

## Лекция №14

### РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

1. Влияние загрязнения почвы на урожай сельскохозяйственных культур.
2. Экологическое нормирование загрязнения агроландшафтов тяжелыми металлами.
3. Мероприятия по реабилитации земель, загрязненных тяжелыми металлами.

#### Вопрос 1

На продуктивность растений оказывают влияние множество факторов. Основными из них являются влага, тепло, элементы питания. В последнее время в научной и специальной литературе появились сведения о влиянии на нее экологической ситуации и, в частности, загрязнения среды обитания токсичными элементами. Влияние тяжелых металлов (ТМ) на урожай неоднозначно. Некоторые элементы имеют весьма значительное позитивное значение, но только в тех концентрациях, в которых они необходимы живым организмам, поэтому и получили название микроэлементов. Они входят в состав ферментов, витаминов и других биологически активных веществ, влияют на процессы синтеза органических соединений. Однако при превышении определенных концентраций они становятся токсичными. Причем токсичность ТМ существенно зависит от вида загрязнителя. Другие элементы практически не оказывают положительного влияния на жизнедеятельность растений, так как не являются жизненно необходимыми и даже в небольших концентрациях действуют на них угнетающе (кадмий, ртуть, свинец и некоторые другие). На основе обобщения литературных данных можно отметить, что по отклику растений на действие ТМ последние можно разбить на две группы (рис. 1).

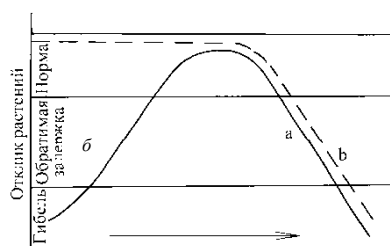


Рис. 1. Отклик растений на действие тяжелых металлов :  
а – микроэлементы имеющие жизненно важное значение;  
б – металлы не имеющие жизненно важного значения

Воздействие первой группы тяжелых металлов до определенного уровня концентрации приводит к росту урожайности (рис. 1, а). При дальнейшем увеличении концентрации ТМ в почве проявляется их фитотоксичность и урожайность сельскохозяйственных культур начинает снижаться.

Вторая группа ТМ даже в малой концентрации их в почве практически не приводит к увеличению урожайности (рис. 1, б).

В связи с тем, что почва обычно загрязняется несколькими видами ТМ, для анализа уровня загрязнения удобнее пользоваться не концентрацией определенных загрязнителей, а комплексными показателями, например, суммарным индексом загрязнений ТМ.

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{ci} - (n-1) \quad (1)$$

где  $Z_c$  – суммарный индекс загрязнений почвы ТМ;  
 $n$  – число определяемых металлов;

$K_{ci}$  – коэффициент концентрации  $i$ -го металла, равный отношению содержания металла в почвах обследованной территории к фону (кларку).

Учитывая многофакторность процесса воздействия ТМ на урожай, причем эти факторы в различных сочетаниях действуют неоднозначно, для практического анализа можно использовать эмпирические корреляционные зависимости от основных факторов воздействия ТМ на растения. В частности, как показывают исследования кафедры мелиорации и водного хозяйства Белорусской сельскохозяйственной академии, зависимость урожая от суммарного индекса загрязнения почвы (с учетом влияния основного загрязняющего ТМ), вполне удовлетворительно аппроксимируется уравнением вида

$$Y = a Z_c^2 + b Z_c + c, \quad (2)$$

где  $a$ ,  $b$  и  $c$  – коэффициенты регрессии, которые приведены в табл. 1.

Опытным путем установлено, что медь и даже цинк в малых концентрациях дают прибавку урожая (хотя цинк и относится к ТМ первого класса опасности), в то время как свинец и особенно кадмий практически однозначно способствуют угнетению растений (вторая группа, рис. 1, б).

