит от радиационного режима. По реакции на различную интенсивность радиации все формы растительности делятся на светолюбивые и теневыносливые.

Недостаточная освещенность посевов при большом количестве пасмурных дней обуславливает слабую дифференциацию тканей соломины зерновых культур, что способствует их полеганию. В загущенных посевах кукурузы из-за малой интенсивности солнечной радиации ослабляется образование початков на растениях и т. п.

Солнечная радиация влияет на химический состав растений. Например, сахаристость свеклы и винограда, содержание белка в зерне пшеницы тесно связаны с числом солнечных дней. Сахаристость яблок и ряда других плодов связана с интенсивностью солнечной радиации. Количество масла в семенах подсолнечника и льна возрастает с увеличением прихода солнечной энергии.

Для биологических процессов растений наибольшее значение имеет радиация с длиной волны меньше 4 мкм, включающая ультрафиолетовую, фотосинтетически активную и ближнюю инфракрасную радиацию [48].

Ультрафиолетовая радиация способствует дифференциации клеток и тканей, замедляет их рост. Количество ультрафиолетовой радиации, поступающей к растениям на высотах, близких к уровню моря, невелико. В высокогорных районах (выше 4 км) энергия ультрафиолетовых лучей в 2–3 раза больше, чем на уровне моря.

Инфракрасная радиация производит тепловое действие. Она поглощается водой, содержащейся в растениях, увеличивая испарение, что играет существенную роль и в их энергетическом режиме. В высокогорных районах энергия инфракрасных лучей возрастает. Это в значительной мере компенсирует недостаточное количество тепла, получаемое здесь растениями от окружающего воздуха.

В процессе фотосинтеза используется не весь спектр солнечной радиации, а только его часть, находящаяся в интервале длин волн 0,38–0,71 мкм. Она называется фотосинтетически активной радиацией (ФАР). В процессе фотосинтеза на создание органического вещества может использоваться до 10 % ФАР. Правильное представление о ФАР, учет ее распределения по территории и во времени имеет большое значение для получения высоких урожаев, так как ФАР является одним из важнейших факторов продуктивности сельскохозяйственных растений (таблица 9) [28, 48].

Таблица 9 – ФАР и потенциальная биологическая урожайность [28]

Географическая широта, °	Приход ФАР, млн МДж/га	3 % использования ФАР, ккал/га	Возможная биологическая урожайность, т/га
0–10	3,75–2,51	113–75	67–45
10–20	3,35–2,09	100–63	60–38
20–30	2,93–2,01	88–60	53–36
30–40	2,01–1,34	60–40	36–24
40–50	1,34–0,87	40–26	24–16
50–60	0,92–0,75	28–23	17–14
60–70	0,84–0,5	25–15	15–9

Установлено, что для фотосинтеза необходима интенсивность солнечной радиации, превышающая определенное значение. Это значение, называемое компенсационной точкой, для многих растений находится в пределах

20,9–34,9 Вт/м<sup>2</sup>. Ниже этого значения расход органического вещества на дыхание будет больше, чем образование органического вещества в процессе фотосинтеза.

При увеличении интенсивности ФАР от компенсационной точки до 209,4–279,2 Вт/м<sup>2</sup> продуктивность фотосинтеза возрастает. При дальнейшем увеличении ФАР прирост фотосинтеза замедляется. В дневное время приход ФАР обычно превышает эти значения, но в посевах и насаждениях, а также в теплицах в пасмурные дни интенсивность ФАР бывает недостаточной. Особенно это проявляется в густых развитых посевах, что приводит к снижению фотосинтеза и уменьшению продуктивности посевов.

Приведенный выше материал, исследуемый А. В. Гордеевым и др., подтверждает высокую пространственную изменчивость основных компонентов (факторов) биоклиматического потенциала (БКП) – тепло- и влагообеспеченность, радиационный баланс. При этом следует особо отметить, что в ряде случаев недостаток или избыток одного из факторов не могут быть компенсированы даже оптимальными значениями других факторов, а наличие других факторов даже в оптимальном или избыточном количестве никак не создаст благоприятных условий для формирования высокого БКП [48].

Количественные зависимости между свойствами почв и продуктивностью растений по-разному проявляются на фоне различных климатических условий. Данные агроклиматологов свидетельствуют, что биологическая продуктивность сельскохозяйственных культур пропорциональна величине сумм температур выше 10 °С [48]. Общая сумма осадков за ряд лет и распределение их в течение года вместе с другими климатическими показателями позволяет выдавать долгосрочные прогнозы балансов водных запасов и рациональное их использование.

За климатическими показателями ведет наблюдение служба Гидрометцентра. Выдаваемые результаты по форме и содержанию удовлетворяют задачам контроля плодородия на орошаемых землях. Необходимые из них должны накапливаться в банке данных для установления изменений почвы и

воды в зависимости от климатических факторов.

В качестве интегрального показателя плодородия почв следует брать биологическую урожайность сельскохозяйственных культур, определяемую для каждого вида растений в соответствии с существующими ГОСТами и методиками [50]. По снижению урожая можно судить о наличии того или иного неблагоприятного процесса (таблицы 10–12) [48, 51–53].

Таблица 10 – Снижение урожайности сельскохозяйственных культур при различной степени засоления по сравнению с незасоленными почвами

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

Таблица 11 – Снижение урожайности сельскохозяйственных культур на солонцовых землях по сравнению с несолонцеватыми

Степень солонцеватости по Ан-типову–Каратаеву	Содоустойчивость, мг-экв/100	Снижение урожая	
		%	ц/га
Несолонцеватые	более 35	–	–
Слабосолонцеватые	20–35	10–15	1,5–2,0
Среднесолонцеватые	10–20	15–25	3,0–4,0
Сильносолонцеватые	0–10	25–35	5,0–6,0
Солонцы	–	до 60	8,0–10,0

Таблица 12 – Снижение урожая сельскохозяйственных культур при различной степени щелочности

Степень щелочности	рН водной суспензии	Обменный натрий Na, %	Токсичная щелочность. (HCO <sub>3</sub> + Na + Mg) мг-экв/100 г	Снижение урожая	
				%	ц/га
Нещелочные	менее 7,5	5,0	0,7	–	–
Слабощелочные	8,0	10	1,0	15	5
Среднещелочные	8,5	15	1,6	35	10
Сильнощелочные	9,0	20	2,0	50	15
Очень сильнощелочные	более 9,0	20	2,0	70	20

Загрязненность продукции некоторыми химическими элементами сви-

детельствует о низком плодородии земель (приложение М).

Ожидаемое снижение урожайности сельскохозяйственных культур при различных уровнях загрязнения почв тяжелыми металлами представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Ожидаемое снижение урожайности сельскохозяйственных культур, % [53]

Чувствительность культур к ТМ	Уровень загрязнения почв тяжелыми металлами						
	первый – допустимый	второй – низкий	третий – средний	четвертый – высокий	пятый – очень высокий		
					сублетальный	критический	губительный
Устойчивые	–	–	–	менее 2	2–40	40–70	70–100
Слабочувствительные	–	–	менее 2	2–5	5–50	50–80	80–100
Среднечувствительные	–	менее 2	2–5	5–10	10–70	70–90	90–100
Высокочувствительные	–	менее 5	5–10	10–20	20–90	90–100	100

#### 4 Организация контроля за почвенным плодородием орошаемых земель

##### 4.1 Службы, методика проведения и периодичность определения показателей

Как видно из раздела 3, контроль за плодородием орошаемых земель, необходимый для выполнения статьи 13 Федерального закона от 25 октября 2001 г. № 136-ФЗ «Земельный кодекс РФ» по охране земель, требует выполнения большого набора показателей. Требования по охране плодородия земель представляют собой сложный комплекс мероприятий, которые обязаны выполнять в процессе хозяйственного использования земель все их правообладатели, собственники, землепользователи, землевладельцы и арендаторы.

На данный момент обязательность проведения правообладателями обследования земельных участков законодательством не предусмотрена, что препятствует выявлению существенного снижения плодородия почв [12]. Но

в законах и постановлениях Правительства четко прописано, что основными направлениями агрохимического обслуживания являются проведение почвенных, агрохимических фитосанитарных и экологотоксикологического обследований, а гидромелиоративные обследования проводятся службами Демелиоводхоза МСХ РФ [54–56].

В таблице 14 представлен рекомендуемый перечень показателей контроля почвенного плодородия, периодичность их выполнения и службы.

Таблица 14 – Рекомендуемый перечень показателей почвенного плодородия, периодичность их определения и службы

Показатель	Метод определения	Периодичность	Глубина опробования	Службы
1	2	3	4	5
Водно-физические свойства				
Структурно-агрегатный состав	по Саввинову [31, 57]	ежегодно	0,6 м	АХЦ*
Плотность сложения почвы	по Качинскому [57], ГОСТ 12536-79	ежегодно	до 1 м	ДМВХ** АХЦ
Гранулометрический и микроагрегатный составы	по Качинскому [31, 57]	1 раз в 5 лет	о 3 м	АХЦ
Коэффициент дисперсности	расчетный [14]	1 раз в 5 лет	до 1 м	АХЦ
Порозность	расчетный [14]	ежегодно	до 1 м	АХЦ
Плотность твердой фазы	пикнометрический [31]	1 раз в 5 лет	до 2 м	АХЦ
Водонепроницаемость	по Качинскому [14, 57]	1 раз в 5 лет	0,6 м	АХЦ
Наименьшая полевая влагоемкость	метод заливаемых площадок [14]	1 раз в 5 лет	1 м	ДМВХ
Влажность	термостатно-весовой [14], ГОСТ 28268–89	4–5 раз в год	до 1 м	ДМВХ
Физико-химические свойства				
Водная вытяжка	общепринятая методика [31, 58], ГОСТы 26423–85 и 26428–85	2 раза в год	до 3 м	ДМВХ
Состав ППК	общепринятая методика [31, 58], ГОСТ 27821–88	2 раза в год	до 3 м	АХЦ
Содоустойчивость	по Бобкову [31]	2 раза в год	до 3 м	АХЦ
Гипс	общепринятая методика [31]	1 раз в 5 лет	0,6 м	АХЦ
Карбонаты	по Голубеву [46, 48]	1 раз в 5 лет	0,6 м	АХЦ

Руководство

Продолжение таблицы 14

1	2	3	4	5
Агрехимические свойства				
Гумус, %	по Тюрину [31], ГОСТ 26213–91	ежегодно	до 1 м	АХЦ
Групповой и фракционный состав гумуса	по Тюрину в модификации Пономаревой-Плотниковой [31]	ежегодно	до 1 м	АХЦ
Легкогидролизуемый азот	по Тюрину-Кононовой [31]	2 раза в год	до 1 м	АХЦ
Нитраты	ГОСТы 26951–86 и 26481–85	по фазам развития растений	до 1 м	АХЦ
Подвижные формы фосфора, калия,	общепринятая методика [31]	по фазам развития растений	до 1 м	АХЦ
Загрязнения почв тяжелыми металлами				
Железо подвижные формы, мг/кг	ГОСТ 27395-87	ежегодно	пахотном слое	АХЦ
Кадмий: подвижная форма, мг/кг; валовое содержание, мг/кг	РД 52.18.289-90 РД 52.18.191-89	ежегодно	пахотном слое	АХЦ
Кобальт: подвижная форма, мг/кг	ГОСТ Р 50687-94 и РД 52.18.289-90	ежегодно	пахотном слое	АХЦ
Марганец: подвижная форма, мг/кг; валовое содержание, мг/кг	ГОСТ 26486 и РД 52.18.289-90 ПНД Ф 16.1:2.2.2.3.36-2002, изд. 2007 г.	ежегодно	пахотном слое	АХЦ
Медь: подвижная форма, мг/кг; валовое содержание, мг/кг	РД 52.18.289-90 РД 52.18.191-89	ежегодно	пахотном слое	АХЦ
Молибден подвижная форма, мг/кг	ГОСТ Р 50689-94	ежегодно	пахотном слое	АХЦ
Никель: подвижная форма, мг/кг; валовое содержание, мг/кг	РД 52.18.289-90 РД 52.18.191-89	ежегодно	пахотном слое	АХЦ
Ртуть, мг/кг	Методические указания по определению ртути, мышьяка, сурьмы и селена с использованием: ГРГ-107. – М.: Кортэк, 2000	ежегодно	пахотном слое	АХЦ

Продолжение таблицы 14

1	2	3	4	5
Свинец: подвижная форма, мг/кг; валовое содержание, мг/кг	РД 52.18.289-90 РД 52.18.191-89	ежегодно	пахотном слое	АХЦ
Хром подвижная форма, мг/кг	РД 52.18.289-90	ежегодно	пахотном слое	АХЦ
Цинк: подвижная форма, мг/кг; валовое содержание, мг/кг	ГОСТ Р 50686-94 и РД 52.18.289-90 РД 52.18.191-89	ежегодно	пахотном слое	АХЦ
Нефтепродукты, мг/кг	РД 52.18.647-2003	ежегодно	пахотном слое	АХЦ
Качество оросительных, грунтовых и коллекторно-дренажных вод				
Минерализация и химический состав вод	общепринятая методика [58]	2–3 раза в год	–	ДМВХ
УГВ	то же	то же	–	ДМВХ
Наблюдения за растениями				
Учет урожая	общепринятая методика [50]	в оптимальные сроки	–	АХЦ
* Агрохимцентры – АХЦ (ГЦАС). ** Служба Депмелиоводхоза МСХ РФ (гидрогеолого-мелиоративная партии).				

Государственный надзор, согласно положению о Федеральной службе по ветеринарному и фитосанитарному надзору, в сфере обеспечения плодородия почв, охране почв от ветровой, водной эрозии и предотвращению других процессов и иного негативного воздействия на окружающую среду, ухудшающих качественное состояние земель и других, осуществляется Россельхознадзором, а именно отделом земельного контроля. Полномочия и функции отдела четко отражены в Положении об отделе земельного контроля [59].

В постановлении Правительства РФ от 02 января 2015 г. № 1 представлено новое положение о государственном надзоре, в котором добавлено, что кроме федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору, вопросами требований и обязательных мероприятий по улучшению земель и охране почв от ветровой, водной эрозии и предотвращению других процессов ухудшающих качественное состояние земель, занимается и федеральная

служба по надзору в сфере природопользования [60].

На основании постановления Росстата от 6 августа 2007 г. № 61 Росреестр осуществляет сбор и автоматизированную обработку формы № 24-А «Сведения о состоянии мелиорируемых земель (орошение и осушение)», но данная форма учитывает только общую площадь этих земель, а учет непосредственно мелиорируемых участков отсутствует, что не позволяет конкретно судить об их состоянии [61].

Следует отметить, что отдельными субъектами РФ могут приниматься свои нормативно-правовые акты, которые регулируют особенности использования мелиорируемых земель.

Согласно приказу Минсельхоза РФ от 22 октября 2012 г. № 558 «Об утверждении Административного регламента ...» в предоставлении государственной услуги участвуют федеральные государственные бюджетные учреждения по мелиорации земель и сельскохозяйственного водоснабжения, действующие в субъектах РФ. По запросу Департамента мелиорации указанные учреждения предоставляют информацию о наличии мелиорированных земель в субъекте РФ, а так же сведения о состоянии мелиорированных земель по уровню залегания грунтовых вод и засолению почв [62].

Важным шагом в направлении программного подхода к решению проблем мелиорации стало решение Правительства Российской Федерации о разработке федеральной целевой программы «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 годы» [63]. В современных условиях мелиорация земель, предусматривающая проведение комплекса гидромелиоративных, агролесомелиоративных, культуртехнических и других мероприятий, становится решающим условием стабильно высокого производства сельскохозяйственной продукции.

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

## 4.2 Репрезентативность показателей свойств почв

Почва обладает свойствами изменять свои признаки и иметь в пространстве естественную пестроту. Для получения достоверных данных необходимо установить степень естественной пестроты тех или иных данных показателей и на основании математической статистики определить число повторностей отбора образцов.

Для этого на стационарной площадке с одним видом почв закладывают 10 скважин на расстоянии 1–2 м и на глубину, до которой намечается изучение почвенных процессов.

Данные анализов образцов почв из этих скважин обрабатываются методами математической обработки [50]. Определяют принадлежность выборки к нормальному распределению. Вычисляют среднее арифметическое  $X$ , среднее квадратическое отклонение  $S$ , коэффициент вариации  $V$ , ошибки выборочной средней  $S_x$ , %.

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

$$n = \left[ t \cdot \frac{V}{S_x} \% \right]^2, \quad (5)$$

где  $n$  – число повторностей отбора образцов;

$t$  – показатель вероятности;

$V$  – коэффициент вариации, %;

$S_x$  – ошибка выборочной средней, %.

Показатель вероятности определяется по таблице 1 приложения в «Методике полевого опыта» [50]. Число степеней свободы равняется  $n-t$ . При бурении 10 скважин эта величина равна 9, а при 5 % уровне значимости – 2,26.

### 4.3 Обработка и анализ материалов наблюдений

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

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

Рассмотрим один из вариантов обработки информации. ориентация исследований – диагностика и качественная оценка состояния почв на основе параметрических и статистических наблюдений системы почва – грунтовые воды – урожай.

В рамках предлагаемой процедуры можно выделить 3 основных этапа. Сущность первого этапа заключается в исследовании почвообразовательных процессов в зональных почвах на основе параметрического анализа системы почво-грунтовые воды. Данный цикл позволяет проследить динамику и изучить наиболее важные закономерности взаимосвязи водно-воздушного и солевого режимов почв, параметров гумусного состояния и пищевого режима почв.

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

Основной целью следующего этапа исследований является формирование вывода о возможности использования параметров урожайности ведущих

сельскохозяйственных культур в качестве важного диагностического признака при контроле качественного состояния почв. Основой для этого должен служить факт наличия достоверной статистической связи между урожайностью культур и параметрами мелиоративного состояния и плодородия почвенного покрова. Исследование структуры взаимосвязи параметров системы почва - грунтовые воды – урожай осуществляется на основе многофакторного регрессивного анализа. Анализируются зависимости:

$$Y = F(x_1, x_2, \dots, x_i), \quad (6)$$

где  $Y$  – урожайность ведущих сельскохозяйственных культур;

$x_1, x_2, \dots, x_i$ ;  $x_1, x_2, \dots, x_i$  – параметры мелиоративного состояния и плодородия почв.

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

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

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

## 5 Оценка свойств и состояния орошаемых земель

## 5.1 Предельно-допустимые и оптимальные параметры орошаемых почв

Осуществление практических задач по увеличению продуктов земледелия во многом зависит от правильной оценки состояния плодородия почв, четкого представления о предельно допустимых (ПДП) и оптимальных параметрах (ОП) основных его показателей и применения на этой основе эффективной системы управления плодородием почв.

Используя многолетние исследования на ключевых участках богары и орошения, а также результаты, полученные в полевых опытах при отработке агромелиоративных приемов по сохранению и воспроизводству плодородия орошаемых почв, а также наработки других ученых установлены предельно-допустимые и оптимальные параметры основных почв, вовлеченных в орошение (таблицы 15–17).

Таблица 15 – Предельно-допустимые и оптимальные параметры орошаемых обыкновенных черноземов (0–40 см)

Показатель	Обыкновенные черноземы			
	предкавказские, орошаемые пресной водой		североприазовские, орошаемые слабоминерализованной водой	
	ОП	ПДП	ОП	ПДП
1	2	3	4	5
Агрофизические: - плотность, т/м <sup>3</sup> ; - водопрочность, % - водопроницаемость, мм/мин	менее 1,15 более 40 более 1,0	1,15–1,25 30–40 0,8–1,0	1,20–1,25 более 30–40 более 0,8	менее 1,20 20–30 0,6–0,8
Физико-химические токсичные соли, (%): - с участием соды; - без соды;	менее 0,10 менее 0,05	0,10–0,15 0,05–0,12	менее 0,15 менее 0,10	0,15–0,25 0,10–0,25
Токсичная щелочность, мг-экв/100 г	менее 0,7	0,7–1,0	менее 1,0	1,0–1,2
Почвенно-поглощающий комплекс, (%): - кальций; - магний; - натрий	более 85 менее 15 менее 1	85–80 15–20 1–3	более 80 менее 20 менее 3	80–75 20–25 3–5

Продолжение таблицы 15

1	2	3	4	5
Агрохимические: гумус, %; Сг.к:Сф.к	более 4,4 более 2,0	3,8–4,0 2,0–1,7	более 4,2 2,0–1,5	3,6–3,8 1,5–1,0
Подвижный фосфор, мг/100 г	более 4,5	3,8–4,5	более 4,5	3,1–4,5
Обменный калий, мг/100 г	более 50	50–35	более 45	45–40
Урожайность, т/га: - озимая пшеница; - ячмень; - люцерна на сено; - кукуруза на зерно	более 4,5 более 4,2 более 13,0 более 9,5	4,5–4,1 4,2–4,0 13,0–12,0 9,5–9,0	более 4,2 более 3,9 более 11,0 более 10,0	4,8–3,8 3,9–3,4 11,0–9,5 10,0–9,0

Таблица 16 – Предельно-допустимые и оптимальные параметры орошаемых южных черноземов (0–40 см)

Показатель	Комплексный покров			
	южные черноземы		солонцы мелиорированные	
	ОП	ПДП	ОП	ПДП
Агрофизические: - плотность, т/м <sup>3</sup> ; - водопрочность, % - водопроницаемость, мм/мин	менее 1,2 более 40 более 0,8	1,20–1,25 30–40 0,8–1,0	менее 1,25 более 30 более 0,6	1,25–1,30 20–30 0,6–0,4
Физико-химические: токсичные соли, (%): - с участием соды; - без соды;	менее 0,10 менее 0,05	0,10–0,15 0,05–0,12	менее 0,15 менее 0,10	0,15–0,25 0,10–0,25
Токсичная щелочность, мг-экв/100 г	менее 0,7	0,7–1,0	менее 1,0	1,0–1,2
Почвенно-поглощающий комплекс, (%): - кальций; - магний; - натрий	более 80 менее 20 менее 3	80–75 20–15 3–5	более 75 менее 25 менее 5	70–75 20–25 5–7
Агрохимические: - гумус, %; Сг.к:Сф.к Подвижный фосфор, мг/100 г Обменный калий, мг/100 г	более 3,4 более 1,5 более 4,5 более 4,5	3,4–3,0 1,5–1,0 3,8–4,5 45–40	3,4–3,0 1,5–1,0 3,8–4,5 45–40	2,5–2,0 1,0–0,8 3,5–3,0 40–35
Урожайность, т/га: - озимая пшеница; - ячмень; - кормосмеси (кукуруза + подсолнечник + сорго)	более 3,8 более 3,0 более 45	3,8–2,7 3,0–2,0 45–30	более 3,5 более 2,5 более 35	3,5–2,9 2,5–2,0 35–30

Таблица 17 – Предельно-допустимые и оптимальные параметры орошаемых почв каштановой зоны (0–40см)

Показатель	Комплексный покров			
	каштановые почвы		солонцы мелиорированные	
	ОП	ПДП	ОП	ПДП
Агрофизические: - плотность, т/м <sup>3</sup> ; - водопрочность, %; - водопроницаемость, мм/мин	менее 1,25 более 40 более 0,8	1,25–1,30 30–40 0,6–0,8	менее 1,3 более 30 более 0,6	1,3–1,35 20–30 0,6–0,4
Физико-химические: токсичные соли, (%): - с участием соды; - без соды;	менее 0,10 менее 0,005	1,25–1,30 30–40	менее 0,15 менее 0,10	0,15–0,25 0,10–0,25
Токсичная щелочность, мг-экв/100 г	менее 0,7	0,7–1,0	менее 1,0	1,0–1,2
Почвенно-поглощающий комплекс, (%): - кальций; - магний; - натрий	более 80 менее 20 менее 3	80–75 20–15 3–5	более 75 менее 25 менее 5	70–75 20–25 5–7
Агрохимические: - гумус, %; - Сг.к:Сф.к Подвижный фосфор, мг/100 г Обменный калий, мг/100 г	более 2,5 более 1,5 более 4,0 более 40	2,5–2,2 1,5–1,0 4,0–3,6 40–35	более 2,2 более 1,0 более 3,5 более 35	2,2–2,0 1,0–0,8 3,5–3,0 35–30
Урожайность, т/га: - кукуруза на зеленую массу; - люцерна на зеленую массу; - кормосмеси	более 40 более 50 более 58	40–30 50–45 58–50	более 35 более 45 более 52	35–25 45–40 52–46

Оптимальные параметры близки по своим показателям к неорошаемым аналогам, а предельно-допустимые на 20–30 % ниже или выше оптимальных. Это согласуется со многими разработками в этом направлении [4, 10, 13, 35, 64, 65].

Помимо показателей, отраженных в таблицах, важно знать уровни грунтовых вод, оптимальный уровень которых при минерализации менее 3,0 г/л должен составлять более 3,0 м, а при минерализации более 3,0 г/л – 5,0 м, при предельно-допустимом параметре соответственно 2–3 м и 3–5 м.

Почвы орошаемых массивов должны находиться под постоянным контролем. В случае, когда изменения их свойств при орошении выходят за пределы допустимых параметров, необходимо менять режим орошения, агро-

технику, применять агромелиоративные приемы, которые способствовали бы переходу почв в состояние, соответствующее по основным показателям оптимальным параметрам.

По данным А. И. Каштанова с соавторами (2001), допустимыми параметрами водно-воздушного режима почв являются:

- плотность пахотного горизонта ( $\text{г/см}^3$ ) для легких почв 1,3–1,4; для среднесуглинистых – 1,2–1,3; для тяжелосуглинистых и глин – 1,1–1,25;
- плотность подпахотного слоя для легких почв – 1,4–1,5; для остальных – 1,2–1,3;
- общая порозность (в % от объема почвы) 50–55 %;
- порозность аэрации (в % от общей порозности для пахотного слоя) 18–25 %; для подпахотного – 12–17;
- водопроницаемость (коэффициент фильтрации, м/сутки) – 0,15–0,75 [66].

Для нормального развития растений почвы должны иметь достаточное количество элементов питания, небольшую плотность, достаточное для растений количество воды и воздуха. Развитие растений не должно угнетаться неблагоприятными физико-химическими свойствами почв, повышенным содержанием подвижных соединений железа, марганца, алюминия, тяжелых металлов, повышенной засоленностью и солонцеватостью почв. Почвы не должны содержать в большом количестве возбудителей болезней, вредителей и сорняков.

Оптимальные свойства почв различаются для отдаленных почв, регионов, культур, уровня интенсификации производства [10].

## 5.2 Критерии экологической оценки орошаемых почв

При оценке экологического состояния почв учитывают степень воздействия и процент площади деградированных земель. В качестве критериев экологического состояния используются химические и физико-химические

свойства почв, степень загрязнения их тяжелыми металлами, радионуклидами, пестицидами, изменение физических свойств и морфологического строения почв, морфологические показатели и фитотоксичность, ботанические показатели (таблица 18).

Таблица 18 – Критерии экологической оценки состояния почв [67]

Показатель	Экологическое бедствие	Чрезвычайная экологическая ситуация	Удовлетворительная ситуация
1	2	3	4
Процент площади земель, выведенных из с/х оборота, вследствие деградации	более 50	30–50	до 5
Уничтожение гумусового горизонта	A + B	Апах (A <sub>1</sub> )	до 0,1 A
Перекрытие поверхности почвы абиотическим наносом	более 20	10–20	отсутствует
Увеличение плотности почвы по отношению к равновесной, %	более 40	30–40	до 10
Превышение уровня грунтовых вод, % от критического	более 50	25–50	допустимый
Радиоактивное загрязнение, кБк/км <sup>2</sup> : - цезий-137; - стронций-90; - сумма изотопов плутония; - мощность экспозиционной дозы на уровне 1 м от поверхности, мкР/час	более 40 более 3 более 0,1 более 400	15–40 1–3 менее 0,1 200–400	до 1 до 0,3 нет до 20
Потеря гумуса в пахотных почвах за 10 лет (относительные %)	более 25	10–25	менее 1
Увеличение содержания легкорастворимых солей, г/100 г	более 0,8	0,4–0,8	до 0,1
Увеличение доли обменного натрия, % от E	более 25	15–5	до 5
Превышение ПДК химических веществ: 1 класс опасности 2 класс опасности 3 класс опасности (включая нефтепродукты)	более 3 раз более 10 раз более 20 раз	в 2–3 раза в 5–10 раз в 10–20 раз	нет нет нет
Снижение уровня активной микробной массы	более 100 раз	50–100	до 5 раз
Фитотоксичность почв (снижение числа проростков в % к фону)	более 200	140–200	до 110
Дополнительные показатели: - доля загрязненной с/х продукции, % от проверенной - число яиц гельминтов в 1 кг почвы - число патогенных микроорганизмов в 1 кг почвы - коли-титр (для почвы – наименьшая масса почвы, в которой содержится	более 50 более 100 более 10 <sup>-6</sup>	25–50 10–100 10 <sup>-6</sup> –10 <sup>-5</sup>	до 5 нет менее 10 <sup>-4</sup>

## Продолжение таблицы 18

1	2	3	4
1 кишечная палочка) - генотоксичность почвы (число мутаций по сравнению с контролем), число раз	менее 0,001  более 1000	0,01–0,001  100–100	более 1,0  менее 2

Для орошаемых земель наиболее приемлемыми являются критерии экологической оценки состояния почв, представленные в работе В. А. Седых и др. [10] (таблица 19).

Таблица 19 – Критерии благополучного экологического состояния почв и ландшафтов [10]

Показатель	Природная зона				
	лесо- степная	степная	сухо- степная	полупу- стынная	пустын- ная
1	2	3	4	5	6
Содержание гумуса в почве, %	2–3	5–7	3–4	2–3	1,5–2,0
Плотность почвы, г/см <sup>3</sup>	–	0,10– 0,18	–	–	–
Степень засоления почвы, %	0,1–0,3	0,1–0,3	0,2–0,3	0,3–0,4	0,3–0,4
pH	6–7	7,0–7,5	7–8	7,5–8,0	7,5–8,3
Окислительно- восстановительный потенциал	450–600	400–600	350–500	350–450	350–450
Степень осолонцевания: - содержание обменного Na <sup>+</sup> в % от ЕКО;	–	менее 3	–	–	–
- поглощение Mg <sup>2+</sup> в % от ЕКО	–	менее 15	–	–	–
Кальциевый режим, отклоне- ние от природного, %	–	менее 5	–	–	–
Глубина до грунтовых вод, м	4–5	8–10	5–7	5–6	4–5
Пределы регулирования влаж- ности почвы, доли НВ	0,7–0,9	0,7–0,8	0,7–0,85	0,7–0,85	0,7–0,9
Отношение оросительной нор- мы к осадкам	0,1–0,2	0,3–0,5	0,6–1,0	1,5–2,0	–
Оросительная норма М, мм	60–100	130–270	400–590	500–670	690–880
Минерализация поливной во- ды, г/л	1–2	0,5–0,7	1	–	–
Нисходящий ток воды, мм	40–60	30–40	40–80	80–100	100–110
Ирригационное питание на уровне грунтовых вод, доли М	0,08–0,1	0,1–0,15	0,20– 0,25	0,25–0,50	0,25–0,50
Инфильтрационное питание, доли М	0,5–0,25	0,05– 0,08	0,08– 0,13	0,13–0,20	0,13–0,20
Отношение дренажного стока к питанию грунтовых вод	0,68– 0,95	0,75– 0,93	0,85– 0,91	0,80–0,87	0,80–0,87

Продолжение таблицы 19

1	2	3	4	5	6
Влагообмен между почвой и грунтовыми водами, доли испарения	0,05–0,1	0,05–0,1	0,05–0,1	0,05–0,15	0,10–0,15
Допустимые пределы изменения УГВ, м подзоны:					
бессточная	0,3–0,5	0,3	0,5	0,5	–
дренированная	0,5–1,0	0,5–1,0	1,0–1,5	1–3	–
интенсивно дренированная	1–3	1–2	1,0–1,5	1,3	–

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

#### 6 Приемы регулирования плодородия орошаемых земель

При решении мелиоративных задач в разнообразных ландшафтных условиях больше всего ошибок допускается в тех случаях, когда плохо учитываются особенности почв и почвообразующих пород, почвенные режимы, взаимосвязи между свойствами почв.

Как правило, если способ мелиорации не адекватен свойствам и режимам почв и почвообразующих пород, то он оказывается либо неэффективным, либо опасным для природной среды [28].

При орошении, как известно по многим публикациям, основными негативными почвенными процессами являются переувлажнение, вторичное засоление, ощелачивание, подкисление, осолонцевание, нарушение структурного состояния, уплотнение, дегумификация, нарушение баланса питательных элементов и др.

В таблице 20 нами представлены почвенные контролируемые процессы, показатели, характеризующие тот или иной процесс, и способы регулирования, которые выбираются с учетом негативных процессов на орошаемых землях.

Таблица 20 – Почвенные процессы, показатели и способы регулирования почвенного плодородия орошаемых земель

Почвенный процесс 1	Показатель 2	Способ регулирования 3
Переувлажнение Заболачивание	Уровень грунтовых вод и их минерализация (г/дм <sup>3</sup> ). Недоокисленные вещества, мг-экв/100 г	При УГВ выше критического уровня необходима коллекторно-дренажная сеть, одновременно оптимизация поливных режимов и подбор культур, способствующих их снижению, рыхление, обеспечивающее почву кислородом
Вторичное засоление	Состав водорастворимых солей, %	Промывки и глубокое рыхление для улучшения водопроницаемости
Подкисление или подщелачивание	Ph водной суспензии, гидролитическая кислотность мг-экв/100 г, щелочность по водной вытяжке (HCO <sub>3</sub> + CO <sub>2</sub> – Ca + Na + Mg) – мг-экв/ 100 г	Химическая и комплексная мелиорации
Солонцеватость, декальцирование	Состав почвенного поглощающего комплекса, мг-экв/100 г, % обменных натрия и магния от ΣППК	Химическая мелиорация – кальций- и кислотосодержащими мелиорантами, удобрительно-мелиорирующими компостами и смесями
Уплотнение и слитизация	Плотность сложения почв (т/м <sup>3</sup> ) структурное состояние (%), водопроницаемость (мм/час)	Мелиоративные обработки – мелиоративные вспашки и глубокое рыхление
Дегумификация (потери гумуса и изменение его качественного состава)	Общее содержание гумуса (%), тип гумуса C <sub>г.к</sub> /C <sub>ф.к</sub> ; степень гумификации $\frac{C_{г.к}}{C_{обм}} \cdot 100\%$	Внесение органических удобрений, сидерация, запахивание соломы, соблюдение севооборотов с преобладанием многолетних трав
Обеспеченность элементами питания	Нитраты, подвижные фосфор и калий, микроэлементы, подвижная сера (мг/кг)	Внесение органических и минеральных удобрений
Биологическая активность почв	Нитрифицирующая и аммонифицирующая способности почв (мг/кг), степень токсичности почв (%), убыль полотна (%)	Поддержание высокой культуры земледелия, своевременное проведение агротехнических приемов

Продолжение таблицы 20

1	2	3
Загрязнение почв	Валовые и подвижные формы тяжелых металлов, мг/кг	Удаление загрязненного слоя почвы. Внесение кальций содержащих мелиорантов и органики любых видов

Почвенные процессы, показанные в таблице 20, характерны для орошаемых земель. Но так как на таких землях одновременно обнаруживается ряд негативных явлений, то требуется проведение комплексной мелиорации, сочетающей несколько способов (приемов) регулирования почвенного плодородия.

### 6.1 Поддержание допустимого уровня грунтовых вод

Для исключения процессов переувлажнения и заболачивания требуется создание условий для поддержания допустимых глубин грунтовых вод. Эти условия характеризуются нисходящим потоком влаги, экологически благоприятными оросительными нормами и пределами регулирования влажности корнеобитаемого слоя почвы. Для каждой ландшафтно-географической зоны эти условия разные (таблице 21) [28].

Таблица 21 – Показатели, обеспечивающие допустимую глубину уровня грунтовых вод [28]

Ландшафтно-географическая зона	Экологически допустимая глубина уровня грунтовых вод	Нисходящий поток, мм	Экологически благоприятная оросительная норма, мм	Предел регулирования влажности корнеобитаемого слоя почвы, в долях НВ
Лесостепная	4–5	40–60	60–100	0,7–0,9
Степная	8–10	30–40	130–270	0,7–0,8
Сухостепная	5–7	40–80	400–590	0,7–0,85
Полупустынная	5–6	80–100	500–600	0,7–0,85
Пустынная	3–4	100–110	690–880	0,7–0,9

Снижение грунтовых вод до допустимых уровней обеспечивается дренажом с глубиной 3,0–3,5 м, а при минерализации более 3 г/дм<sup>3</sup> – не менее 5 м; в этой связи необходимо поднять роль вертикального дренажа при ре-

конструкции оросительных систем [68, 69]. Для исключения поднятия грунтовых вод при строительстве оросительных систем нового поколения должны быть соблюдены следующие условия:

- проектирование не отдельных мелиоративных систем, а в целом агромелиоративных ландшафтов, что позволит регулировать гидрохимические потоки отдельных бассейнов и регионов, которые не должны превышать 25–30 % естественных колебаний стока поверхностного и подземного или не превышать амплитуду 30–40-летних природных ритмов [70, 71];

- оросительная сеть должна быть закрытой. При ее строительстве каналы и оросители сооружаются в виде трубопроводов из монолитного бетона, швы в лотках и плитах тщательно заделываются высокоэффективными средствами с целью исключения любой утечки поливной воды [72];

- основной прием снижения инфильтрации оросительной воды, а следовательно, исключение пополнения объемов грунтовой воды является оптимизация режимов орошения. Диапазон регулирования влажности почв должен быть жестким и находиться в пределах 0,65–0,80 НВ [28, 73]. Активный слой при орошении дождеванием составляет 0,5–0,7. Расчет норм и назначение сроков полива должны проводиться по специально разработанным методикам [74, 75], основой которых является динамика влагозапасов корнеобитаемого слоя. Для черноземов очень опасны переполивовы, поэтому допустимо снижение поливной нормы ниже расчетной величины на 20 % [76];

Для рационального использования водных ресурсов сохранения и восстановления почвенного плодородия черноземов целесообразно применение циклического орошения, позволяющего поддерживать глубины грунтовых вод на допустимом уровне и ослабить воздействие негативных процессов на почву путем введения орошаемых и неорошаемых режимов, а также обоснования приемов, ускоряющих восстановление плодородия почв.

Для предотвращения переувлажнения, подъема уровня грунтовых вод, экономии оросительной воды следует коренным образом изменить и техно-

логию орошения. Поэтому все усилия должны быть направлены на развитие синхронно-импульсного дождевания (СИД), капельного орошения, обычного дождевания в сочетании с аэрозольным увлажнением или мелкодисперсным дождеванием, внутрипочвенного орошения, а также шире применять технологию дискретного полива по бороздам [72, 77– 85].

## 6.2 Борьба с вторичным засолением

Вторичное засоление почвы – процесс накопления вредных для растений солей в верхних слоях почвы в ходе осуществления ошибочных оросительных работ.

В большинстве своем на засоление почв оказывает влияние близкое залегание минерализованных грунтовых вод. Вовлеченные в орошение засоленные почвы, включающие солонцовые комплексы с солончаковыми и солончаковатыми и безгипсовыми и глубоко гипсовыми солонцами, уже через несколько лет оказались очагами проявления наиболее интенсивного вторичного засоления за счет перераспределения солей грунтовыми водами.

Использование вод повышенной минерализации с неблагоприятным химическим составом также в ряде случаев привело к засолению.

Степень засоления и токсичность солей зависит от химизма. Наиболее вредны щелочные (содовые), менее токсичны – нейтральные (сульфатные).

Зачастую причина неудачи в борьбе с засоленностью орошаемых земель обусловлена несогласованностью проводимых мероприятий и их недостаточной дифференциацией с учетом конкретных природных условий и свойств почв.

Современная мелиоративная обстановка требует создания надежной дренажной сети, поливную воду следует расходовать строго по оросительным нормам, отводить минерализованные грунтовые воды в дренажную сеть.

Удаление солей из почвы обеспечивается неоднократными ее промывками [86]. Их проводят затоплением по полосам и по малоуклонным бороз-

дам. Промывка засоленных земель должна обеспечивать рассоление почвогрунтов до глубины 1,5–2,0 м.