Таблица 1. Значения эмпирических коэффициентов  $a$ ,  $b$  и  $c$  в уравнении 2

Элемент-загрязнитель	$a$	$b$	$c$	$R$
<b>Однолетние травы (бобово-злаковая смесь)</b>				
Медь	-0,0039	-0,419	49,02	0,93
Цинк	-0,0016	-0,141	51,12	0,96
Свинец	-0,0043	-0,391	40,08	0,92
Кадмий	-0,0015	-0,068	39,73	0,95
<b>Многолетние травы (первый укос)</b>				
Медь	-0,0014	0,049	5,33	0,91
Цинк	-0,0082	0,076	4,81	0,89
Свинец	-0,0002	-0,055	4,87	0,93
Кадмий	6E-05	-0,0216	5,66	0,94
<b>Многолетние травы (второй укос)</b>				
Медь	0,0002	-0,0318	4,78	0,92
Цинк	-0,0065	0,095	4,04	0,93
Свинец	-0,0024	-0,058	4,45	0,97
Кадмий	6E-05	-0,016	4,14	0,96
<b>Многолетние травы (третий укос)</b>				
Медь	-0,0001	-0,0009	3,39	0,95
Цинк	-0,0002	-0,043	3,29	0,96
Свинец	0,0016	-0,071	3,34	0,96
Кадмий	7E-05	-0,016	2,75	0,97
<b>Многолетние травы (за вегетацию)</b>				
Медь	-0,0014	0,023	13,49	0,93
Цинк	-0,0092	0,083	12,24	0,96
Свинец	-0,0014	-0,217	12,72	0,89
Кадмий	0,0002	-0,054	12,44	0,91

Загрязнение почвы тяжелыми металлами оказывает влияние и на качество урожая. Качество урожая, получаемое на загрязненных ТМ землях, определяется концентрацией загрязнителей в растениях (в тех их частях, которые используются в пищевой цепи).

Поглощение химических элементов, в том числе и тяжелых металлов, в значительной степени регулируется самими растениями. Причем в связи с различным строением и химическим составом клеточных оболочек у различных растений поглощение этих элементов также

происходит по-разному. Однако эта саморегуляция поглощения отмечается только при питании из уравновешенных растворов с относительно низкой концентрацией химических элементов. Кроме того, благодаря буферным свойствам почвы, небольшая концентрация ТМ в ней практически не оказывает негативного влияния на растения.

С увеличением концентрации ТМ нарушается и саморегуляция поглощения загрязнителей растением. Однако часть ионов растение способно перевести в менее активное состояние до проникновения в корни с помощью корневых выделений и абсорбировать их на внешней поверхности корней. Вместе с тем часть химических элементов попадает в корень, где некоторое их количество абсорбируется на стенках. Другая их часть участвует в метаболизме корней. Для проникновения в клетки листа тяжелым металлам необходимо вновь преодолеть клеточную мембрану, т. е. и здесь, как и в корнях, действует механизм избирательного поглощения.

Помимо рассмотренных выше механизмов защиты от избытка ТМ, в условиях загрязнения растение может усиленно формировать корневую систему за счет сокращения биомассы надземных органов.

Однако растения успешно справляются с избытком ТМ только при относительно небольшой их концентрации. При содержании этих элементов на уровне фона происходит активное поглощение ионов. Учитывая малую подвижность большинства ТМ, поглощению должна предшествовать мобилизация прочносвязанных металлов. На рис. 2 это показано отрезком *a*.

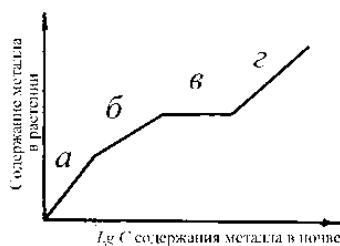


Рис. 2. Поступление металла в растение в зависимости от его содержания в почве

При концентрациях ТМ в корнеобитаемом слое, значительно превышающих пределы закрепления за счет внутренних ресурсов почвы, в корни поступает такое количество металлов, которые мембраны удержать уже не смогут. В результате этого поступление ионов или соединений тяжелых металлов перестает регулироваться клеточными механизмами, происходит нарушение нормального функционирования мембран и дисбаланс в составе поглощаемых ионов (рис. 2, отрезки *в* и *г*).