По расчетам для почв глинистого и суглинистого гранулометрического состава оптимальные промывные нормы обычно находятся в интервале 3–10 тыс. м<sup>3</sup>/га. Промывную норму можно определить по широко применяемой формуле В. Р. Волобуева:

$$M_{\text{пром}} = K \lg(S_1/S_0)^\alpha, \quad (7)$$

где  $M_{\text{пром}}$  – промывная норма, м<sup>3</sup>/га;

$K$  – коэффициент пропорциональности (при расчете промывной нормы в м<sup>3</sup>/га, он равен 10000);

$S_1$  – содержание солей в промывной толще, % или г/л;

$S_0$  – допустимое содержание солей в тех же единицах;

$\alpha$  – угловой коэффициент, соответствующий прямой на полулогарифмическом графике и отражающий характер засоления почв и гранулометрический состав ( $\alpha = 0,62–1,78$ ).

При величине промывной нормы до 6000 м<sup>3</sup>/га почвы могут быть рассолены с помощью влагозарядковых поливов. При промывной норме от 6 до 10–12 тыс. м<sup>3</sup>/га промывку следует проводить напуском воды по полосам, а при более высоких промывных нормах – затоплением по чекам.

При достижении физической спелости почв проводится вспашка для увеличения мощности мелиорируемого слоя и облегчения промывки.

Через 7–10 дней осуществляется промывка для удаления продуктов реакции за пределы корнеобитаемого слоя. Нормы промывки зависят от степени засоления мелиорируемых почв.

При слабом засолении для вымывания продуктов обмена достаточно провести полив нормой 1000–1200 м<sup>3</sup>/га с помощью дождевальных машин.

Для определения корнеобитаемого слоя и ускорения промывок почв тяжелого гранулометрического состава сильнозасоленных разностей (солон-

чаковых солонцов и солончаковатых солонцов) необходим временный дренаж.

Оптимальные расстояния между временными дренами для тяжелосуглинистых почв – 50 м, для глинистых луговых и лугово-черноземных – 20–30 м.

При сильном поверхностном (солончаковом) засолении тяжелых почв рекомендуется применять кротовый дренаж, закладываемый на глубину 0,4–0,6 м через 1–3 м. Кротодрены выполняются раньше временных дрен, перпендикулярно их направлению и должны сообщаться с последними. Кротование можно совмещать со вспашкой.

Объективным доказательством эффективности мелиораций и промывок служат данные анализов почв и грунтовых вод. Допустимое содержание солей в расчетном слое почвогрунтов после промывки составляет при хлоридном засолении – 0,05, при сульфатно-натриевом – 0,3 и сульфатно-кальциевом – 1 % от веса сухой почвы. При более высоком содержании требуется дополнительная промывка [86].

При рассолении и снижении солонцеватости почв основная цель заключается в увеличении фильтрации и солеотдачи, которые особенно низки на солонцах и солонцеватых слитых почвах. Этому способствует высокая пептизация почвенных частиц в щелочной среде.

Внесение кислых (серная кислота, фосфогипс, глиногипс, отработанный электролит травления стали и др.) и кальцийсодержащих (гипс, фосфогипс, глиногипс и др.) веществ обеспечивает коагуляцию почвенных коллоидов, снижает щелочность почвенного раствора, уменьшает содержание натрия в почвенном поглощающем комплексе, а все это значительно улучшает физические и химические свойства почв, что способствует более эффективному удалению водорастворимых солей.

Основными условиями применения химических веществ для мелиорации являются высокая эффективность и отсутствие токсичности.

### 6.3 Устранение щелочности и подкисления почв

К наиболее неблагоприятным свойствам орошаемых почв относятся щелочность и кислотность почв. Наличие в почвенном растворе даже небольшого содержания (0,001 %) иона  $\text{CO}_3$  токсично для всех сельскохозяйственных культур. Показателями щелочности являются содержащиеся в водной вытяжке:  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , pH и обменный натрий в ППК [22].

Почвы, орошаемые слабоминерализованной водой неблагоприятного состава, чаще сульфатно-натриевого, тоже обладают приобретенной щелочностью и солонцеватостью. Это, например, обыкновенные (североприазовские) черноземы, поливаемые из Миусского лимана или Таганрогского залива и др.

Такие земли без мелиорации по всем параметрам далеки от оптимального состояния для развития большинства сельскохозяйственных культур.

При отсутствии в пахотном слое солонцовых почв естественных запасов солей кальция и наличия в нем высокой щелочности и поглощенного натрия применяется химическая мелиорация, предусматривающая внесение твердых сыпучих и жидких мелиорантов на поверхность поля или непосредственно в солонцовый горизонт [87]. Устранение щелочности осуществляется также способами химической мелиорации, что и при улучшении солонцовых почв. В случае высокой щелочности почв органические удобрения вносятся после ее снижения или в виде удобрительно-мелиорирующих компостов и смесей [88, 89].

Кислотность почв обусловлена наличием в почве органических и минеральных кислот, а также водородных ионов.

Для кислых почв расчет дозы мелиоранта ведется по показателю гидролитической кислотности по формуле [90]:

$$D_{CaCO_3} = 5 \cdot H_G \cdot h \cdot d, \quad (8)$$

где  $D_{CaCO_3}$  – норма внесения известковых материалов, т/га;

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

$H_G$  – гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г почвы.

$h$  – мощность мелиорируемого слоя почвы, м;

$d$  – плотность сложения почвы, т/м<sup>3</sup>.

Пример:  $D_{CaCO_3} = 5 \cdot 6 \cdot 0,2 \cdot 1,25 = 7,5$  т/га.

Норму известковых материалов в физической массе с учетом их влажности, примесей и содержания крупных частиц рассчитывают по формуле [7]:

$$D_{ф.м} = \frac{CaCO_3}{(1 - \beta) \cdot (1 - C_{прим}) \cdot C_{CaCO_3}}, \quad (9)$$

где  $D_{ф.м}$  – норма известковых материалов в физической массе, т/га;

$C_{CaCO_3}$  – содержание действующего вещества в известковом материале дается в сопроводительном документе, для расчета принять в пределах 70–90 % на абсолютно сухое вещество.

$\beta$  – влажность известкового материала, доли от единицы, определяется термостатно-весовым методом, для расчета принять в пределах 5–15 % от сухой массы;

$C_{прим}$  – содержание различных примесей, доли от единицы, даются в сопроводительном документе, для расчета принять 10–20 %;

В качестве химических средств при мелиорации кислых почв для нейтрализации кислотности рекомендуются следующие мелиоранты: молотый известняк (известковая мука), доломитовая мука, известняковый туф, сланцевая или торфяная зола и т. д.

Эффективность известкования зависит от степени кислотности почвы, особенностей возделывания культур, нормы и видов применяемых удобрений.

ний.

Потребность почвы в известковании с достаточной для практических целей точностью может быть определена по величине обменной кислотности –  $pH_{КС}$ . При  $pH$  менее 4,5 потребность в известковании сильная, при 4,6–5,0 – средняя, при  $pH$  5,1–5,5 – слабая, более 5,5 отсутствует [28].

Значительно точнее нуждаемость почв в известковании устанавливается при учете степени насыщенности почвы основаниями  $V$ . Если  $V = 50\%$  и ниже – нуждаемость в известковании сильная, 50–70% – средняя, 70% и выше – слабая и  $V$  более 80% – почва в известковании не нуждается.

При известковании необходимо учитывать также особенности возделываемых культур в севообороте.

Если для известкования применяют известковые удобрения, содержащие не  $CaCO_3$ , а  $MgCO_3$  или  $Ca(OH)_2$ , то вычисленную норму извести умножают на коэффициент 0,84 для  $MgCO_3$ , 0,74 – для  $Ca(OH)_2$  и 0,56 – для  $CaO$  [91].

Однако полная норма не для всех растений и не на всех почвах является оптимальной. На средне- и тяжелосуглинистых дерново-подзолистых почвах для ржи, озимой и яровой пшеницы, ячменя, овса, кукурузы, сахарной, кормой и столовой свеклы, клевера, люцерны, зернобобовых, капусты, лука она равна полной норме, рассчитанной по гидролитической кислотности  $H_T$ .

На малобуферных легких почвах норму извести необходимо снижать на 25–30% по сравнению с полной. Оптимальная норма для льна, подсолнечника, томатов, картофеля, люпина, сераделлы –  $\frac{1}{2}$ – $\frac{2}{3}$  полной нормы.

Норму извести можно определить и по величине  $pH$  с учетом гранулометрического состава.

Полные нормы вносят сразу или в несколько приемов. При внесении за один прием достигается более быстрая и полная нейтрализация кислотности всего пахотного слоя на длительный срок.

Известь понижает растворимость некоторых других веществ, например калия и микроэлементов, поэтому на бедных почвах часто приходится при

известковании вносить микроэлементы: бор, на некоторых почвах марганец, серу, молибден. Микроэлементы повышают не только урожайность растений, но и устойчивость их против различных заболеваний.

В севооборотах с овощами и кормовыми культурами применяют все виды известковых удобрений, лучше вносить их в полной норме за один прием. В овощных севооборотах известь вносят под капусту или корнеплоды. В севооборотах с зерновыми и зернокармливыми в первую очередь известкуют поля, отводимые под наиболее чувствительные к кислотности растения.

Лен и картофель отрицательно реагируют на известкование высокими нормами. При достаточном внесении органических и минеральных удобрений с повышенной нормой калия известкование полными нормами можно проводить и в севооборотах со льном и картофелем.

#### 6.4 Снижение солонцеватости и обогащение почв кальцием

В условиях орошения для снижения солонцеватости и обогащения почв кальцием наиболее эффективен химический способ мелиорации.

Этот способ особенно действенен на солонцовых почвах, орошаемых слабоминерализованной водой неблагоприятного состава и на почвах, расположенных в комплексе с солонцами степными и лугово-степными с глубоким залеганием кальциевых солей (ниже 40 см).

Важным условием, обеспечивающим эффект химической мелиорации при орошении, должно быть глубокое залегание грунтовых вод, а в случае их подъема или имеющейся к этому тенденции – наличие нормально работающего дренажа.

Выбор мелиорантов зависит от химизма засоления и степени солонцеватости почв. На нейтральные сульфатные или хлоридно-сульфатные остаточно-натриевые солонцовые почвы с содержанием в мелиорируемом слое карбонатов менее 3 % и гипса менее 0,3 % следует вносить гипс, глиногипс, фосфогипс. Для многонариевых (натрия более 25 % от суммы катионов)

хлоридно-сульфатных, сульфатно-хлоридных солонцов предпочтительнее «кислые» мелиоранты: фосфогипс, отработанная серная кислота, отработанный электролит травления стали, содержащий серную кислоту.

В последние годы, в силу сложившейся экономической ситуации в стране для химической мелиорации в качестве альтернативных мелиорантов предлагаются удобрительно-мелиорирующие смеси и органо-минеральные компосты, приготовленные из отходов промышленности, сельского хозяйства, местных минеральных залежей. Это средства, содержащие мелиорирующую и удобрительную основу. Наиболее эффективны смеси из терриконовой породы и электролита травления стали (отработанной серной кислоты), из электролита травления стали и опилок; компосты из навоза крупного рогатого скота или птичьего помета и фосфогипса; компост из навоза (птичьего помета) и терриконовой породы; компост из навоза (птичьего помета) и глауконита [92, 93]. Существует несколько методов расчета дозы мелиоранта:

- по количеству обменного натрия;
- по методу «донасыщения»;
- по порогу коагуляции высокодисперсных частиц.

По количеству обменного натрия дозу гипса для малонатриевых солонцов хлоридно-сульфатного засоления рассчитывают по формуле И. Н. Антипова-Каратаева [94]:

$$D_z = 0,086 \cdot Na \cdot h \cdot d; \quad (10)$$

- для средне- и многонатриевых:

$$D_z = 0,086(Na - 0,1T)h \cdot d; \quad (11)$$

- для малонатриевых солонцов с повышенным содержанием обменного магния:

$$D_z = 0,086[Na + (Mg - 0,03T)] \cdot h \cdot d, \quad (12)$$

где  $D_z$  – доза гипса ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), т/га;

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

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

$h$  – мощность мелиорируемого слоя, см;

$d$  – плотность сложения почвы, т/м<sup>3</sup>;

0,1(0,03) – допустимое содержание обменного натрия (магния) в долях  $T$  (ЕКО);

$T$  – емкость поглощения (ЕКО), мг-экв/100 г почвы;

$Mg$  – содержание обменного магния, мг-экв/100 г почвы.

Методом «донасыщения» [95] определяется потребность в кальции для данного солонцового пятна в сравнении со средней для зоны потребностью в кальции несолонцовой зональной почвы.

Дозу гипса определяют по формуле, предлагаемой авторами:

$$D_z = 0,086(a - e) \cdot H \cdot d, \quad (13)$$

где  $D_z$  – доза гипса, т/га;

$a$  – количество обменного кальция в зональной почве, мг-экв/100 г почвы;

$e$  – количество кальция в солонце, мг-экв/100 г почвы.

По порогу коагуляции высокодисперсных частиц можно рассчитать дозу мелиоранта для малонатриевых, но высокодисперсных солонцовых почв. Метод основан на определении минимальной дозы мелиоранта, необходимой для снижения дисперсности солонцовых почв.

Методика заключается в следующем: навеску 0,5 г, пропущенную через сито с диаметром отверстий 0,25 мм, помещают в мерные цилиндры объемом 250 мл, добавляют насыщенный раствор гипса (мелиоранта) от 1 до 20 мл, перемешивают, оставляют на один час для взаимодействия раствора гипса и почвы, после чего все цилиндры доливают до метки (250 мл) и остав-

ляют на сутки. Через 24 часа сливают без взмучивания суспензию специальной пипеткой объемом 25 мл. Слитый из каждого цилиндра объем (25 мл) суспензии перемешивают и измеряют оптическую плотность  $D$  (на приборе ФЭК-М или КФК-2 с желтым светофильтром № 7 при длине волны 580–610 нм), используя кюветы с толщиной измеряемого слоя в 1 см. По данным оптической плотности строят график дисперсионных кривых: на оси ординат откладывают значения оптической плотности, на оси абсцисс – количество миллилитров насыщенного раствора гипса (мелиоранта). На кривой остаточной дисперсности может быть не один, а два порога коагуляции. Первый порог коагуляции соответствует той минимальной дозе мелиоранта, которая необходима для снижения дисперсности солонцовых почв и улучшения ее агрофизических параметров. Второй порог коагуляции соответствует максимальному замещению обменного натрия в ППК.

Дозу гипса для коагуляции высокодисперсных частиц рассчитывают по формуле:

$$D_2 = \frac{4,3 \cdot a \cdot v \cdot d \cdot h \cdot 10}{c}, \quad (14)$$

где  $D_2$  – доза гипса, т/га;

4,3 – коэффициент пересчета на гипс ( $4,3 = (M \text{ CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) / M \text{ Ca}$ , где  $M$  – молекулярная масса  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Ca}$ );

$a$  – концентрация кальция в насыщенном растворе гипса, мг/дм<sup>3</sup>;

$v$  – объем насыщенного раствора гипса, соответствующий первому порогу коагуляции на дисперсионной кривой;

$d$  – плотность сложения почвы, т/м<sup>3</sup>,

$h$  – мощность мелиорируемого слоя, см;

10 – коэффициент пересчета, т/га;

$c$  – навеска почвы, г.

Поскольку в производстве применяют мелиоранты, удобрительно-

мелиорирующие средства, содержащие балласт, то для получения фактической дозы расчетная доза по гипсу умножается на коэффициент, который определяется делением 100 г на процентное содержание действующего вещества в мелиоранте.

Химическую мелиорацию можно проводить на полях сразу же после освобождения их от культур, но обязательно в осень, чтобы продукты реакции вымывались осенне-зимними осадками.

На полях с комплексным покровом, подлежащих химической мелиорации, выделяются вешками пятна солонцовых почв по визуальным наблюдениям и сделанным по результатам анализов картограмм по солонцеватости почв для 0–40 см. Мелиоранты вносятся дифференциальными нормами, отдельно рассчитанными для солонцовых пятен и зональных почв.

При выборочной мелиорации можно вначале вносить мелиорант на солонцовые пятна в дозе, рассчитанной для солонца за минусом дозы для зональной почвы. Затем всплошную мелиорируется все поле дозой для зональной почвы.

Если при разбрасывании мелиорантов используются агрегаты быстро регулирующие переключение скорости, то можно проводить химическую мелиорацию одним заходом, при этом на пятнах солонца скорость уменьшается и мелиорантов высыпается больше. Насколько уменьшить или увеличить скорость, чтобы выдать заданную дозу для разных почвенных разновидностей нужно рассчитать и проверить фактически внесенную дозу за один проход агрегата. Для этого следует расставить измерительные щитки по ширине захвата и по ходу движения машины. При площади щитка 1 м<sup>2</sup> необходимо вес попавшего на него мелиоранта (граммы) умножить на 10000 и получим дозу в тоннах на 1 га.

Сыпучие мелиоранты (гипс, фосфогипс, глиногипс, глауконит, удобрительно-мелиорирующие компосты и смеси) можно вносить разбрасывателями минеральных и органических удобрений.

При внесении доз мелиорантов до 6 т/га целесообразно использовать

разбрасыватели, предназначенные для внесения минеральных удобрений и извести, например 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 если нужно внести дозу более 12 т/га – использовать разбрасыватели минеральных удобрений ПРТ-10, ПРТ-16.

Доза внесения мелиорантов этими разбрасывателями при работе на различных скоростях определяется по формуле [96]:

$$D_2 = D_1 \frac{C_1}{C_2}, \quad (15)$$

где  $D_2$  – доза внесения мелиоранта при рабочей скорости агрегата  $C_2$ , т/га;

$D_1$  – установленная доза внесения мелиоранта при рабочей скорости агрегата  $C_1$ , т/га;

$C_1, C_2$  – рабочие скорости движения агрегата, км/ч.

После внесения мелиорантов поле обрабатывают пахотными агрегатами. Если солонцеватостью затронут слой 0–20 см, что происходит при поливах слабоминерализованной водой сульфатно-натриевого состава, то достаточно провести обычную вспашку на глубину 22–27 см. В случае, когда солонцеватость, уплотнение и слитизация проявляются в силу природных условий в пределах 40–50 см слоя почвы следует применять агробиологический способ мелиорации, в который входит комплекс агротехнических мероприятий, воздействующих на механические, физические, химические и биологические свойства почв, а также подбор культур-освоителей (фитомелиорантов).

Основным звеном в комплексе этого способа мелиорации являются глубокие мелиоративные вспашки, включающие мелиоративные обработки и глубокие рыхления.

Мелиоративные обработки применяются на почвах с близким залега-

нием к поверхности (выше 40 см) природных солей кальция (карбонатов – более 5 % и гипса – более 0,3 %). Это так называемая самомелиорация – способ улучшения солонцовых почв в 0–40 см слое которых имеются значительные естественные запасы (15–60 т/га) карбонатов кальция или гипса. Мелиоративными обработками (плантажной или ярусной вспашкой) соли кальция вовлекаются в пахотный слой и таким образом происходит химическая самомелиорация солонцовых почв.

Ярусная вспашка проводится орудиями ПТН-3-40 и ПЯС-1,4, плантажная – ПТН-4-40. Ярусную вспашку целесообразно применять на глубоких и средних солонцах, на которых при обработке можно сохранить плодородный гумусовый горизонт на поверхности. Солонцовый горизонт при ярусной обработке измельчается и перемешивается с подсолонцовым карбонатным или гипсоносным горизонтом В<sub>2</sub> и ВС.

Плантажную вспашку применяют на старопахотных, преимущественно корковых и мелких солонцах, в которых в результате орошения и ранее проводимых обработок солонцовый и надсолонцовый горизонты перемешаны, в результате чего генетические особенности почв утеряны и, в целом 0–40 (0–50) см слой находится в неудовлетворительном состоянии. Наиболее эффективно проведение плантажной вспашки при наличии гипса в слое 0–40 см более 2 %.

Нельзя проводить плантаж на почвах с сильной степенью засоления. На многонатриевых солонцах при отсутствии значительных (2 %) запасов внутрипочвенного гипса этот прием возможен при дополнительном его внесении. Плантажная вспашка должна обеспечивать мобилизацию внутрипочвенных запасов солей кальция, хорошее крошение солонцового горизонта и создание гомогенного пахотного слоя.

При мелиоративных обработках вовлеченный в круговорот внутрипочвенный гипс действует так же, как и внесенный. Высокий эффект их наблюдается на солонцах нейтрального типа засоления. При сульфатном засолении активность обменных процессов снижается, а при содовом – прием самоме-

лиорации неэффективен.

Глубина мелиоративных обработок устанавливается в зависимости от количества кальциевых солей, которое необходимо вовлечь в пахотный слой для вытеснения обменного натрия.

Если непосредственно в подсолонцовом горизонте есть гипс или карбонат кальция, то необходимую мощность гипсоносного горизонта, вовлекаемого в мелиорируемый слой, определяют по формуле:

$$h = \frac{D_z}{a \cdot d}, \quad (16)$$

где  $h$  – мощность припашки гипсоносного или карбонатного слоя, см;

$D_z$  – доза гипса, вычисленная по натрию одним из применяемых методов, т/га;

$a$  – содержание гипса в гипсоносном слое, %;

$d$  – плотность сложения почвы, т/м<sup>3</sup>.

Общая глубина мелиоративной вспашки с целью вовлечения необходимой дозы будет равна:

$$H = A + B + h, \quad (17)$$

где  $H$  – общая глубина мелиоративной вспашки, см;

$A+B$  – общая мощность надсолонцового горизонта  $A$  и солонцового горизонта  $B_1$ , см;

$h$  – мощность припахиваемого слоя, см.

Например, солонец имеет надсолонцовый горизонт  $A$  мощностью 15 см, солонцовый – 20 см при емкости обмена, равной 25 мг-экв/100 г почвы и содержании обменного натрия в пределах 5 мг-экв (20 %). В подсолонцовом  $B_2$  и переходном горизонте  $BC$  содержится 1 % внутрисочвенного гипса. На первом этапе расчета определяется доза гипса, необходимая для вытеснения обменного натрия ( $D_z = 9$  т/га). На втором – определяется мощность при-

пахиваемого слоя ( $h = 9:(1 \cdot 1,4) = 6,5$  см).

На третьем этапе устанавливается общая глубина мелиоративной вспашки:

$$H = A + B + h = 15 + 20 + 6,5 = 41,5 \text{ см.} \quad (18)$$

Таким образом, на данном участке рекомендуется ярусная обработка на глубину  $41 \pm 2$  см. Если в подсолонцовом горизонте нет гипса, а есть карбонат кальция, то глубину припашки карбонатного горизонта рассчитывают аналогично варианту с гипсом. Дозу гипса, необходимую для вытеснения обменного натрия, умножают на переводной коэффициент 0,58. Учитывая, что растворимость карбоната кальция в почвенном растворе нейтральных или слабощелочных почв слабее, чем растворимость гипса, полученную дозу  $\text{CaCO}_3$  увеличивают в 10 раз. Следовательно, глубину мелиоративной вспашки высококарбонатных почв находят по формуле:

$$h = \frac{D_2 \cdot 0,58 \cdot 10}{b \cdot d}, \quad (19)$$

где  $h$  – глубина мелиоративной вспашки, см;

$D_2$  – доза гипса, рассчитанная на вытеснение натрия, т/га;

0,58 – коэффициент пересчета гипса ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) на карбонат кальция ( $\text{CaCO}_3$ );

10 – поправочный коэффициент на растворимость карбоната кальция;

$b$  – содержание  $\text{CO}_2$  карбонатов в карбонатном горизонте, %;

$d$  – плотность сложения почвы, т/м<sup>3</sup>.

Запасы гипса и карбонатов кальция в почве рассчитывают по следующим формулам:

$$\Gamma = h \cdot d \cdot a; \quad K = 2,28 \cdot h \cdot d \cdot b, \quad (20)$$

где  $G$  – запас гипса, т/га;

$h$  – мощность расчетного слоя, см;

$d$  – плотность сложения почвы, т/м<sup>3</sup>.

$a$  – содержание гипса, %;

$K$  – запас карбонатов кальция, т/га;

2,28 – коэффициент перевода  $\text{CO}_2$  карбонатов в  $\text{CaCO}_3$ ;

$b$  – содержание  $\text{CO}_2$  карбонатов, %;

На солонцовых комплексах, где преобладают солонцы с глубоким залеганием карбонатов кальция или гипса, или при их отсутствии, рыхление проводят на такую глубину, чтобы разрыхлить весь уплотненный горизонт (45–50 см). Здесь с успехом можно использовать плуги с почвоуглубителями, плоскорезы-глубокорыхлители, ярусные плуги со снятыми отвалами и промежуточными корпусами, плуги со стойками СибИМЭ, орудие РС-1,5, РСН-2,9.

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

Комплексные солонцовые массивы, где солонцы занимают свыше 50–70 % площади и расположены среди солонцеватых почв, не рекомендуется распахать. Желательно оставлять их под естественные сенокосы и пастбища.

В зависимости от направлений хозяйства севообороты могут быть кормовыми и полевыми. Набор культур в них должен отвечать почвенным особенностям. В качестве культур-фитомелиорантов, освоителей степных солонцов, применяют озимую рожь, озимую пшеницу, подсолнечник, горчицу, люцерну, донник, житняк, прутняк, суданскую траву, сорго.

На лугово-степных солончаковых солонцах лучше возделывать в первые 2–3 года при орошении – люцерну, сорго, просо, в последующие годы в зависимости от типа севооборота – зерновые или кормовые культуры и однолетние травы.

На солонцовых землях, используемых под пастбища и сенокосы, травостой улучшают подсевом трав (прутняк, волоснец) в дернину или после

предварительной поверхностной обработки.

### 6.5 Снижение уплотнения и слитизации в орошаемых почвах

При повышенной плотности пахотного (более 1,3) и подпахотного (более 1,4–1,5 т/м<sup>3</sup>) слоев ухудшается водно-воздушный режим почв, и сдерживаются или нарушаются рост и развитие растений, так как в них подавлена биологическая активность, образуются токсичные недоокисленные вещества, которые снижают запасы подвижных элементов питания и блокируют их доступность возделываемым культурам.

Если уплотнение наблюдается на макроуровне, то есть происходит простое механическое уплотнение под воздействием сельскохозяйственной техники, поливов, то для большинства почв снижение плотности обеспечивается внесением 40–60 т/га навоза – сыпца, глубокой (на 40–50 см) вспашкой или рыхлением, посевом многолетних трав, исключением резкого переувлажнения и иссушения почв. Если причиной высокой плотности является еще и низкое содержание гумуса и кальция в почве, то необходимо внесение навоза сочетая его с внесением гипса или фосфогипса около 5 т/га или применять удобрительно-мелиорирующие смеси или органо-минеральные компосты.

Использование для орошения слабоминерализованных оросительных вод с неблагоприятным химическим составом усиливает агрофизическую деградацию почв, особенно на микроагрегатном уровне. В частности, увеличивается содержание илистой фракции и связанная с этим гидрофильность орошаемых почв [52, 97]. Деградация почвенной массы на микроагрегатном уровне экологически более опасна, чем на микроуровне, поскольку по существу она необратима, так как происходят серьезные изменения в минералогическом составе. Эти явления относятся к процессам слитизации.

Слитые почвы в наибольшей степени распространены в поймах рек – это луговые темноцветные слитые почвы. Много слитых почв образуется в рисовых севооборотах. Слитость может быть устранена только химической

мелиорацией путем внесения кальцийсодержащих веществ.

Наиболее рациональный и дешевый путь повышения почвенного плодородия в этом направлении является перестройка их физико-химического состава путем внесения муки горных пород (известняка-ракушечника, апатит – карбонатной породы), терриконовой породы, фосфогипса, глауконитов и других средств, содержащих кальций [98, 99].

Для повышения эффективности известняк, терриконовую породу, глауконит целесообразно вносить с отходами минеральных кислот.

Дозу минеральной породы рассчитывают по порогу коагуляции пептизированных почвенных частиц (коллоидов) (приложение Н) или по донасыщению почвенного поглощающего комплекса (ППК) ионами кальция по формуле:

$$T = 2 \cdot D \cdot h \cdot d / P, \quad (21)$$

где  $T$  – доза известняка (терриконовой породы), т/га;

$2$  – коэффициент, суммарно отражающий эквивалент кальция и размерные величины;

$D$  – мг-экв кальция, необходимое для донасыщения ППК до расчетного отношения кальция к сумме натрия и магния;

$h$  – глубина пахотного слоя, см;

$d$  – плотность сложения почвы, т/м<sup>3</sup>;

$P$  – процентное содержание кальция в известняке.

Количество кислот устанавливается эмпирически из расчета частичного растворения кальция в породах (50 %).

Дальнейшее его растворение происходит за счет микробиологических процессов, происходящих в почвах, и дыхания корневой системы растений.

Если слитость сопровождается солонцеватостью почв, то следует вносить в зависимости от степени солонцеватости и наличия илистой фракции 5–10 т/га гипса (фосфогипса) и 20 т/га навоза – сыпца ил удобрительно – ме-

лиорирующие смеси или органо-минеральные компосты в дозах 20–40 т/га.

Через год после осуществления химической мелиорации необходимо провести глубокую обработку или глубокое рыхление.

На старопахотных пойменных почвах лучше делать плантажную вспашку на глубину 40–45 см, но после нее необходимо разрушить крупные глыбы почв тяжелыми дисковыми боронами или боронами «зигзаг».

При укороченном (менее 40 см) гумусовом горизонте и на черноземах глубокую вспашку лучше заменить глубоким рыхлением или вспашкой на обычную глубину с почвоуглублением на 40–60 см. Этот прием не только разуплотняет почвенный профиль, но и способствует накоплению влаги и снижению засоления почв.

Плантажная вспашка проводится плугом ППН-40, а наиболее приемлемые рыхлители КПП-250, РГ-0,5, РГ-0,8 выполняют объемное рыхление.

Периодичность глубокой вспашки должна составлять 3–4 года, а глубокого рыхления – 2–3 года [96].

#### 6.6 Приемы, способствующие накоплению гумуса и обеспечивающие почву элементами питания

В условиях орошения регулировать содержание гумуса и его состав возможно только при биологической мелиорации [100–102]. Предлагается три класса биологических средств [103]. Из этих средств, применяемых в земледелии, наиболее широкое распространение имеет класс органических удобрений, в котором преобладают удобрения на основе навоза и птичьего помета. Биомелиоративное влияние органических удобрений проявляется в том, что они способствуют накоплению в почве гумуса, при их длительном применении улучшаются многие свойства почвы: увеличивается запас питательных веществ, снижается кислотность, повышается содержание поглощённых оснований, поглощательная способность и буферность, влагоемкость, скважность и водопроницаемость, почва обогащается микрофлорой, усиливается ее биологическая активность, улучшается агрегатный состав,

она меньше уплотняется. Большое значение органические удобрения имеют как источник микроэлементов, биостимуляторов, диоксида углерода и т. д. В применении качественных и экологически безопасных органических удобрений нуждаются в первую очередь мелиорируемые земли, обладающие высокой потенциальной продуктивностью возделываемых культур за счет регулируемого водно-воздушного режима почв. Однако биомелиоративные функции, например органических и минеральных удобрений не бесконечны [103, 104]. Следует привлекать другие виды мелиорации, например биотические, включающая подбор культур, согласно свойствам почв [105, 106]. Эффект биотической мелиорации в большинстве экспериментов аналогичен эффекту от химической мелиорации, но по затратам более выгодный. К недостаткам этого способа мелиорации следует отнести медленное его воздействие по сравнению с другими способами. Очень важно для обогащения почвы свежим органическим веществом и повышения содержания гумуса насыщать севообороты многолетними травами и пожнивными культурами. Именно такие севообороты за 7–8-польную ротацию создают положительный баланс гумуса [107].

Пропашные культуры (кукуруза на силос и зерно) оставляют после себя немного (1,7–4,6 т/га) растительных остатков и содержание в них азота невысокое. Но сами они очень требовательны к питательному режиму почвы, возделывание их сопровождается интенсивным разложением органического вещества, то есть они способствуют усилению минерализации почвенного гумуса.

Зерновые культуры, надземная масса которых полностью используется в пищу человека или идет на корм животным – наиболее ограниченные поставщики органического вещества в почву.

Многолетние травы, благодаря задернению, по влиянию на баланс органического вещества в почве максимально приближаются к естественным фитоценозам, а бобовые, кроме того, за счет симбиотической азотфиксации вовлекают в круговорот дополнительное количество азота и после их отми-

рания почва обогащается доступными для последующих культур формами азота.

Наши исследования показали, что 4-летнее возделывание люцерны в орошаемом клине является необходимым условием сохранения и восстановления водно-физических свойств, обогащения почвы органическими остатками и повышения обеспеченности почв азотом [108]. Мелиорирующий эффект люцерны объясняется следующими ее достоинствами:

- быстрее других культур весной прикрывает почву сплошным травяным покровом;
- быстро отрастает после укосов, что обеспечивает хорошее затенение почвы в течение вегетации;
- обладает мощной корневой системой и высокой транспирационной способностью, что препятствует подъему грунтовых вод;
- при густом травостое способствует очищению полей от сорняков.

В орошаемой зоне предпочтение должно быть отдано зерно-кормовым севооборотам, например (1–3 – люцерна на корм; 4 – озимая пшеница + пожнивно смесь гороха и овса; 5 – горох на зерно; 6 – зеленый горошек + кукуруза в смеси с соей на силос; 7 – кукуруза на зерно; 8 – озимая пшеница + люцерна [109].

На орошаемых землях, с целью охраны окружающей среды, рационально использовать минеральные удобрения в дозах, рассчитанных на запланированный урожай с учетом содержания питательных веществ в почвах. Однако было доказано, что минеральные удобрения, вносимые в расчетной дозе в системе севооборотов поддерживают оптимальный уровень питания, но его не остается на последующий год. Только внесение навоза в дозах не менее 60 т/га обеспечивает и к осени определенный запас подвижного фосфора и обменного калия. Разложение навоза в почве и переход содержащихся в нем питательных веществ в доступную для растений форму происходит постепенно и последствие прослеживается 4–5 лет. В первый год из него используется 20–40 % азота и фосфора и до 60 % калия. Чтобы поддержать пи-

тательный режим почв и бездефицитный баланс гумуса в почве требуются огромные запасы минеральных удобрений, которые практически не доступны, и навоза, который в хозяйствах отсутствует.

В связи с этим требуются другие приемы, применяя которые следует придерживаться следующих положений [20, 89, 92, 99, 102–117 и др.]:

- систематически применять зеленые удобрения. Эффективность 1 т сидератов за ротацию севооборота эквивалентна 1 т подстилочного навоза;

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

- в отдельных случаях проблемы с навозом можно решить путем дополнительного внесения на поля соломы зерновых культур. С каждой 1 т измельченной соломы, стержней и корней вносится до 800 кг органического вещества, 15 кг азота, 8 кг фосфора, 30 кг калия, микроэлементы. Солому следует измельчать не только перед запашкой ее в поле, но и при использовании в качестве подстилки, тогда она лучше поглощает мочу и при хранении меньше теряет азота и органического вещества. Приготовленный из измельченной соломы полуперепревший навоз более равномерно распределяется по полю при разбрасывании и хорошо заделывается в почву. В соломистый навоз целесообразно добавлять азотные удобрения на 1 т до 15 кг азота;

- органические удобрения (навоз, птичий помет) целесообразно сочетать с кальцийсодержащими мелиорантами (фосфогипсом, терриконовой породой, глауконитом). Мелиоранты способствуют лучшему использованию удобрений, повышают коэффициент гумификации, снижают подвижность гуматов, увеличивая последствие удобрений;

- 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, а именно: гуминовые препараты, углегуматы, наиболее перспективны удобрительно-мелиорирующие компосты и смеси.

## 6.7 Регулирование микробиологических процессов в почве

Микроорганизмы оказывают существенное действие на формирование почвообразовательных процессов и в большей степени определяют уровень их плодородия. В почвах нередко отмечается исчезновение полезных групп микроорганизмов и в то же время наблюдается повышение численности и разнообразия вредных видов, что вызывает снижение почвенного плодородия. К сожалению, современные сорта часто генетически не способны к продуктивному взаимодействию, так как в процессе селекции потеряли способность конкурировать за почвенную микрофлору и расселять ее на своих корнях.

Микробиологические препараты могут способствовать уменьшению доз минеральных удобрений, повышать коэффициент их использования. Более того, оптимальное использование химических средств наиболее эффективно лишь при их рациональном сочетании со всем комплексом биологических препаратов и технологий. Речь идет, прежде всего, о микробиологических почвоудобрительных препаратах, биопестицидах, прибиотиках. Целая гамма препаратов разработана учеными нашей страны, они хорошо зарекомендовали себя в России, а также за рубежом, что позволяет предлагать элементы комплексной «микробиологизации» сельскохозяйственного производства [28].

На основе ризосферных микроорганизмов комплексного действия существуют следующие биопрепараты:

- ризоторфин предназначен для обработки семян бобовых культур. Действующее начало – клубеньковые бактерии (рода *Rhizobium*), образующие на корнях растений клубеньки и индуцирующие процесс фиксации молекулярного азота из воздуха. Агрономическая эффективность ризоторфина для бобовых культур составляет в среднем 10–30 %, дополнительный сбор белка – 2–5 ц/га. При интродукции новых бобовых

культур (козлятник, люцерна, люпин) эффективность бактеризации может составлять 50–100 %, а сбор протеина повышается в 2–3 раза.

Для каждого вида бобовых культур производится определенный вид препарата (с использованием специфических именно для этой культуры микроорганизмов). Окупаемость применения ризоторфина варьирует от 4 до 150 единиц на единицу затрат. Следует учитывать также благоприятное влияние бактеризации растений на почвенное плодородие и экологическую обстановку (так как вовлекаемый в агроэкосистемы биологически фиксированный азот является в известной мере альтернативой минеральным азотным удобрениям);

- биопрепараты группы «Экстрасол». Микроорганизмы, являющиеся основой этих биопрепаратов, тесно взаимодействуют с растениями (образуя «ассоциативный симбиоз») и способны выполнять ряд функций, полезных для растений:

1) усиливать фиксацию атмосферного азота на корнях растений, заменяя при этом 30–50 кг/га минеральных азотных удобрений;

2) стимулировать рост и развитие растений за счет продуцирования физиологически активных веществ (ускоряя созревание продукции на 10–15 дней);

3) подавлять развитие фитопатогенных микроорганизмов, обеспечивая снижение поражаемости растений болезнями в 1,5–10 раз и улучшая при этом фитосанитарную обстановку в почве;

4) усиливать устойчивость растений к неблагоприятным условиям (засуха, заморозки, пониженные или повышенные температуры, повышенное содержание солей, неблагоприятная реакция почвенного раствора);

5) повышать коэффициенты использования минеральных удобрений и питательных веществ из почвы;

6) регулировать накопление в растениях тяжелых металлов, радионуклидов, нитратов и других вредных соединений.

Перечисляемые далее биопрепараты имеют сходные функции, но в то

же время каждый из них имеет свои особенности и определенный спектр действия.

Агрофил – биопрепарат, созданный на основе штамма *Agrobacterium radiobacter*-10 для овощных культур, обеспечивает прибавку урожайности на 10–20 %, ускоряет созревание урожая на 7–10 дней, гарантирует получение ранней продукции. Он повышает устойчивость растений к экологическим стрессам, уменьшает поступление тяжелых металлов и радионуклидов в растения.

Флавобактерин – биопрепарат, созданный на основе штамма *Flavobacterium* sp.-30. Повышает урожайность овощных культур (огурцы, томаты, перец, картофель, капуста, сахарная свекла) на 3–10 т/га и улучшает качество продукции за счет увеличения содержания крахмала у картофеля на 1,5–2 %, сахаров в томатах – на 2,5 %. Отмечено также существенное повышение содержания витаминов, каротина и других полезных веществ в овощной продукции. Он эффективен практически на всех культурах.

Мизорин – биопрепарат, созданный на основе штамма *Arthrobacter mysoagens*-7, увеличивает продуктивность кормовых культур, проса, сорго и картофеля. Значительно повышает эффективность ризоторфина на бобовых при их совместном применении, урожайность зеленой массы кормовых трав – на 2–4, картофеля – на 4–7 т/га. Увеличивает содержание переваримого протеина в кормах на 1–3 %, улучшая при этом аминокислотный состав белка. Мизорин выгодно отличается от остальных биопрепаратов устойчивостью к недостатку влаги в почве. Повышает устойчивость растений к экологическим стрессам, уменьшает поступление тяжелых металлов и радионуклидов в растения, активизирует симбиоз бобовых культур.