В качестве иллюстрации на рис. 3 приведены результаты опытов по определению накопления ТМ в однолетних травах в зависимости от уровня загрязнения почвы.

Как видно из приведенных данных, в целом выдерживается закономерность, представленная на рис. 2, которую с вполне удовлетворительной точностью можно аппроксимировать уравнением вида

$$C_p = a_1 Z_c^2 + b_1 Z_c + c_1 \quad (3)$$

где  $C_p$  – концентрация тяжелых металлов в растениях, мг/кг;

$a_1$ ,  $b_1$  и  $c_1$  – коэффициенты для различных преобладающих загрязнителей.

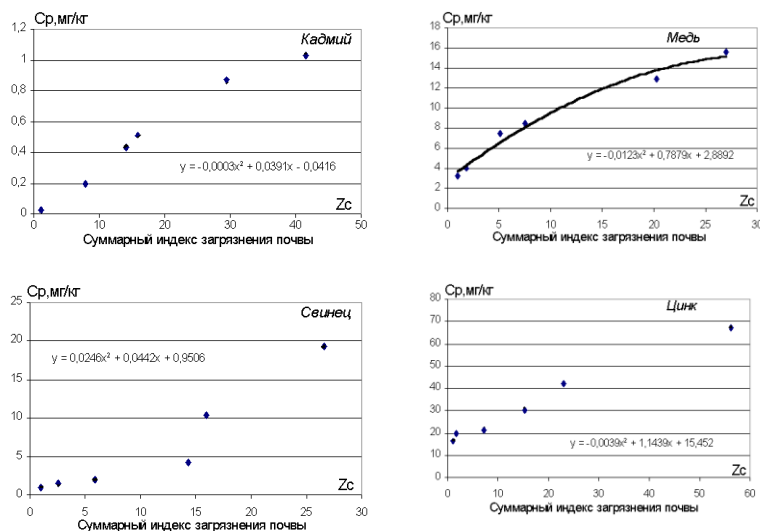


Рис. 3. Динамика накопления тяжелых металлов в однолетних травах (бобово-злаковая смесь) в зависимости от уровня загрязнения почвы

В вегетационные части растений ионы металлов поступают в основном апоплазматическим путем, а в репродуктивные – симплазматическим, что обуславливает различное накопление их в корнях, стеблях, листьях и репродуктивных органах. Этим также обуславливается механизм защиты растений от токсикантов, выработанный в процессе эволюции.

## Вопрос 2

загрязнение природной среды в результате хозяйственной деятельности обуславливает необходимость не только отслеживания источника загрязнений, но и моделирование поведения загрязняющих веществ в экологической системе, проведение целенаправленных исследований. В этом плане весьма значимым является система критериев для оценки состояния окружающей природной среды.

Научные исследования этой проблемы направлены на установление критических значений для отдельных компонентов экосистемы, которые определяют область ее нормальных состояний. В связи с этим основная задача, которая решается при разработке экологического нормирования, заключается в определении множества таких значений, при которых экосистема не выходит из заданных состояний. Фактически возникает необходимость в определении предельно допустимых нагрузок.

Определение предельно допустимых нагрузок базируется на концепции устойчивости экосистем и связанных с ней принципах ранжирования нарушения экосистемы по глубине и необратимости. Для определения величины показателей экосистемы  $Y$ , соответствующей различным величинам антропогенной нагрузки  $X$  на эту экосистему, в экспериментах исследуются функции  $Y = f(x)$ .

Как правило, эти связи нелинейные и, как указывают авторы работы [12], имеют форму логистической кривой, описываются функцией Ричардса

$$Y(x) = a_1 / (1 + b \exp(-|\alpha + \beta x|)) + a_0, \quad (4)$$

где  $a_1$  – координата верхней асимптоты логистической кривой ( $x_{\max}$ );

$a_0$  – координаты нижней асимптоты ( $x_{\min}$ );

$b, \alpha, \beta$  – коэффициенты, описывающие положение и крутизну логистической кривой.