Экстрасол – биопрепарат, созданный на основе штамма *Pseudomonas fluorescens*, обеспечивает повышение урожайности овощных культур на 4–8 т/га. Препарат способствует интенсивному поступлению элементов минерального питания в растения, синтезирует ростовые и другие

биологически активные вещества и образует соединения, снижающие активность фитопатогенных микроорганизмов. Сочетает в себе функции ростостимуляции и биоконтроля, эффективен в различных почвенно-климатических зонах, повышает продуктивность технических культур на 15–25 %, овощных культур – на 18–40 %. Увеличивает сроки хранения продукции.

Ризоагрин – биопрепарат, созданный на основе штамма *Agrobacterium radiobacter*-204, обеспечивает повышение урожая зерновых культур на 0,3–0,8 т/га (озимой и яровой пшеницы, озимой ржи, ячменя), содержание протеина в зерне – 0,5–1 %. Усиливает устойчивость растений к засухе и критическим температурам.

Бактосан – бактериальный препарат, созданный на основе коллекционного штамма *Bacillus subtilis*, повышает урожайность, улучшает качество продукции и защищает от болезней столовые клубне- и корнеплоды, овощные, зеленные культуры (картофель, морковь, свекла, капуста, лук, укроп, петрушка и др.).

Азоризин – бактериальный препарат, созданный на основе коллекционного штамма *Azospirillum lipoferum*. Повышает урожайность, улучшает качество продукции и защищает от болезней зерновые и овощные культуры (ячмень, овес, просо, гречиха, капуста, морковь, свекла, редис, огурец, томаты, перец, кабачки, кормовые травы). Существенно повышает фиксацию атмосферного азота (до 50–70 кг/га). Наиболее активно связывает тяжелые металлы и радионуклиды, уменьшая их поступление в растения. Эффективен на слабокислых и нейтральных почвах при хорошем увлажнении.

### 6.8 Снижение негативного воздействия загрязненности на почвы

Проблема загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами особенно остро стоит на орошаемых землях, так как орошаемое земледелие

предусматривает интенсивную систему возделывания сельскохозяйственных культур, которая сопровождается повышенным использованием удобрений, пестицидов, гербицидов, с ними поступают не только питательные элементы, но и загрязнители. Плодородные почвы сами способны их инактивировать, то есть переводить в формы, недоступные растениям. Но в условиях орошения наряду с благоприятными факторами почвообразования (увлажнение, рассоление, активизация микробиологических процессов и т. д.), способствующими получению стабильных и высоких урожаев, могут при определенных условиях проявляться негативные явления – переувлажнение, вторичное засоление, осолонцевание и ощелачивание, уплотнение и слитизация, дегумификация с формированием фульватного типа гумуса.

Почвы, обладающие такими свойствами, накапливают загрязнители. Для их устранения требуется проведение специальных агромелиоративных мероприятий, включающих химическую и комплексную мелиорацию [20, 71, 91, 116, 118 и др.].

Достаточно действенным мероприятием по улучшению почв, загрязненных металлами, является изменение реакции почвенной среды, внесение в почву различных соединений, способствующих переходу тяжелых металлов в соединения недоступные или труднодоступные для растений, что осуществляется при мелиорации почв [118]. Медь, цинк, никель, а также свинец, ртуть более подвижны в кислой среде, чем в нейтральной или щелочной. А молибден, ванадий, селен – в щелочной среде в сравнении с кислой [119].

Эффективные приемы, снижающие подвижность тяжелых металлов и способствующие закреплению их в малоподвижной, недоступной растениям форме – известкование и внесение органических удобрений, а также внесение на щелочные и солонцеватые почвы удобрительно-мелиорирующих компостов и смесей, в которых содержатся компоненты, инактивирующие ТМ – глауконит, терриконовая порода, сапропель, цеолит, бентонит, фосфогипс, органика любых видов [120–125].

Одно из направлений очистки почв – фитомелиорация, которая основа-

на на способности отдельных видов растений выдерживать достаточно высокие концентрации токсичных элементов и поглощать их в процессе жизнедеятельности. Избирательность растений к повышенному содержанию элементов и их способность накапливать высокие концентрации токсикантов опасны с точки зрения поступления их в пищевые цепи, но могут быть использованы в целях фитомелиорации [126]. Во ВНИИ гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова проведены исследования по использованию гречихи и черных бобов в качестве культур - мелиорантов. Установлено, что эти культуры характеризуются высоким выносом Cu, Zn, Pb, Cd и могут использоваться в качестве фитомелиорантов для очистки почв, загрязненных тяжелыми металлами [127].

Таким образом, существуют различные приемы инактивации вредного воздействия тяжелых металлов на почву. Их использование направлено на предотвращение загрязнения тяжелыми металлами окружающей среды путем внесения в почву различных химических веществ, способствующих превращению тяжелых металлов в недоступные для растений соединения.

В условиях орошения, где в почвах наблюдается уменьшение кальция за счет более сильного его выщелачивания промывной водой, снижение содержания органического вещества и питательных элементов, должны быть предусмотрены мероприятия, прежде всего направленные на воспроизводство почвенного плодородия. Именно эти мероприятия способствуют снижению загрязненности почв.

### 7 Схема выбора приемов по показателям почвенного плодородия орошаемых земель

Приемы по воспроизводству и регулированию почвенного плодородия должны применяться с учетом свойств почв и условий их освоения и тех почвенных процессов, которые протекают на данный момент.

Технологические схемы воспроизводства и регулирования почвенного

плодородия для разных видов почв представлены в таблице 22.

Таблица 22 – Схема выбора приемов по показателям почвенного плодородия орошаемых земель

Условие освоения почв	Почва	Показатель плодородия пахотного слоя (0–40 см)						Первоочередные приемы по воспроизводству почвенного плодородия
		Об- мен- ный Na, % от Σ	Щелоч- ность НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> - Ca <sup>2+</sup> + Na <sup>+</sup> + Mg <sup>2+</sup> , мг- экв/100г	Плот- ность сло- жения поч- вы, т/м <sup>3</sup>	Водо- проч- ность, %	Гу- мус, %	Сг.к :Сф. к.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<p>Зона обыкновенных (предкавказских) черноземов. Надпойменная терраса р. Дон. Сумма температур более 10 °С – 3000–3200 °С. Годовая сумма осадков 420–500 мм. ГТК – 0,65–0,75. Багаевско-Садковская ОС. Минерализация поливной воды – 0,4–0,5 г/л, гидрокарбонатно-кальциевая. Орошение более 30 лет. Кормовые или зерно-кормовые севообороты</p>	<p>Черноземы обыкновенные (предкавказские), мощные и среднеспелые, мицеллярно-карбонатные, глубокогипсовые, тяжело- и среднесуглинистые</p>	1–5	более 0,7	1,3–1,35	30–40	3,2–3,5	2–1	<p>- химическая мелиорация с расчетом доз мелиорантов по порогу коагуляции. Мелиоранты – лучше органо-минеральные компосты или удобрительно-мелиорирующие смеси (один раз в 4–5 лет). Дозы компоста – 10–15 т/га гипса, фосфогипса – 5–7 т/га; - внесение 40–60 т/га навоза-сыпца, глубокая вспашка или глубокое рыхление (один раз в 3–4 года) с посевом многолетних трав; - соблюдение севооборотов с насыщением их до 35–40 % многолетних трав; - применение сидеральных удобрений (яровой рапс, донник белый, амарант). Проведение обычной вспашки, ежегодно меняя ее глубину на 5–7 см; - запахивание измельченной соломы или внесение компоста из измельченной соломы с добавлением азота, фосфора;</p>

Продолжение таблицы 22

1	2	3	4	5	6	7	8	9
								- применение органо-минеральной системы удобрений. Расчет минеральных удобрений проводить на запланированный урожай с учетом запасов питательных веществ в почве; - соблюдение поливных режимов
Зона обыкновенных (североприазовских) черноземов. Североприазовская эрозионно-аккумулятивная наклонная равнина. Сумма температур более 10 °С – 3200–3400 °С. Годовая сумма осадков – 420–500 мм. ГТК – 0,7–0,8. Миусская ОС	Черноземы обыкновенные (североприазовские), мощные и среднечеткие, глубококарбонатные, глубокогипсовые, солонцеватые,	6–10	0,7–1,6	1,3–1,4	10–20	3–3,2	1–0,5	- химическая мелиорация с расчетом доз мелиорантов по содержанию Na в ППК и щелочности. Мелиоранты – фосфогипс, органо-минеральные компосты и удобрительно-мелиорирующие смеси. Дозы фосфогипса 10–20 т/га, компостов и смесей 20–40 т/га (один раз в 4–5 лет); - глубокая вспашка или рыхление (один раз в 3–4 года) с посевом многолетних трав. Приемы по поддержанию почвенного плодородия так же, как и в предкавказских черноземах

Продолжение таблицы 22

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Минерализация по- ливной воды – 1,4– 1,8 г/л сульфатно- натриевого состава. Орошение более 20 лет. Кормовые и зернокормовые сево- обороты	тяжело- и среднесугли- нистые, ма- ло- и средне- гумусные							
Зона южных черно- земов. Надпоймен- ная терраса р. Дон. Полузасушливая зо- на, коэффициент увлажнения 0,33– 0,44. Сумма темпе- ратур более 10 °С – 3000-3200 °С. Годо- вая сумма осадков – 372-408 мм. ГТК – 0,60-0,70.	Южные чер- ноземы, средне- и ма- ломощные, малогу- мусные, глу- бококарбо- натные, глу- бокогипсо- вые, тяжело- и среднесу- глинистые,	5–10	более 0,7	1,3– 1,32	20–30	2,8– 3	1–0,5	Химическая мелиорация. Поскольку юж- ные черноземы располагаются в комплек- се с солонцами, то при содержании их бо- лее 25 % вначале мелиорируют солонцы дозами, рассчитанными по содержанию натрия в ППК и щелочности, а затем в це- лом комплексный массив, рассчитав дозу для черноземов. При содержании в комплексе солонцов менее 25 %, мелиорируют весь массив. Для этого отдельно, рассчитав дозу для солонцов и черноземов, берут общую

Продолжение таблицы 22

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<p>Нижедонская ОС. Минерализация по- ливной воды – 0,5- 0,6 г/л, гидрокарбо- нато-кальциевая. Орошение более 30 лет. Кормовые, зерно-кормовые се- вообороты</p>	<p>мало- и среднегу- мусные Солонцы полугидро- морфные – лугово- степные, хлоридно- сульфатные, солончако- ватые, высо- ко- и глубо- кокарбонат- ные, глубо- когипсовые, малогу- мусные</p>	<p>15– 25</p>	<p>0,7–1,6</p>	<p>1,35– 1,4</p>	<p>10–20</p>	<p>1,8– 2,2</p>	<p>1–0,5</p>	<p>дозу с учетом соотношения почвенных разностей в комплексном покрове. Мелиоранты – глиногипс, фосфогипс, ор- гано-минеральные компосты. Дозы от 10 т/га фосфогипса до 40 т/га компостов. Периодичность проведения химической мелиорации 5–6 лет. Для разуплотнения через год провести глубокое рыхление, повторив его через 3–4 года. При наличии высококарбонатных солонцов после хи- мической мелиорации целесообразно провести мелиоративную вспашку. В дальнейшем осуществлять все общепри- нятые приемы по поддержанию почвен- ного плодородия. Строгое соблюдение поливов расчетной поливной нормой</p>

Продолжение таблицы 22

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<p>Зона каштановых почв. Пойменная терраса р. Сал. Очень засушливая зона, коэффициент увлажнения 0,3–0,4. Сумма температур более 10° С – 3400–3500 °С. Годовая сумма осадков – 320–400 мм. ГТК – 0,55–0,65. Верхне-Сальская ОС. Минерализация поливной воды 0,4–0,5 г/л, гидрокарбонатно-кальциевая.</p>	<p>Каштановые, хлоридносульфатные или сульфатные, глубоко- или высококарбонатные, глубоко-гипсовые, средне-суглинистые, малогумусные</p>	3–5	7	1,3–1,35	30–40	2–2,2	1–0,5	<p>Каштановые почвы, также как и южные черноземы, расположены в комплексе с солонцами, поэтому химическая мелиорация проводится теми же методами и мелиорантами. Но учитывая, что солонцы каштановой зоны имеют карбонатные горизонты в верхней части профиля, их можно мелиорировать, подавая отработанную серную кислоту непосредственно в карбонатный слой. В результате появляется вновь образованный гипс, который посредством вспашки перемешивается с солонцовым горизонтом и мелиорируется</p>

Продолжение таблицы 22

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Орошение более 20 лет. Кормовые и зернокормовые севообороты	Солонцы степные, хлоридно-сульфатные или сульфатные, глубоко- и высококарбонатные, глубокогипсовые, среднесуглинистые, малогумусные	10–15	0,7–1,6	1,35–1,4	10–20	1,8–2	1–0,5	Особое внимание на этих землях следует уделить борьбе с уплотнением путем проведения периодически глубокого рыхления и обогащения почв органическим веществом. К перечисленным выше мероприятиям в этой зоне целесообразно добавить внесение органо-минеральных компостов, приготовленных на основе овечьего навоза и кальцийсодержащих мелиорантов (гипса, глиногипса, фосфогипса) в отношении от 1:1 до 3:1. Мероприятия по поддержанию почвенного плодородия такие же, как и в зоне южных черноземов

В схемах с учетом показателей фактического плодородия в 0–40 см слое рекомендованы первоочередные мероприятия, изложенные в той последовательности, в которой они должны выполняться.

#### 8 Экономическая эффективность применения комплексных приемов по воспроизводству почвенного плодородия

Для сравнительного анализа экономической эффективности различных приемов мелиорации солонцовых почв используется метод расчета годового экономического эффекта на 1 га мелиорируемой площади  $\mathcal{E}_Г$ , руб., который рассчитывается по формуле [128]:

$$\mathcal{E}_Г = \mathcal{E}_i - E \cdot K, \quad (22)$$

где  $\mathcal{E}_i$  – стоимость дополнительной продукции, полученной после мелиорации, руб.;

$E$  – нормативный коэффициент,  $E = 0,06$ ;

$K$  – капитальные затраты на мелиорацию, руб.

Окупаемость затрат в годах определяется как отношение капитальных затрат к годовому экономическому эффекту.

Примеры расчетов экономической эффективности при различных приемах воспроизводства почвенного плодородия солонцовых почв представлены в приложении П.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Добровольский, Г. В. Принципы и задачи почвенного мониторинга / Г. В. Добровольский, Д. С. Орлов, Л. А. Гришина // Почвоведение. – 1983. – № 11. – С. 12–18.
- 2 Айдаров, И. П. Регулирование водно-солевого режима орошаемых земель / И. П. Айдаров. – М.: Агропромиздат, 1985. – 304 с.
- 3 Методические рекомендации по организации и проведению мониторинга орошаемых ландшафтов. – Волгоград: ВНИИОЗ, 1993. – 43 с.
- 4 Скуратов, Н. С. Руководство по контролю и регулированию почвенного плодородия орошаемых земель при их использовании / Н. С. Скуратов [и др.]. – Новочеркасск, 2000. – 85 с.
- 5 Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. – М.: Росинформагротех, 2003. – 240 с.
- 6 Никитин, Е. Д. Экология почв и учение о почвенных экофункциях / Е. Д. Никитин // Почвоведение. – 2005. – № 9. – С.1044–1053.
- 7 Методы исследования и приборное обеспечение почвенно-экологического мониторинга на мелиорируемых землях: науч.-технич. обзор. – М.: Мелиоводинформ, 2005. – 136 с.
- 8 Ефремов, Е. Н. Совершенствование мониторинга почв земель сельскохозяйственного назначения и учет состояния их плодородия / Е. Н. Ефремов // Плодородие. – 2011. – № 3. – С. 42–44.
- 9 Нормативы основных показателей плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения Ростовской области. – Ростов н/Д, 2012. – 63 с.
- 10 Седых, В. А. Почвенно-экологический мониторинг / В. А. Седых, В. И. Савич, П. Н. Балабко. – М., 2013. – 584 с.
- 11 Романова, Л. Г. Основные показатели оперативной диагностики изменения орошаемых почв Поволжья / Л. Г. Романова // Актуальные вопросы образования и науки: сб. науч. тр. по материалам межд. научно-практ. конф. – Тамбов: Консалд. компания Юником, 2014. – С. 120–122.

12 Муравьев, А. Г. Оценка экологического состояния почвы: практическое руководство / А. Г. Муравьев, Б. Б. Каррыев, А. Р. Ляндзберг. – СПб.: Ассоциация «Крисмос +», 2000. – 132 с.

13 Вальков, В. Ф. Справочник по оценке почв / В. Ф. Вальков, Н. В. Елисеева, И. И. Шигрунт. – Майкоп: ГУР и ПП «Адыгея», 2004. – 236 с.

14 Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1998. – 415 с.

15 Минашина, Н. Г. Заботиться о плодородии почв при орошении / Н. Г. Минашина // Мелиорация и водное хозяйство. – 1988. – № 5. – С. 16–22.

16 Зборищук, Н. Г. Образование и свойства ирригационных корок на черноземах / Н. Г. Зборищук, Т. Я. Дронова, Т. В. Попова. – Почвоведение. – 1987. – № 12. – С. 245–248.

17 Методические рекомендации по мелиорации солонцов и учету засоленных почв. – М.: Колос, 1970. – 112 с.

18 Ратнер, Е. И. Минеральное питание растений и поглотительная способность почв / Е. И. Ратнер. – М.: Изд-во АН СССР, 1950. – 320 с.

19 Минашина, Н. Г. Методы оценки влияния орошения на агрофизические свойства, водный и солевой режимы черноземов / Н. Г. Минашина // Тез. докл. к Всесоюз. науч.-техн. совещ.: «Совершенствование методов надзора за мелиоративным состоянием орошаемых земель и оценки влияния, водных мелиораций на окружающую среду». – Ашхабад, 1987. – 180 с.

20 Скуратов, Н. С. Использование и охрана черноземов / Н. С. Скуратов, Л. М. Докучаева, О. Ю. Шалашова. – М., 2000. – 246 с.

21 Бобков, В. П. Содовое засоление почв как стадия естественного или искусственного рассоления территории / В. П. Бобков // Почвоведение. – 1976. – № 6. – С. 25–30.

22 Зимовец, Б. А. Изменение щелочности почв при орошении в Нижнем Заволжье / Б. А. Зимовец. – М.: Бюл. ин-та им. В. В. Докучаева. – Вып. IX. – 1975. – С. 28–56.

23 Егоров, В. В. Классификация и диагностика почв СССР /

В. В. Егоров, Е. Н. Иванов, Н. Н. Розов. – М.: Колос, 1977. – 221 с.

24 Бобков, В. П. Об устойчивости почв и грунтов к содовому засолению / В. П. Бобков // Почвоведение. – 1969. – № 8. – С. 65–73.

25 Учет гидрометеорологической информации при определении режимов орошения для районов Северного Кавказа. – СПб., 1992. – 85 с.

26 Рекомендации по мелиорации почв солонцовых комплексов Ростовской области в условиях орошения. – Новочеркасск, 1980. – 36 с.

27 Бобков, В. П. Определение недоокисленных веществ в почве методом окисления перманганатом калия и иодом / В. П. Бобков // Почвоведение. – 1975. – № 7. – С. 134–141.

28 Агроэкологическая оценка земель проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий: метод. руководство. – М.: Росинформагротех, 2005 – 784 с.

29 Рекомендации для исследования баланса и трансформации органического вещества при сельскохозяйственном использовании и интенсивном окультуривании почв. – М., 1984. – 85 с.

30 Орлов, Д. С. Практикум по химии гумуса / Д. С. Орлов, Л. А. Гришина. – М.: МГУ, 1981. – 270 с.

31 Скуратов, Н. С. Лабораторные исследования почв: учеб. пособие / Н. С. Скуратов, Р. А. Каменев. – Пос. Персиановский: изд-во Донского ГАУ, 2011. – 107 с.

32 Охрана окружающей природной среды. Всероссийский научно-исследовательский институт охраны природы. – М., 2001. – 173 с.

33 Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: справочник / под ред. Б. Б. Шумакова. – М: Колос, 1999. – 285 с.

34 Агроэкология: учебник / под ред. А. И. Чекереса и В. А. Верникова. – М.: Колос, 2000. – 295 с.

35 Кудряшова, С. Я. Контролируемые показатели почвенно-экологического мониторинга: учеб. пособие / С. Я. Кудряшова. – Новосибирск: Новосибирский ГТУ, 2003. – 93 с.

36 Методические рекомендации по обследованию и картографированию почвенного покрова по уровням загрязненности промышленными выбросами. – М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 1987. – 26 с.

37 Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М., 1989. – 62 с.

38 Звягинцев, Д. Г. Почвы микроорганизмы / Д. Г. Звягинцев. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – 255 с.

39 Казеев, К. Ш. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований / К. Ш. Казеев, С. И. Колесников, В. Ф. Вальков. – Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 2003. – 204 с.

40 Зенова, Г. М. Практикум по биологии почв / Г. М. Зенова, А. Л. Степанов [и др.]. – М.: Изд-во Московского университета, 2009. – 120 с.

41 Шашко, Д. И. Агроклиматическое районирование СССР / Д. И. Шашко. – М.: Колос, 1967. – 372 с.

42 Безднина, С. Я. Регламентирование и улучшение качества оросительной воды / С. Я. Безднина // Повышение качества оросительной воды: сб. науч. тр. – М.: ВО «Агропромиздат», 1990. – С. 20–21.

43 Безднина, С. Я. Рекомендации по оценке качества воды для орошения сельскохозяйственных культур / С. Я. Безднина. – М.: ВНИИГиМ, 1983. – 120 с.

44 ГОСТ 17.1.2.03-90. Охрана природы. Гидросфера. Критерии и показатели качества воды для орошения. – Введ. 1991-01-01. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1990. – 7 с.

45 Методика оценки качества вод для орошения сельскохозяйственных культур на черноземах в Центрально-Черноземных областях: временные рекомендации. – Новочеркасск, 1988. – 26 с.

46 Казинцев, Е. А. Определение критериев оценки мелиоративного состояния орошаемых земель Ставропольского края / Е. А. Казинцев, Ж. И. Чусова, А. И. Куксов. – Новочеркасск: ЮжНИИГиМ, 1985. – 35 с.

47 Кац, Д. М. Методические рекомендации по контролю за мелиора-

тивным состоянием орошаемых земель / Д. М. Кац, Н. И. Парфенова. – Ч. I. – М.: ВНИИГиМ, 1979. – 120 с.

48 Биоклиматический потенциал России: теория и практика / А. В. Гордеев [и др.]; под ред. А. В. Гордеева. – М.: Т-во научных изданий КМК, 2006. – 512 с.

49 Хомякова, Т. В. Засушливые явления в России / Т. В. Хомякова, Е. К. Зойдзе. – Обнинск, 2001. – 79 с. – Деп. во ВНИИГиМ МЦ – ПМ 01.2001, № 1221.

50 Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Колос, 1979. – 334 с.

51 Скуратов, Н. М. Мелиорация солонцовых почв в условиях орошения / Н. С. Скуратов, О.Ю. Шалашова [и др.]. – Новочеркасск, 2005. – 179 с.

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

53 Вершинин, В. В. Теоретические положения землеустройства загрязненных территорий / В. В. Вершинин. – Волгоград, 2003. – 179 с.

54 О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения: Федеральный закон от 16 июля 1998 г. № 101-ФЗ: по состоянию на 28 декабря 2013 г. // Гарант Эксперт 2015 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2015.

55 О внесении изменения в Порядок государственного учета показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения, утвержденный приказом Минсельхозом России от 4 мая 2010 г. № 150: приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 8 августа 2012 г. № 428: по состоянию на 13 сентября 2012 г. // Гарант Эксперт 2015 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2015.

56 Об утверждении положения о государственном земельном надзоре: постановление Правительства Российской Федерации от 2 января 2015 г. № 1 // Гарант Эксперт 2015 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2015.

57 Качинский, Н. А. Физика почвы / Н. А. Качинский. – М.: Высшая школа, 1965. – 323 с.

58 Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – М.: МГУ, 1970. – 491 с.

59 Положение о Федеральной службе по ветеринарному и фитосанитарному надзору: постановление Правительства Российской Федерации от 30 июня 2004 г. № 327: по состоянию на 17 октября 2011 г. // Гарант Эксперт 2013 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2013.

60 Герасимов, А. А. Правовое обеспечение мелиорации земель [Электронный ресурс]/А. А. Герасимов// Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд./ Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2013. – № 3(11). – Режим доступа: <http://njrosniipm.ru>.

61 Об утверждении статистического инструментария для организации Роснедвижимостью статистического наблюдения за земельными ресурсами: постановление Федеральной службы государственной статистики от 6 августа 2007 г. № 61 // Гарант Эксперт 2015 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2015.

62 Об утверждении Административного регламента Министерства сельского хозяйства Российской Федерации по предоставлению государственной услуги по предоставлению сведений, полученных в ходе осуществления учета мелиорированных земель: приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 22 октября 2012 г. № 558 г.: по состоянию на 15 апреля 2013 г. // Гарант Эксперт 2015 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2015.

63 О федеральной целевой программе «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 годы»: постановление Правительства РФ от 12 октября 2013 г. № 922 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pravo.gov.ru>, 21.10.2013.

64 Бондарев, А. Г. Некоторые пути определения оптимальных парамет-

ров агрофизических свойств почв / А. Г. Бондарев, В. В. Медведев // Теоретические основы и методы определения оптимальных параметров свойств почв: науч. тр. Почвенного института им. В. В. Докучаева. – М., 1980. – С. 202–210.

65 Самойлова, Е. М. Предельно допустимые параметры черноземов Алтайского края при орошении // Вестник сельскохозяйственных наук. – 1989. – № 4. – С. 14–19.

66 Методическое пособие и нормативные материалы для разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия / под ред. А. Н. Каштанова, А. П. Щербакова, Г. Н. Черкасова. – Курск, Тверь: Чудо, 2001. – 260 с.

67 Критерии оценки экологической обстановки территории для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. – М., 1992. – 32 с.

68 Сенчуков, Г. А. Экологические аспекты орошения / Г. А. Сенчуков, Т. Н. Морозова, Ю. А. Марков // Экологические проблемы орошаемого земледелия Нижнего Дона: сб. науч. тр. – Новочеркасск, 1995. – С. 116–122.

69 Щедрин, В. Н. Этапы развития производства дренажных работ на юге России / В. Н. Щедрин, А. С. Капустян. – Новочеркасск, 2015. – 111 с.

70 Парфенова, Н. И. Экологические принципы регулирования гидрогеохимического режима орошаемых земель / Н. И. Парфенова, Н. М. Решеткина. – СПб.: Гидрометеиздат, 1995. – 205 с.

71 Приходько, В. Е. Орошаемые степные почвы: функционирование, экология, продуктивность / В. Е. Приходько. – М.: Интеллект, 1996. – 186 с.

72 Щедрин, В. Н. Поколения оросительных систем: прошлое, настоящее, будущее / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев [и др.]. – Новочеркасск: Геликон, 2012. – 143 с.

73 Айдаров, И. П. Мелиоративный режим орошаемых земель и пути его улучшения / И. П. Айдаров, А. И. Голованов // Гидротехника и мелиорация. – 1986. – № 8. – С. 6–12.

74 Сенчуков, Г. А. Ландшафто-экологические и организационно-хозяйственные аспекты обоснования водных мелиораций / Г. А. Сенчуков. –

Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2001. – 275 с.

75 Ильинская, И. Н. Нормирование орошения и продуктивности агроэкосистем на Северном Кавказе / И. Н. Ильинская. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2005. – 111 с.

76 Скуратов, Н. С. Улучшенная технология по сохранению и воспроизводству почвенного плодородия орошаемых черноземов / Н. С. Скуратов, Л. М. Докучаева. – Новочеркасск, 1998. – 96 с.

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

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

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

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

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

82 Комплекс мероприятий, направленных на сохранение и восстановление почвенного плодородия при циклическом орошении сельскохозяйственных культур в Краснодарском крае: метод. указания. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. – 76 с.

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

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

85 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>.

86 Технология рассоления почв тяжелого механического состава с применением глубокой обработки, промывки и химических мелиорантов. – Новочеркасск, 1988. – 86 с.

87 Скуратов, Н. С. Эколого-мелиоративные приемы исключения неблагоприятных явлений при орошении водами неблагоприятного состава / Н. С. Скуратов, Л. М. Докучаева, О. Ю. Шалашова, А. Н. Скуратов // Проблемы мелиорации в условиях рыночной экономики: сб. науч. тр. ВолжНИИГиМа. – Саратов, 1999. – С. 58–69.

88 Балакай, Г. Т. Способы мелиорации орошаемых солонцовых почв: науч. обзор / Г. Т. Балакай, Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова, Т. В. Усанина, Т. П. Андреева, Е. В. Долина, Э. Н. Стратинская, О. Ю. Шалашова; ФГНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2011. – 73 с. – Деп. в ВИНТИ 23.05.11, № 245-В2011.

89 Шалашова, О. Ю. Повышение плодородия черноземов обыкновенных деградированных при использовании удобрительно-мелиорирующих средств / 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). – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=113&id=116>.

90 Плодородие почв и агроценоз: практикум. – Новочеркасск, 2003. – 52 с.

91 Нейтрализация загрязненных почв: монография / под общ. ред.

Ю. А. Можайского. – Рязань: Мещерский ф-л ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2008. – 528 с.

92 Докучаева, Л. М. Влияние удобрительно-мелиорирующих компостов на физико-химические свойства чернозема обыкновенного деградированного / Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова, О. Ю. Шалашова // Известия Нижегородского агроуниверситетского комплекса. – 2011. – № 4 (24). – С. 70–76.

93 Долина, Е. В. Приемы воспроизводства плодородия орошаемых земель на базе местных сырьевых ресурсов / Е. В. Долина, Р. Е. Юркова, О. Ю. Шалашова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск: Геликон, 2009. – Вып. 41. – С. 54–61.

94 Антипов-Каратаев, И. Н. Вопросы происхождения и географического распространения солонцов СССР / И. Н. Антипов-Каратаев. – М., 1953. – С. 11–250.

95 Березин, Л. В. Определение доз гипса для мелиорации солонцов методом донасыщения / Л. В. Березин, В. Ф. Градобоева, В. С. Елкина // Труды ОмСХИ. – Омск, 1973. – Т. 113. – С. 33–38.

96 Типовые рекомендации по мелиорации солонцовых почв. – М.: Колос, 1977. – 33 с.

97 Скуратов, А. Н. Эколого-мелиоративная оценка приемов регулирования плодородия орошаемых черноземов / А. Н. Скуратов // Мелиорация антропогенных ландшафтов. – Т. 7: Охрана и использование водных ресурсов Юга России. – Новочеркасск, 1999. – С. 43–49.

98 Тюльпанов, В. И. Агрогенная деградация черноземов и пути ее определения / В. И. Тюльпанов, В. Я. Лысенко, С. В. Тюльпанов // Проблемы антропогенного почвообразования: международная конференция, 16–21 июня 1997 г. – М., 1997. – С. 68–78.

99 Скуратов, Н. С. Роль органо-минеральных компостов в регулировании плодородия обыкновенных черноземов / Н. С. Скуратов, Л. М. Докучаева, О. Ю. Шалашова [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство. – 1998. –

№ 6. – С. 47–52.

100 Кирейчева, Л. В. Структура сельскохозяйственных мелиораций в мелиоративном кадастре / Л. В. Кирейчева, Л. М. Рекс, И. Ф. Юрченко // Гидротехника и мелиорация. – 1987. – № 5. – С. 6–8.

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

102 Шамсутдинов, Н. З. Биологическая мелиорация солонцовых почв: состояние, результаты, задачи / Н. З. Шамсутдинов // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: сб. науч. тр. – Рязань: Мещерский ф-л ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2010. – Вып. 4. – С. 162–171.

103 Зинковский, В. Н. Оптимизация среды произрастания культурных растений: методическое пособие / В. Н. Зинковский, Т. С. Зинковская. – Тверь: ВНИИМЗ, 2000. – 96 с.

104 Жеруков, Б. Х. Удобрение и орошение как факторы интенсификации адаптивно-ландшафтного земледелия / Б. Х. Жеруков, Т. Б. Шалов // Аграрная наука. – 2012. – № 12. – С. 16–18.

105 Elkins, C. B. Grass root as a tool for penetrating soil hardpans and increasing crop yields / C. B. Elkins, R. L. Haaland, C. S. Hoveland // Proceedings of the 34 southern pasture and forage crop improvement conference (12–14 April 1977). – Auburn, Ala., 1977. – P. 21–26.

106 Рябцев, Е. Мелиорирующее влияние многолетних трав при окультуривании солонцов / Е. Рябцев, С. Миронченко, В. Лозовой, В. Калиниченко, В. Черненко // Главный агроном. – 2009. – № 5. – С. 17–19.

107 Методические указания по обоснованию выбора интенсивных севооборотов в условиях орошения / ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1990. – 22 с.

108 Методические указания по обоснованию выбора интенсивных севооборотов в условиях орошения / ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1990. – 32 с.

- 109 Ермоленко, В.П. Орошаемое земледелие Юга России / В. П. Ермоленко, П. Д. Шевченко, А. Н. Маслов. – Ростов н/Д, 2002. – 447 с.
- 110 Шадских, В. А. Агроэкологические основы энергосберегающих технологий в орошаемом земледелии / В. А. Шадских, Б. П. Барцев, Н. П. Молчанова // Мелиорация и водное хозяйство. – 2005. – № 4. – С. 20–22.
- 111 Егорова, Г. С. Многолетние травы как восстановители почвенного плодородия и основа кормопроизводства / Г. С. Егорова, Л. В. Петрунина // Плодородие. – 2008. – № 6. – С. 38–39.
- 112 Лунева, Е. Н. Новые подходы использования сидеральных культур для улучшения состояния поливных земель // Мелиорация и орошение земледелия в степной зоне и Эксплуатации гидромелиоративных систем: тезисы докладов на совместном заседании секции РАСХН 27–29 октября 1998 г. – Новочеркасск, 1999. – С. 37–41.
- 113 Когут, Б. М. Потери и воспроизводство органического вещества в пахотных почвах / Б. М. Когут // Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирование систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии. – М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2013. – Т. 1. – С. 369–382.
- 114 Докучаева, Л. М. Использование фосфогипса для мелиорации солонцовых почв в условиях орошения [Электронный ресурс] / 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). – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=113&id=116>.
- 115 Яшин, В. М. Повышение плодородия деградированных и малопродуктивных почв путем применения удобрительно-мелиорирующих смесей / В. М. Яшин, Л. В. Кирейчева, С. В. Перегудов [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство. – 2014. – № 5. – С. 26–30.
- 116 Мелихов, В. В. Комплексная мелиорация солонцовых почв /

В. В. Мелихов, Л. А. Казакова // Земледелие. – 2005. – № 2. – С. 8–12.

117 Калиниченко, В. П. Мелиорация компонентов агроландшафта в зависимости от структуры почвенного покрова / В. П. Калиниченко // Вестник РАСХН. – 2005. – № 4. – С. 24–31.

118 Цугкиев, Б. Г. Экологические способы нейтрализации тяжелых металлов в почве / Б. Г. Цугкиев [и др.] // Земледелие. – 2004. – № 1. – С. 15–20.

119 Полежаева, Т. И. Особенности динамики тяжелых металлов в лугово-черноземных почвах / Т. И. Полежаева, Н. Г. Науменко // Вопросы мелиорации: науч.-практич. журн. – М.: Мелиоводинформ. – 2003. – № 1–2. – С. 19–24.

120 Немцев, Н. С. Технологические приемы, направленные на восстановление загрязненных тяжелыми металлами почв / Н. С. Немцев // Вестник РАСХН. – 2003. – № 1. – С. 13–14.

121 Максимов, П. Г. Результаты агроэкологической оценки сапропелевых месторождений / П. Г. Максимов, А. В. Кузнецов, И. Г. Платонов. – М., 2000. – 110 с.

122 Мажайский, Ю. А. Восстановление земель, загрязненных тяжелыми металлами / Ю. А. Мажайский // Мелиорация и водное хозяйство. – 2001. – № 2. – С. 34–36.

123 Нгуен Суан Хай Использование естественной бентонитовой глины для детоксикации тяжелых металлов в овощной продукции / Нгуен Суан Хай // Научные технологии в мелиорации (Костяковские чтения): материалы Международ. конф. 30 марта 2005 г. – М.: Изд-во ВНИИА, 2005. – С. 45–49.

124 Кирейчева, Л. В. Агромелиоративные мероприятия по реабилитации черноземов, загрязненных тяжелыми металлами / Л. В. Кирейчева, А. В. Ильинский, Ю. А. Мажайский // Научные технологии в мелиорации (Костяковские чтения): материалы Международ. конф., 30 марта 2005 г. – М.: Изд-во ВНИИА, 2005. – С. 38–41.

125 Юркова, Р. Е. Приемы инактивации тяжелых металлов и восста-

новления 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>

126 Черных, Н. А. Защита почв и растений от загрязнения тяжелыми металлами: / Н. А. Черных, Л. Л. Ефремова // Проблемы повышения плодородия почв в условиях интенсивного земледелия: тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. – М., 1988. – С. 28–32.

127 Маркина, З. Н. Использование гречихи и черных бобов при очистке почв, загрязненных тяжелыми металлами / З. Н. Маркина, Г. Т. Воробьева, А. Н. Новиков, Л. А. Ковалев // Главный агроном. – 2004. – № 8. – С. 19–20.

128 Справочник по планированию и экономике сельскохозяйственного производства / С. З. Ванюков [и др.]. В 2-х частях. – Часть 1: 2-е издание, переработ. и доп. – М., 1987. – 512 с.

## Морфологические показатели почв

Таблица А.1 – Степень карбонатности и выщелоченности почв по глубине вскипания от 10 % HCl

Таксономическое определение почв	Начало вскипания от 10 % HCl
Карбонатные	С поверхности
Слабо карбонатные	В пределах горизонта А
Слабо выщелоченные	В пределах горизонта АВ
Выщелоченные	В нижней части горизонта АВ или в пределах горизонта В
Сильно выщелоченные	За пределами гумусового профиля
Бескарбонатные	Вскипание не обнаруживается в материнской породе

Таблица А.2 – Вскипание почвы от 10 % HCl и примерное содержание CaCO<sub>3</sub>

Характер вскипания	Содержание CaCO <sub>3</sub> %
Нет	0–0,3
Слабое	0,3–1,0
Среднее	1,0–2,5
Сильное	2,5–5,0
Бурное	Более 5,0

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

## Описание почвенного разреза

Глубина, см		Гори- зонг	Описание
0–15		A	Серовато светло-коричневый, пылеватый, рыхлый, много корневых остатков, преобладают злаки, сухой, рассыпчатый, вскипание с поверхности слабое.
15–31		B <sub>1</sub>	Светло-коричневый, разминается с усилием, мелко-комковатая, твердый, корешки реже, сухой, вскипание сильное с 25 см.
31–56		B <sub>к</sub>	Светло-коричневый с рыжим оттенком, очень твердый, распадается с усилием, крупно-среднекомковатая, редкие корешки, сухой, сильное вскипание.
56–77		B <sub>2</sub>	Светло-коричневый, очень твердый, распадается с усилием, крупный, при разминании – среднекомковатая, сухой, сильное вскипание.
77–100		BC	Светло-коричневый, менее твердый, крапления белоглазки, среднекомковатый, сухой, сильное вскипание.
Более 100		C	Светло-коричневый, рассыпается как пыль, плесень карбонатов, белоглазка, сильное вскипание.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Полевой почвенно-мелиоративный журнал

Организация \_\_\_\_\_ Группа \_\_\_\_\_

Почвенный разрез № \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

Область, район, землепользователь, название местности \_\_\_\_\_

1 Местоположение (геодезическая привязка, пункт, ориентировка по карте, зарисовка)

2 Характеристика рельефа в пункте исследования (геоморфологический элемент: плато, склон, терраса, пойма, макрорельеф, мезорельеф, микро́рельеф, характер и происхождение их)

3 Положение разреза относительно рельефа (экспозиция, уклон, энергия рельефа, абсолютная и относительная высота)

4 Угодья и его культурное состояние (степень заболоченности, засоленности, окультуренности и др.)

5 Растительный покров и характер поверхности (растительные группировки, состав, густота, высота, засоренность, завалуненность, закочкарность, глыбистость, культура и урожай)

6 Характер вспашки от НС1

7 Залегание карбонатов (в см)

8 Форма выделения и глубина залегания ( в см) солей:

а) гипс \_\_\_\_\_ б) водно-растворимые соли \_\_\_\_\_

9 Реакция (рН) по горизонтам

10 Уровень почвенных и грунтовых вод (глубина в см, высота и характер капиллярной каймы, критический уровень, минерализация, рН.