Для выделения качественных различных состояний экологической системы, связанных с изменениями нагрузки на нее, рекомендуется выполнить анализ дифференциальных производных  $Y(x)$ .

Переходя от концептуально расширенной трактовки этого положения конкретно к сельскохозяйственному производству, можно предположить, что высокие техногенные нагрузки на агроландшафты способствуют загрязнению воздуха, воды и почвы, что приводит к снижению продуктивности агроценозов. Это проявляется, в первую очередь, в падении урожайности и ухудшении качества продукции. Графическая интерпретация этой гипотезы представлена на рис. 4, а.

Как видим, зависимость урожайности сельскохозяйственных культур от уровня загрязнения почвы носит нелинейный характер. Это подтверждают многочисленные исследования, выполненные в различных природно-климатических условиях. Анализируя первую производную функцию  $y = f(Z)$ , можно установить уровень загрязнения почвы тяжелыми металлами, соответствующий максимальной урожайности  $Y_{\max}$ . На рис. 4, а первое критическое значение индекса загрязнения обозначено  $Z_{\text{опт}}$ . При значениях  $Z \leq Z_{\text{опт}}$  экологическая система функционирует нормально.

Таким образом, на первом уровне антропогенное воздействие на агроландшафт (агротехника, внесение удобрений, средств химической защиты растений и т. д.) способствует увеличению урожайности сельскохозяйственных культур, которая при значении индекса загрязнения почвы  $Z_{\text{опт}}$  достигает максимального значения  $Y_{\max}$ .

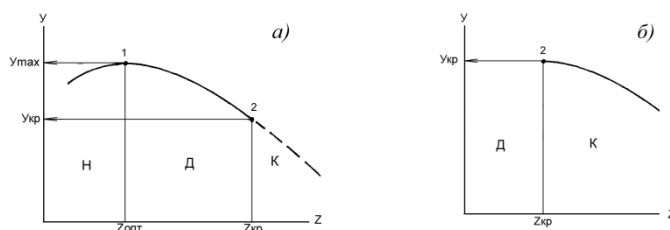


Рис. 4. Зависимость урожайности сельскохозяйственных культур от индекса суммарного загрязнения почвы

Из анализа рис. 4, а также следует, что при дальнейшем увеличении антропогенного воздействия урожай снижается. Снижение урожайности сельскохозяйственных культур сопровождается, как правило, ухудшением качества продукции растениеводства, т. е. при значениях  $Z \geq Z_{\text{опт}}$  проявляется токсичное действие микроэлементов. В настоящее время опубликовано много работ о вредном действии тяжелых металлов на растения, однако, природа этих эффектов изучена еще недостаточно. Оценка токсичных концентраций и действия микроэлементов на растения очень сложная задача, потому что она зависит от множества факторов, которые нельзя сопоставить в единой линейной шкале.

важным свойством растений является толерантность, т. е. способность сохранять жизнедеятельность в условиях избытка микроэлемента в почве. Высшие растения достаточно устойчивы к повышенным концентрациям микроэлементов, в том числе тяжелых металлов. Они способны накапливать эти металлы и развиваться на почвах с высоким уровнем загрязнения.

Развитие толерантности к металлам происходит довольно быстро и, как известно, имеет генетическую основу. Эволюционные изменения, вызванные тяжелыми металлами, обнаружены у большинства видов, произрастающих на загрязненных территориях от популяций тех же видов, растущих на обычных почвах.

Накапливаясь в растениях, тяжелые металлы делают продукцию растениеводства непригодной к употреблению. По этой причине возникает необходимость нормирования их содержания в компонентах окружающей среды.

Нормативы токсичных веществ легче установить для однородных средств (вода, воздух) и значительно сложнее для гетерогенных, к которым относятся почвы. Подтверждением этому являются разработанные предельно-допустимые концентрации тяжелых металлов для воздуха, воды, продуктов питания и продолжающиеся дискуссии о подходах к разработке ПДК в почвах. Для определения предельно-допустимых концентраций тяжелых металлов в почве имеет место не конкретное критическое значение, а скорее критическое поле значений, так как любой результат почвенных исследований носит вероятностный характер.