11 Почвообразующая порода

12 Название почвы: а) полевое; местно \_\_\_\_\_

б) окончательное \_\_\_\_\_

12 Описание разреза по генетическим горизонта (в соответствии с рисунком) на 2 и 3 страницах журнала

## Водно-физические свойства почв

Таблица Г.1 – Оценка водно-физических показателей свойств почв

Показатель	Пределы величины	Оценка показателя
1	2	3
Содержание агрегатов 0,25–10 мм, % от массы воздушно-сухой почвы (метод Саввинова) сухое просеивание	более 80 80–60 60–40 40–20	Структурное состояние Отличное Хорошее Удовлетворительное
мокрое просеивание	менее 20 более 70 70–55 55–40 40–20 менее 20	Неудовлетворительное Плохое Отличное Хорошее Удовлетворительное Неудовлетворительное Плохое
Сумма водопрочных агрегатов Более 0,25 мм, % (метод Саввинова)	менее 10 10–20 20–30 30–40 40–60 60–75 более 75–80	Водопрочность агрегатов Отсутствует Неудовлетворительная Недостаточно удовлетворит. Удовлетворительная Хорошая Отличная Избыточно высокая
Плотность сложения почв, т/м <sup>3</sup>	менее 1 1,0–1,1 1,2 1,2–1,4 1,4–1,6 1,6–1,8	Почва вспушена или богата органическим веществом Типичные значения для культурной свежевспаханной почвы Пашня уплотнена Пашня сильно уплотнена Типичные значения для подпахотных горизонтов различных почв Сильно уплотненные иллювиальные горизонты почвы

Продолжение таблицы Г.1

1	2	3
Порозность, %	55–65 свыше 70 50–55 менее 50 40–25	Отличная Культурный пахотный слой Избыточно пористая Почва высушена Удовлетворительная для пахотного слоя Неудовлетворительная для пахотного слоя Чрезмерно низкая. Характерна для уплотненных иллювиальных горизонтов
Водопроницаемость в первый час впитывания мм вод. ст.	1000 1000–500 500–100 100–70 70–30 менее 30	Провальная Излишне высокая Наилучшая Хорошая Удовлетворительная Неудовлетворительная
Предельная (наименьшая) полевая влагемкость, % сухой массы почвы	Тяжелые по механическому составу почвы 40–50 30–40 25–30 менее 25	Наилучшая Хорошая Удовлетворительная Неудовлетворительная
Запасы продуктивной влаги, мм В слое 0–0,2 м  В слое 0–1 м	более 40 20–40 менее 20 более 160 160–130 130–90 90–60 менее 60	Хорошие Удовлетворительные Неудовлетворительные Очень хорошие Хорошие Удовлетворительные Плохие Очень плохие

Таблица Г.2 – Классификация почв по гранулометрическому составу по Н. А. Качинскому

Содержание физической глины (частиц менее 0,01 мм), %			Содержание физического песка (частиц более 0,01 мм), %			Краткое название почвы по гранулометрическому составу
Почвы			Почвы			
подзолистого типа почвообразования	степного типа почвообразования, красноземы и желтоземы	солонцы и сильсолонцеватые почвы	подзолистого типа почвообразования	степного типа почвообразования, красноземы и желтоземы	солонцы и сильсолонцеватые почвы	
0–5	0–5	0–5	100–95	100–95	10–95	Песок рыхлый (П <sub>р</sub> )
5–10	5–10	5–10	95–90	95–90	95–90	Песок связанный (П <sub>св</sub> )
10–20	10–20	10–15	90–80	90–80	90–85	Супесь (С)
20–30	20–30	15–20	80–70	80–70	85–80	Суглинок легкий (С <sub>л</sub> )
30–40	30–45	20–30	70–60	70–55	80–70	Суглинок средний (С <sub>ср</sub> )
40–50	46–60	30–40	60–50	55–40	70–60	Суглинок тяжелый (С <sub>т</sub> )
50–65	60–75	40–50	50–35	40–25	60–50	Глина легкая (Г <sub>л</sub> )
65–80	75–85	50–65	35–20	25–15	50–35	Глина средняя (Г <sub>ср</sub> )
более 80	более 85	более 65	менее 20	менее 15	более 35	Глина тяжелая (Г <sub>т</sub> )

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Физико-химические свойства почв

Таблица Д.1 – Разделение почв по глубине залегания верхнего солевого горизонта (его верхней границы) на орошаемых почвах

Почвы	Глубина залегания верхнего солевого горизонта, см
Солончаковые	0–50
Солончаковатые	50–100
Глубокозасоленные	100–200

Таблица Д.2 – Классификация почв по содержанию солей в зависимости от химизма засоления (сумма солей)

Степень засоления почв	Химизм засоления (соотношение ионов в мг-экв) при засолении					
	нейтральном (pH < 8,5)			щелочном (pH > 8,5)		
	Хлоридный, сульфатно-хлоридный Cl: SO <sub>4</sub> более 1	Хлоридно-сульфатный Cl: SO <sub>4</sub> = 1–0,2	Сульфатный Cl: SO <sub>4</sub> менее 0,2	Хлоридно-содовый и содово-хлоридный Cl: SO <sub>4</sub> более 1, HCO <sub>3</sub> более Ca + Mg, HCO <sub>3</sub> более SO <sub>4</sub>	Сульфатно-содовый и содово-сульфатный Cl: SO <sub>4</sub> менее 1, HCO <sub>3</sub> более Ca + Mg, HCO <sub>3</sub> более Cl	Сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный HCO <sub>3</sub> более Cl, HCO <sub>3</sub> более SO <sub>4</sub> , HCO <sub>3</sub> менее Ca + Mg
Порог токсичности (незасоленные почвы)	менее 0,1	менее 0,2	менее 0,3	менее 0,1	менее 0,15	менее 0,2
Слабая	0,1–0,2	0,2–0,4(0,6)*	0,3(1)–0,6(1,2)*	0,1–0,2	0,15–0,25	0,2–0,4
Средняя	0,2–0,4	0,4(0,6)–0,6(0,9)*	0,6(1,2)–0,8(1,5)*	0,2–0,3	0,25–0,4	0,4–0,5
Сильная	0,4–0,8	0,6(0,9)–1(1,4)*	0,8(1,5)–1,5(2)*	0,3–0,5	0,4–0,6	Не встречается
Очень сильная	более 0,8	более 1(1,4)*	более 1,5(2)	более 0,5	более 0,6	То же
* Цифры в скобках соответствуют степеням засоления по сумме солей в гипсоносных почвах, к которым отнесены почвы, содержащие более 1 % CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O; по данным водных вытяжек, обычно эти почвы содержат более 10–12 мг-экв Ca и SO <sub>4</sub> (нетоксичного).						

Таблица Д.3 – Оценка степени засоления по сумме токсичных солей или содержанию отдельных ионов

Степень засоления почв	Показатель засоления в зависимости от химизма засоления*							
	Преимущественно хлоридный			Преимущественно сульфатный (в том числе хлоридно-сульфатный)		Преимущественно содовый		
	$S_{\text{ток}}$ , %	Cl мг-экв /100 г почвы	Na, мг-экв /100 г почвы	$S_{\text{ток}}$ , %	мг-экв/100 г почвы	$S_{\text{ток}}$ , %	$\text{HCO}_3$ ток**, мг-экв/100 г почвы	Na, мг-экв /100 г почвы
Незасолены	менее 0,05	менее 0,3	менее 0,6	менее 0,15	менее 1	менее 0,1	менее 0,8	менее 0,6
Слабая	0,05–0,12	0,6–1	0,6–2	0,15–0,3	1–2	0,1–0,15	0,8–1,4	0,6–2
Средняя	0,12–0,35	1–3	2–4	0,3–0,6	2–6	0,15–0,3	1,4–2	2–4
сильная	0,35–0,7	3–7	4–8	0,6–1	6–12	0,3–0,6	2–3	4–8
Очень сильная	более 0,7	более 7	более 8	более 1	более 12	более 0,6	более 3	более 8

\* Степень засоления можно оценивать по одному из приведенных показателей.  
 \*\* Сумма токсичных солей ( $S_{\text{ток}}$ , %) равна сумме токсичных ионов, выраженных в %; ионы Cl, Na, Mg относятся к категории токсичных целиком;  $\text{HCO}_3$  ток =  $\text{HCO}_3$  общ. – Ca; мг-экв;  $\text{SO}_4$  ток =  $\text{SO}_4$  общ. – (Ca –  $\text{HCO}_3$ ), мг-экв;  $S_{\text{ток}}$  =  $\text{HCO}_3$  ток + Cl +  $\text{SO}_4$  ток + Na + Mg + K, %.

Таблица Д.4 – Верхний предел допустимого содержания солей в зависимости от типа засоления, % на сухую навеску

Параметр	Тип засоления						
	Хлоридный	Сульфатно-хлоридный	Хлоридно-сульфатный	Сульфатный	Хлоридно-содовый и содово-хлоридный	Сульфатно-содовый и содово-сульфатный	Сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный
Общее содержание солей (плотный остаток)	0,15	0,20	0,4(0,6)	0,6(1,2)	0,20	0,25	0,40
Сумма токсичных солей	0,10	0,12	0,25	0,30	0,15	0,25	0,30
Токсичный сульфат ион	0,02	0,04	0,11	0,14	–	0,07	0,10
Хлор-ион	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	–	0,03
Подвижный натрий-ион	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046
Гидрокарбонат-ион	0,08	0,08	0,08	0,08	0,10	0,10	0,10
pH в суспензии 1:2,5	8,3	8,3	8,3	8,3	8,5	8,5	8,5
Поглощенный натрий	в высокогумусных и малогумусных почвах верхний предел не должен превышать соответственно 10 и 15 % от суммы катионов						
Примечание – Цифры без скобок соответствуют содержанию гипса в почвах не более 0,5 %, в скобках – более 0,5 %.							

Таблица Д.5 – Классификация почв по щелочности (по Б. А. Зимовцу)

Степень щелочности	Токсичная щелочность (НСО <sub>3</sub> –Са + Na + Mg) мг-экв/100г	рН водной суспензии (1:2,5)	Обменный натрий, % от емкости	Биологический урожай пшеницы, ц/га	Относительное плодородие, %
Щелочные	менее 0,7	7,5	5,0	30	100
Слабощелочные	1,0	8,0	10	25	85
Среднещелочные	1,6	8,5	15	20	65
Сильнощелочные	2,0	9,0	20	15	50
Очень сильнощелочные	более 2,0	более 9,0	20	10	30

Таблица Д.6 – Классификация почв по степени солонцеватости

Степень солонцеватости	Обменный Na, % от емкости обмена	
	Высокогумусные (черноземы, лугово-черноземные, черноземы луговые)	Малогумусные (каштановые, южные черноземы и т. д.)
Несолонцеватые	менее 5	менее 3
Слабосолонцеватые	5–10	3–5
Среднесолонцеватые	10–15	5–10
Сильносолонцеватые	15–20	10–15

Примечание – По глубине залегания осолонцованного горизонта, см: менее 30 см – солонцеватые; более 30 см – глубокосолонцеватые.

Таблица Д.7 – Содоустойчивость почв

Категория почв	Содоустойчивость, мг-экв/100 г почвы	Показатель плодородия
Не обладает содоустойчивостью	0–10	Неудовлетворительное
Очень слабая содоустойчивость	10–20	Неудовлетворительное
Слабая содоустойчивость	20–35	Удовлетворительное
Средняя содоустойчивость	35–50	Удовлетворительное
Высокая содоустойчивость	более 50	Оптимальное

Таблица Д.8 – Разделение почв по глубине (см) верхней границы гипсового горизонта (слоя)

Почвы	Глубина верхней границы гипсового горизонта, см
Высокозагипсованные	20–60
Неглубокозагипсованные	60–100
Глубокозагипсованные	100–200
Глубокозагипсованные	более 200

Таблица Д.9 – Разделение почв по глубине верхней границы сильно окарбоначенного горизонта

Почвы	Глубина верхней границы сильно окарбоначенного горизонта, см
Поверхностноокарбоначенные	менее 30
Высокоокарбоначенные	30–60
Неглубокоокарбоначенные	60–100
Глубокоокарбоначенные	100–200
Глубиноокарбоначенные	более 20

Таблица Д.10 – Степень карбонатности почв и мелкоземистых пород на содержание CaCO<sub>3</sub>

Степень карбонатности	Содержание CaCO <sub>3</sub> , %
Бескарбонатные (выщелоченные)	нет
Слабо карбонатные	менее 1,0
Мало карбонатные	1,0–3,0
Средне карбонатные	3,0–8,0
Сильно карбонатные	8,0–20,0
Высокая карбонатность на уровне элювия Известняков и мергелей	20,0–40,0
Мергелистая карбонатность	40,0–95,0

Таблица Д.11 – Классификация почв по содержанию недоокисленных токсичных веществ

Категория почв	Недоокисленные вещества, окисляемые 0,1н KMnO <sub>4</sub> мг-экв/100г	Урожайность сельскохозяйственных культур	Показатель почвенного плодородия
Не обладают токсичностью	менее 50	Проектная урожайность гарантирована	Оптимальное
Слабая токсичность	50–70	Снижение урожая до 15–20 %	Удовлетворительное
Сильная токсичность	более 70	Снижение урожая до 30–50 % и более	Неудовлетворительное

Таблица Д.12 – Агрономическая оценка окислительно-восстановительных условий

Параметр	Оценка		
	благоприятная	неблагоприятная	очень неблагоприятная
Возможное падение Eh ранней весной, мВ	до 450	350–200	ниже 200
Время развития весеннего анаэробногизиса (Eh менее 320 мВ)	не более 5	5–10	более 10
Возможное падение Eh в течение пяти дней при орошении, мВ	до 450	350–200	ниже 200

## Агрохимические свойства почв

Таблица Е.1 – Оценка агрохимических показателей свойств почв

Показатель	Предел величины	Уровень, характер признака
Общее содержание гумуса в минеральном профиле почв, %	более 10	Очень высокое
	6–10	Высокое
	4–6	Среднее
	2–4	Низкое
	менее 2	Очень низкое
Запасы гумуса, т/га в слое 0–20 см	более 200	Очень высокое
	150–200	Высокое
	100–150	Среднее
	50–100	Низкое
	менее 50	Очень низкое
В слое 0–100 см	более 600	Очень высокое
	200–400	Высокое
	400–600	Среднее
	100–200	Низкое
	менее 100	Очень низкое
Степень гумификации органического вещества, $C_{т.к.}/C_{общ} \cdot 100\%$	более 40	Очень высокая
	40–30	Высокая
	30–20	Средняя
	20–10	Слабая
	менее 10	Очень слабая
Тип гумуса, $C_{т.к.}/C_{ф.к}$	более 2	Гуматный
	2–1	Фульватно-гуматный
	1–0,5	Гуматно-фульватный
	менее 0,5	Фульватный
Обогащенность гумуса азотом, C:N	5	Очень высокая
	5–8	Высокая
	8–11	Средняя
	11–14	Низкая
	более–14	Очень низкая

Таблица Е.2 – Обеспеченность почв азотом

Оценка обеспеченности	В мг/кг								
	pH менее 5			pH 5–6			pH более 6		
	3	К	О	3	К	О	3	К	О
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Очень низкая	менее 40	менее 50	менее 60	менее 30	менее 40	менее 50	менее 30	менее 40	менее 50
Низкая	40–50	50–70	60–100	30–40	40–60	50–80	30–40	40–50	50–70
Средняя	50–70	70–100	100–140	40–60	60–80	80–120	40–50	50–70	70–100

Продолжение таблицы Е.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Высокая	более 70	более 100	более 140	более 60	более 80	более 120	более 50	более 70	более 100
Примечание – З – зерновые культуры, К – картофель и кормовые культуры, О – овощные культуры.									

Таблица Е.3 – Обеспеченность почв подвижными фосфатами

В мг/кг

Оценка обеспеченности	Культуры		
	Зерновые и зерно-бобовые	Кормовые корнеплоды, картофель	Овощные, технические
Вытяжка Кирсанова			
Очень низкая	менее 30	менее 80	менее 150
Низкая	30–80	80–150	150–200
Средняя	80–150	150–200	200–300
Высокая	более 15	более 200	более 300
Вытяжка Чирикова			
Очень низкая	менее 20	менее 50	менее 100
Низкая	20–50	50–100	100–150
Средняя	50–100	100–150	150–200
Высокая	более 100	более 150	более 200
Вытяжка Труога			
Очень низкая	менее 30	менее 70	менее 120
Низкая	30–70	70–120	120–180
Средняя	70–120	120–180	180–250
Высокая	более 120	более 180	более 250
Вытяжка Аррениуса и Ониани			
Оценка обеспеченности	Зерновые, чай	Кормовые корнеплоды	Овощные
Очень низкая	менее 80	менее 150	менее 300
Низкая	80–150	150–300	300–450
Средняя	15–30	300–450	450–600
Высокая	более 30	более 450	более 600
Вытяжка Мачигина			
Очень обеспеченности	Зерновые, хлопчатник	Кормовые корнеплоды, картофель	Овощные, технические культуры
Очень низкая	менее 10	менее 15	менее 30
Низкая	10–15	15–30	30–45
Средняя	15–30	30–45	45–60
Высокая	более 30	более 45	более 60

Таблица Е.4 – Обеспеченность почв подвижным калием

Оценка обеспеченности	В мг/кг					
	По Кирсанову	По Масловой	По Чирикову	По Эгнеру-Риму	По Ониани	По Мачигину
Очень низкая	менее 40	менее 50	менее 20	–	менее 200	менее 50
Низкая	40–80	50–100	20–40	менее 70	200–300	50–100
Средняя	80–120	100–150	40–80	70–140	300–400	100–200
Повышенная	120–170	150–200	80–120	более 140	–	200–300
Высокая	170–200	200–300	120–180	–	более 400	300–400
Очень высокая	более 200	более 300	более 180	–	–	более 400

Таблица Е.5 – Обеспеченность почв подвижной (сульфатной) серой в вытяжке 1н КСl

Обеспеченность	Содержание серы
Низкая	менее 6,0
Средняя	6,1–12,0
Высокая	более 12,0

Таблица Е.6 – Обеспеченность почв подвижными формами микроэлементов, определяемых по методу Пейве-Ринькиса

Элемент	Экстрагирующий раствор	Градации почв по содержанию микроэлементов, мг/кг		
		низкое	среднее	высокое
Марганец	0,1 н H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	менее 30	31–70	более 70
Цинк	1 н KCl	менее 0,7	0,8–1,5	более 1,5
Медь	1 н KCl	менее 1,5	1,6–3,3	более 3,3
Кобальт	1 н HNO <sub>3</sub>	менее 0,1	1,1–1,2	более 2,2
Бор	H <sub>2</sub> O	менее 0,33	0,34–0,7	более 0,7
Молибден	–	менее 0,1	0,11–0,22	более 0,22

## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

## Эколого-токсикологическое состояние почв

Таблица Ж.1 – Содержание валовых форм тяжелых металлов и мышьяка в почвах

Почвы	В мг/кг							
	Zn	Cd	Pb	Hg	Cu	Co	Ni	As
Дерново-подзолистые песчаные и супесчаные	28	0,05	6	0,05	8	3	6	1,5
Дерново-подзолистые суглинистые и глинистые	45	0,12	15	0,10	15	10	30	2,2
Серые лесные	60	0,20	16	0,15	18	12	35	2,6
Черноземы	68	0,24	20	0,20	25	15	45	5,6
Каштановые	54	0,16	16	0,15	20	12	35	5,2

Таблица Ж.2 – Показатели уровня загрязнения земель тяжелыми металлами

Тяжелый металл	Содержание в 1 кг соответствующее уровню загрязнения, мг				
	первому допустимому	второму низкому	третьему среднему	четвертому высокому	пятому очень высокому
Кадмий	менее ПДК	от ПДК до 3	3–5	5–20	более 20
Свинец	то же	от ПДК до 125	125–250	250–600	более 600
Ртуть	«	от ПДК до 3	3–5	5–10	более 10
Цинк	«	от ПДК до 500	500–1500	1500–3000	более 3000
Медь	«	от ПДК до 200	200–300	300–500	более 500
Кобальт	«	от ПДК до 50	50–150	150–300	более 300
Никель	«	от ПДК до 150	150–300	300–500	более 500
Молибден	«	от ПДК до 40	40–100	100–200	более 200
Олово	«	от ПДК до 20	20–50	50–300	более 300
Хром	«	от ПДК до 250	250–500	250–800	более 800
Ванадий	«	от ПДК до 225	225–300	225–350	более 350