Для обоснования предельно-допустимого уровня загрязнения почвы необходимы основные показатели количества и качества биологической продукции. При этом количество продукции может быть охарактеризовано урожайностью сельскохозяйственных культур, а качество – предельно допустимыми концентрациями загрязняющего вещества в растениях. Поэтому, исследуя транслокационные показатели, характеризующие переход загрязняющих веществ из почвы в растения, можно установить границу второго уровня функционирования экосистемы.

На рис. 5, *а* эта граница проходит через точку 2, которой соответствует уровень загрязнения почвы тяжелыми металлами  $Z_{кр}$ , а получаемый при этом уровне урожай  $У_{кр}$  по содержанию загрязняющих веществ не превышает предельно допустимых концентраций.

С учетом вышеизложенного можно отметить, что второму уровню функционирования экосистемы соответствует диапазон значений  $Z$ , изменяющихся в пределах от  $Z_{опт}$  до  $Z_{кр}$ , т. е.  $Z_{опт} < Z \leq Z_{кр}$ . Логика подсказывает, что этот уровень функционирования экосистемы характеризуется как допустимый (Д).

При значениях  $Z > Z_{кр}$  продуктивность угодий резко падает. Кроме снижения урожайности ухудшаются и качественные показатели растениеводческой продукции, так как содержание загрязняющих веществ превышает ПДК. Этот уровень функционирования экосистемы правомочно охарактеризовать как критический (К). Для него необходимо разрабатывать модели реабилитации почв.

Изложенная выше методика нормирования загрязнения почвы тяжелыми металлами прошла апробацию на мелиорируемых агроландшафтах Южной зоны Нечерноземья Российской Федерации. При этом было установлено, что автоматический перенос ее на мелиорируемые объекты Республики Беларусь приведет к погрешностям. Это потребовало проведения дополнительных исследований и, прежде всего, на агроландшафтах с крупными животноводческими комплексами, которые являются источниками загрязнения окружающей среды.

При разработке рабочей гипотезы исходили, прежде всего, из того, что тяжелые металлы неодинаково проявляют свое токсическое действие на растение. Был использован подход, который заключается в том, что экотоксиканты условно можно разбить на две группы:

- *а* – микроэлементы, имеющие важное жизненное значение;
- *б* – металлы, не имеющие важного жизненного значения.

Для металлов первой группы остаются в силе подходы к разработке нормирования, изложенные выше и предполагающие наличие трех уровней функционирования агроландшафтов (нормального, допустимого и критического).

В отношении металлов второй группы таких уровней можно выделить два – допустимый и критический (см. рис. 4, *б*). Это связано с тем, что металлы этой группы не имеют важного жизненного значения, а их наличие даже в незначительных количествах ухудшает качество продукции и наносит вред живым организмам, потребляющим ее. По мере того, как накапливаются факты отрицательного воздействия химических элементов на растительный и животный мир, эти вопросы становятся особенно актуальными, так как растения находятся в начале биохимической пищевой цепи.

Исследованиями установлено, что внесение солей тяжелых металлов, для создания различных уровней загрязнения почвы, приводило к существенному увеличению содержания наиболее агрессивных (подвижных) форм цинка, меди, свинца. Разная по степени загрязненности дерново-подзолистая почва оказывала отрицательное влияние на урожайность зерна яровой пшеницы и зеленой массы горохо-овсяной смеси. В среднем за два года исследований на максимально загрязненных фонах Zn, Cu, Pb снижение сбора зерна было в пределах 14–26 %, а зеленой массы – 13–16 %.