Таблица Ж.3 – Показатели уровня загрязнения земель органическими и неорганическими соединениями

Элемент, соединение	Содержание, соответствующее степени загрязнения, мг/кг			
	низкий	средний	высокий	очень высокий
1	2	3	4	5
Неорганические соединения				
Кадмий	менее 3	3–5	5–20	более 20
Свинец	менее 125	125–250	250–600	более 600
Ртуть	менее 3	3–5	5–10	более 10
Мышьяк	менее 20	20–30	30–50	более 50

Руководство

Продолжение таблицы Ж.3

1	2	3	4	5
Цинк	менее 500	500–1500	1500–3000	более 3000
Медь	менее 200	200–300	300–500	более 500
Кобальт	менее 50	50–150	150–300	более 300
Никель	менее 150	150–300	300–500	более 500
Молибден	менее 40	40–100	100–200	более 200
Олово	менее 20	20–50	50–300	более 300
Барий	менее 200	200–400	400–2000	более 2000
Хром	менее 250	250–500	500–800	более 800
Ванадий	менее 225	225–300	300–350	более 350
Фтор водорастворимый	менее 15	15–25	25–50	50
Органические соединения				
Хлорированные углеводороды (в том числе хлорсодержащие пестициды ДДТ, ГХЦГ, 2,4-Д и др.	менее 5	5–25	25–50	Более 50
Хлорфенолы	менее 1	1–5	5–10	более 10
Фенолы	менее 1	1–5	5–10	более 10
Полихлорбифенилы	менее 2	2–5	5–10	более 10
Циклогексан	менее 6	6–30	30–60	более 60
Пиридины	менее 0,1	0,1–2	0,1–2	более 20
Тетрагидрофуран	–	–	–	более 40
Стирол	менее 5	5–20	5–20	более 50
Нефть и нефтепродукты	менее 1000–2000	2000–3000	2000–3000	более 5000
Бенз(а)пирен	менее 0,1	0,1–0,25	0,25	более 0,5
Бензол	менее 1	1–3	3–10	более 10
Толуол	менее 10	10–50	50–100	более 100
Альфаметилстирол	менее 3	3–10	10–50	более 50
Ксилолы (орто-, мета-, пара-)	менее 3	3–30	30–100	более 100
Сернистые соединения	180	180–250	250–380	380

Таблица Ж.4 – Предельно допустимые концентрации химических веществ в почвах

Элемент, химическое вещество	Величина ПДК, мг/кг почвы
1	2
Валовые формы	
Ванадий	150
Марганец	1500
Марганец + ванадий	11000 + 100
Мышьяк	2,0
Олово	4,5
Ртуть	2,1
Свинец	32
Сурьма	4,5
Хром (+3)	90
Сернистые соединения	160

Продолжение таблицы Ж.4

1	2
Сероводород	0,4
Нитраты	130
Водоростворимые формы	
Фтор	10
Подвижные формы	
Свинец	6
Никель	4
Хром	6
Медь	3
Цинк	23
Кобальт	5
Марганец: для черноземов	700
для дерново-подзолистых почв при pH 4,0	300
pH 5,1–6,0	400
pH > 6,0	500

Таблица Ж.5 – Предельно допустимые концентрации органических соединений в почвах

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/кг	Наименование вещества	Величина ПДК, мг/кг
1	2	3	4
Агелон	0,15	Изатрин	0,05
Аксерекс	1,0	Изопропилбензол	0,5
Актеллик	0,5	Изопропилбензол + альфаметил-стирол	0,5
Актеллик	0,1	Иодефенфос	0,5
Альфаметилстирол	0,5	Карбофос	2,0
Атразин	0,5	Кельтан	1,0
Ацетальдегид	10,0	Ксилолы (ортомета-, пара-)	0,3
Базудин	0,1	Купроцин	1,0
Байлетон + метоболит	0,02	Линурон	1,0
Банвел Д	0,25	Мезоранил	0,1
Бенз(а)пирен	0,02	Метафос	0,1
Бензин	0,1	Мирал	0,03
Бензор	0,3	Монурон	0,3
Бетанол	0,25	Отходы флотации Угля (ОФУ)	3000,0
Валексон	1,0	Пиримор	0,3
Гардона	1,4	Политриазин	0,1
ГХЦГ (линдан)	0,1	Полихлоркамфен	0,5
ГХЦГ (гексахлорн)	0,1	Полихлорпинен	0,5
ГХБД (гексахлорбутадиен)	0,5	Прометрин	0,5
		Пропанид	1,5
Гептахлор	0,05	Ридомил	0,05
Гетерофос	0,05	Ринкорд	0,02
Глифсат	0,5	Ронит	0,8

Продолжение таблицы Ж.5

1	2	3	4
Дапалон	0,5	Севин	0,05
2,4-Д-дихлорфеноксиук- сусная кислота	0,1	Семирон	0,1
		Симазин	0,2
2,4-Д-дихлорфенол	0,05	Сумицидин	0,02
2,4-Д-аминная соль	0,25	Стирол	0,1
Бутиловый эфир группы 2,4-Д	0,15	Толуол	0,3
		Фенурон	1,8
Кротиловый эфир группы 2,4-Д	0,15	Фозалон	0,5
		Фосфамид	0,3
Оксиловый эфир группы 2,4-Д	0,15	Формальдегид	7,0
		Фталофос	0,1
Малолетучие эфиры группы 2,4-Д 2М-4ХП 2М-4ХМ ДДТ и его матаболиты (суммарные количества)	0,15	Фурадан	0,01
		Фурфурол	3,0
		Хлорофос	0,5
		Хлорамп	0,05
		Циклофос	0,03
		Цинеб	0,2
Децис	0,01	Энтам	0,9
Дилор	0,5		
Диурон	0,5		
Дурсбан	0,2		
Зенкор	0,2		

Таблица Ж.6 – Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах (валовое содержание)

Почвы	В мг/кг					
	Никель	Медь	Цинк	Мышьяк	Кадмий	Свинец
Песчаные и супесчаные	20	33	55	2	0,5	32
Суглинистые и глинистые при рН менее 5,5	40	66	110	5	1,0	65
Суглинистые и глинистые при рН менее 5,5	80	132	220	10	2,0	130

Таблица Ж.7 – Ориентировочно допустимые концентрации пестицидов в почвах

Наименование вещества	Величина ОДК	Наименование вещества	В мг/кг
			Величина ОДК
1	2	3	4
Абат	0,6	Пирмаин	0,7
Амбуш	0,05	Пликран	0,1
Амибен	0,5	Плондрел	0,15
Антио	0,2	Поликарбацин	0,6
Арезин	0,7	Полихлорбифенилы (суммарно)	0,06
Байлетон	0,4	Препарат А-1	0,5
Байтекс	0,4	Промед	0,01
Банлат	0,1	Рамдон	0,2

Продолжение таблицы Ж.7

1	2	3	4
Биферан	0,5	Реглон	0,2
БМК	0,1	Ровраль	0,15
Бромфос	0,2	Сангор	0,04
Бронокот	0,5	Сапроль	0,03
Гексохлорбензол	0,03	Солан	0,6
Геметрел	0,5	Стомп	0,15
Гербан	0,7	Сульфазин	0,1
Гидрел	0,5	Суган	0,6
Дакгал	0,1	Тепоран	0,4
ДДВФ	0,1	Тербацид	0,4
Декстрел	0,5	Тиллам	0,6
Дигидрел	0,5	Тиодан	0,1
Дифенамид	0,25	Топсин-М	0,4
Дропп	0,05	Тетрахлорбифенилы	0,06
Зеллек	0,15	Трефлин	0,1
Кампозан	0,5	Триаллат	0,05
Каптан	1,0	Трихлорбифенилы	0,03
Карагард	0,4	ТХАН	0,2
Которан	0,03	ТХМ	0,1
Ленацил	1,0	Фталан	0,3
Лонтрел	0,1	Хлорат магния	1,0
Метазин	0,1	Хостаквик	0,2
Метоксифлор	1,6	Цианокс	0,4
Морфонол	0,15	Цидиал	0,4
Нитроприн+6ХПК	0,2	Этафос	0,1
Нитрофор	0,2	Эупарен	0,2
Офунак	0,05	Ялан	0,9

Таблица Ж.8 – Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю загрязнения

Значения показателя, $Z_c$	Загрязнения почв
Менее 16	допустимая
16–32	умеренно-допустимая
32–128	средняя
Более 128	очень высокая

## Нитрификационная способность почв

Таблица И.1 – Нитрификационная способность почв (N-NO<sub>3</sub>, мг/кг почвы)

Предел величин	Уровень признака
менее 5	очень низкая
5–8	низкая
8–15	средняя
15–30	повышенная
30–60	высокая
более 60	очень высокая

## ПРИЛОЖЕНИЕ К

### Качество оросительной воды по ее минерализации и степени развитие неблагоприятных процессов

Таблица К.1 – Оценка качества оросительной воды

Класс воды	Минерализация воды для орошения почв			Оценка воды по степени опасности развития процессов			
	С тяжелым механическим составом и ППК 30–60	со средним механическим составом и ППК 15–30	с легким механическим составом и ППК < 15	хлоридного засоления Cl	натриевого осолонцевания $\frac{Ca^{2+}}{Na^{+}}$	магниевого осолонцевания $\frac{Mg^{2+}}{Mg^{2+} + Ca^{2+}}$	содообразования $(CO_3^{2-} + HCO_3^{-})-(Ca^{2+} + Mg^{2+})$
I	менее 0,5	менее 0,5	менее 0,5	менее 2,0	более 2,0	менее 0,5	менее 1,0
II	0,5 до 0,8	0,5 до 1,0	0,5 до 1,0	2,0 до 4,0	2,0 до 1,0	0,5 до 0,6	2,0 до 1,25
III	0,8 до 1,2	1,0 до 1,5	1,0 до 2,0	4,0 до 10	1,0 до 0,5	0,6 до 0,7	1,25 до 2,5
IV	более 1,2	более 1,5	более 2,0	более 10,0	менее 0,5	более 0,7	более 2,5
Примечание – концентрация ионов выражена в мг-экв/дм <sup>3</sup> ; ППК – емкость поглощения почв в мг-экв/100 г почвы; минерализация воды дана в г/дм <sup>3</sup> .							

Таблица К.2 – Характеристика классов оросительной воды

Класс воды	Характеристика классов оросительной воды
Класс I	Оросительная вода не оказывает неблагоприятного влияния на плодородие почв, урожайность и качество сельскохозяйственной продукции, поверхностные и подземные воды. Не требуется ограничения состава сельскохозяйственных культур.
Класс II	Оросительная вода не оказывает неблагоприятного влияния на качество сельскохозяйственной продукции, поверхностные и подземные воды. При недостаточной дренированности, специальный комплекс мелиоративных мероприятий.
Класс III	Оросительная вода оказывает неблагоприятное воздействие на плодородие почв и урожайность сельскохозяйственных культур; снижение урожайности культур слабой и средней солеустойчивости до 10–25 %. Без предварительной мелиорации воды и почв неизбежно развитие процессов засоления, натриевого и магниевое осолонцевания и содообразования почв. Необходимо регулирование pH оросительной воды, обогащение кальцием. Требуется промывной режим орошения при обеспеченной дренированности, интенсивность которого должна быть увязана со свойствами и составом почв. Требуется ограничение состава сельскохозяйственных культур и специальный комплекс мелиоративных мероприятий.
Класс IV	Оросительная вода оказывает неблагоприятное влияние на плодородие почв, урожайность и качество сельскохозяйственной продукции: снижение урожайности культур слабой и средней солеустойчивости до 25–50 %. Требуется мелиорация почв и воды. Вода непригодна без предварительного изменения ее качественного состава или без проведения специальных исследований влияния ее на качество сельскохозяйственной продукции, на плодородие почв и другие природные факторы.

Таблица К.3 – Норма качества оросительной воды, неорганические соединения

Показатель	Допустимая величина, мг/дм <sup>3</sup>
1	2
Железо общее Fe	0,3
Цинк Zn	1,0
Медь Cu	1,0
Бор В	0,5
Фтор F	1,5
Марганец Mn	0,2
Кобальт Co	
Молибден Mo	0,25
Алюминий Al	0,5
Стронций Sr	7,0
Литий Li	0,03
Ванадий Wa	0,1
Хром Cr <sup>3+</sup>	0,5
Хром Cr <sup>6+</sup>	0,05
Никель Ni	0,1

Продолжение таблицы К.3

1	2
Мышьяк As	0,05
Бериллий Be	0,0002
Свинец Pb	0,03
Кадмий Cd	0,001
Селен Se	0,001
Ртуть Hg	0,0005
Вольфрам Wo	0,05
Сурьма Sb	0,05
Титан Ti	0,1
Барий Ba	0,1
Бром Br	0,2
Олово Pb	0,2
Висмут Wi	0,1
Нитраты (по NO <sub>3</sub> )	45,0
Нитраты (по NO <sub>2</sub> )	3,8
Коли индекс, количество бактерий в 1л	1000
Эпидемиологически опасные (возбудители тифа, паратифа, сальмонеллы, яйца гельминтов)	отсутствие

Таблица К.4 – Нормы качества оросительных вод, органические соединения

Показатель	Допустимая величина, мг/ дм <sup>3</sup>
Акросин	25,0
Ацетальдегид	300,0
Диметилдиоксан	100,0
Диметилдисульфид	0,04
Диметилсульфид	0,01
Жиры	50,0
Капролактан	500,0
Красители	25,0
Метилмеркаптан	0,0002
Метанол	30,0
Метионы	500,0
Нефтепродукты	25,0
Нитрофенолы	0,006
Роданиды	2,0
СПАВ анионовые	20,0
СПАВ неионогенных	50,0
Фенол	15,0
Формальдегид	25,0

## ПРИЛОЖЕНИЕ Л

Глубина залегания грунтовых вод и степень их минерализации

Таблица Л.1 – Критическая глубина залегания грунтовых вод (средняя)  
для степной зоны

Минерализация, г/дм <sup>3</sup>	Критическая глубина грунтовых вод, м	
	нщелочная вода	щелочная вода
Черноземная зона		
1–3	2,0–2,2	2,2–2,5
3–5	2,2–2,5	2,5–3,0
5–10	2,5–3,0	3,0–3,5
Каштановая зона		
1–3	1,8–2,0	2,2–2,5
3–5	2,0–2,2	2,5–3,0
5–10	2,2–2,5	3,0–3,5

Таблица Л.2 – Классификация грунтовых вод по степени минерализации  
(плотный остаток)

Вода	Степень минерализации, г/дм <sup>3</sup>
Пресные	1
Слабоминерализованные	1–3
Среднеминерализованные	3–10
Сильноминерализованные	10–50
Рассолы	50

## ПРИЛОЖЕНИЕ М

### Оценка загрязнения продукции растениеводства

Таблица М.1 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) тяжелых металлов в основном продовольственном сырье и пищевых продуктах растительного происхождения на 1 кг (СанПиН № 2-123-4089-86 от 31.03.86 )

В мг/кг

Химический элемент	Зерно	Овощи и фрукты свежие	Ягоды свежие	Грибы свежие
Ртуть	0,3	0,02	0,02	0,05
Кадмий	0,03	0,03	0,03	–
Свинец	0,3	0,4–0,5	–	0,5
Медь	10,0	5,0	5,0	–
Цинк	50,0	10,0	10,0	–

Таблица М.2 – Допустимое остаточное количество тяжелого металла и мышьяка в пищевых продуктах (Постоянная комиссия СЭВ по сотрудничеству в области здравоохранения, 1983)

В мг/кг

Химический элемент	Продукты				Овощи	Фрукты
	рыбные	мясные	молочные	мучные		
Ртуть	0,5	0,03	0,005	0,01	0,02	0,001
Кадмий	0,1	0,05	0,01	0,02	0,03	0,03
Свинец	1,0	0,5	0,05	0,2	0,5	0,4
Мышьяк	1,0	0,5	0,05	0,	0,2	0,2
Медь	10,0	5,0	0,5	5,0	10,0	10,0
Цинк	40,0	40,0	5,0	25,0	10,0	10,0
Железо	30,0	50,0	3,0	50,0	50,0	50,0
Олово	200,0	200,0	100,0	–	200,0	100,0
Сурьма	0,5	0,1	0,05	0,1	0,3	0,3
Никель	0,5	0,5	0,1	0,5	0,5	0,5
Селен	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5
Хром	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1

Таблица М.3 – Допустимое (остаточное) количество тяжелых металлов в сельскохозяйственных культурах (Германия) на 1 кг

В мг

Пищевой продукт	Свинец	Кадмий	Ртуть
1	2	3	4
Овощи:			
листовые	1,2	0,1	–
стеблевые	1,2	0,1	–
плодовые	0,2	0,1	–
Корнеплоды	0,5	0,05	–

Продолжение таблицы М.3

1	2	3	4
Фрукты:			
семечковые	0,5	0,05	–
косточковые	0,5	0,05	–
Ягоды	0,5	0,05	–
Зерновые культуры	0,5	0,1	0,03
Картофель	0,2	0,1	0,02

Таблица М.4 – Временный максимально допустимый уровень (МДУ) некоторых химических элементов в основных видах кормов растительного происхождения для сельскохозяйственных животных на 1 кг корма, мг (СанПиН № 123–4281–87 от 16.07.87)

В мг

Химический элемент	Зерно и зернофураж	Грубые и сочные корма	Корне-, клубнеплоды
Ртуть	0,1	0,05	0,05
Кадмий	0,3	0,3	0,3
Свинец	5,0	5,0	5,0
Мышьяк	0,5	0,5	0,5
Медь	30,0	30,0	30,0
Цинк	50,0	50,0	100,0
Железо	100,0	100,0	100,0
Сурьма	0,5	0,5	0,5
Никель	1,0	3,0	3,0
Селен	0,5	1,0	1,0
Хром	0,5	0,5	0,5
Фтор	10,0	20,0	20,0
Йод	2,0	2,0	5,0
Молибден	2,0	2,0	2,0
Кобальт	1,0	1,0	2,0

## ПРИЛОЖЕНИЕ Н

### Методика определения дозы гипса (мелиоранта) по порогу коагуляции

Размолотую для анализов почву (100 г) в нескольких повторностях высыпают в цилиндры, в которые последовательно вносят определенное (возрастающее по вариантам) количество гипса (мелиоранта), например 50, 100, 150 мг. Затем почву заливают водой, тщательно перемешивают и оставляют на ночь. Минимальное количество гипса (мелиоранта), при котором осветлился раствор в цилиндре, является необходимой для мелиорации почвы дозой гипса (мелиоранта).

Расчет доз проводят по формуле:

$$D = M \cdot h \cdot d, \quad (\text{Н.1})$$

где  $D$  – доза гипса (мелиоранта), т/га;

$M$  – количество гипса (мелиоранта), внесенное в цилиндр с осветившимся раствором, г;

$h$  – мощность мелиорируемого слоя, см;

$d$  – плотность сложения почвы, т/м<sup>3</sup>.

## ПРИЛОЖЕНИЕ П

### Пример расчета экономической эффективности от применения комплексной мелиорации солонцовых почв

Почва темно каштановая, обладающая натриевой и магниевой солонцеватостью, уплотненностью, низким содержанием гумуса и питательных элементов.

Для оптимизации свойств таких почв требуется внесение органических удобрений или сидерация, проведение глубокого рыхления, внесение фосфогипса. По расчетам для химической мелиорации таких почв требуется 10 т/га фосфогипса (Ф).

Таблица П.1 – Затраты на проведение комплексного способа мелиорации

Тыс. руб./га

Сидерация				Стоимость Ф с доставкой	Эксплуатационная планировка	Внесение Ф	Глубокое рыхление	Итого затраты
Стоимость семян	Подготовка почвы посев, заделка	Запашка растений	Всего					
1,00	0,25	1,54	2,79	20,0	0,5	1,0	1	25,29

Поскольку срок последствия этого способа мелиорации длится более 5–6 лет, поэтому эти затраты относятся к капитальным. В связи с этим в формулу (20) введен коэффициент 0,06.

Стоимость дополнительной продукции при возделывании зерновых культур на темно-каштановых почвах в среднем за три года составила 10 тыс. рублей.

Годовой экономический эффект равен  $\mathcal{E}_Г = \mathcal{E}_i - E \cdot K = 10,0 \cdot 0,06 \cdot 25,29 = 8,5$  тыс. рублей. Окупаемость капитальных затрат в данном случае 3 года.