Результаты расчетов показывают, что загрязнение почвы тяжелыми металлами достоверно коррелирует с урожаями сельскохозяйственных культур. Данные исследования подтверждают гипотезу об угнетающем действии загрязнения почвы на растения. При этом в полученных данных наибольшее снижение продуктивности установлено при загрязнении почвы свинцом, затем медью и только потом цинком. Чтобы получить критические значения по предложенным шкалам нормирования, были проанализированы дифференциальные производные функциональной зависимости урожайности от индекса загрязнения почвы  $TM Y = f(Z)$ , полученной в результате постановки модельного эксперимента.

Из условия равенства первой производной нулю установлены оптимальные ( $Z_{opt}$ ) значения индекса загрязнения почвы, при которых достигается максимальная урожайность ( $Y_{max}$ ). Значение критической урожайности, при которой содержание экотоксикантов в выращенной продукции превышает ПДК, было установлено в результате анализа взаимосвязи содержания загрязняющих веществ в растениях с индексами загрязнения почвы. В табл. 2 приведены оптимальные и критические значения индекса загрязнения почвы и соответствующая этим значениям урожайность.

Таким образом, на формирование урожая сельскохозяйственных культур наряду с показателями тепловлагообеспеченности вегетационного периода, которые определяют водно-воздушный и температурный режимы почвы, оказывает влияние и загрязнение почвы экотоксикантами. Эта закономерность наблюдалась для всех изучаемых культур и особенно выражена для свинца.

Таблица 2. Значения индекса загрязнения почвы и соответствующая им урожайность многолетних трав

Межукосный период	Основной элемент-загрязнитель	$Z_{opt}$	$Y_{max}$ , т/га	$Z_{кр}$	$Y_{кр}$ , т/га
Первый	Кадмий	–	–	10	5,8
	Свинец	–	–	12	4,2
	Медь	5,0	5,7	15	4,6
	Цинк	8,0	5,4	26	3,5
Второй	Кадмий	–	–	10	3,9
	Свинец	–	–	12	3,4
	Медь	5,0	4,8	15	4,3
	Цинк	8,0	4,4	26	2,1
Третий	Кадмий	–	–	10	2,6
	Свинец	–	–	12	2,7
	Медь	5,0	3,6	15	3,3
	Цинк	8,0	3,4	26	2,1

### Вопрос 3

Наиболее кардинальный способ ликвидации последствий загрязнения – удаление металлов из корнеобитаемого слоя почвы. При этом возможны две основных технологии: механическое удаление загрязненного слоя почвы и перемещение загрязненного слоя в почвенные горизонты, подстилающие корнеобитаемый слой. Последний прием применяется наиболее часто и осуществляется путем глубокой вспашки плантажными плугами.

Наряду с этими приемами рекомендуется проводить комплекс мероприятий по ограничению подвижности экотоксикантов. Об этом уже шла речь выше. Поливы выращиваемых культур должны проводиться нормами, установленными для критического уровня загрязнения.

Рассмотренный технологический регламент функционирования агроландшафта при различных уровнях загрязнения почвы соединениями тяжелых металлов показывает, что рекультивация техногенно загрязненных земель является достаточно трудоемкой и требует значительных материальных затрат. Объем этих затрат пропорционален уровню загрязнения почвы. Наиболее трудоемким является восстановление нарушенного плодородия при критическом уровне загрязнения. Однако такие земли, как правило, расположены локально в непосредственной близости от источников загрязнения и пока занимают незначительные площади. Поэтому на современном этапе основное направление рекультивации земель должно осуществляться по профилактическому принципу. В связи с этим в системе профилактических мероприятий должное место должно быть отведено органическим удобрениям.

В Республике Беларусь основными загрязняющими токсикантами являются свинец, кадмий, а из биофильных – цинк и медь. С учетом этого в табл. 8.3 приведены мероприятия, которые рекомендуется проводить на землях, загрязненных этими токсикантами. Мероприятия сгруппированы в зависимости от уровня функционирования агроландшафта на нормальном, допустимом и критическом уровнях.

При этом рекомендуемые мероприятия на нормальном уровне носят профилактический характер, что является приоритетным направлением рекультивации.

**Таблица 3. Мероприятия по рекультивации земель, подверженных техногенному загрязнению тяжелыми металлами**

Уровни функционирования агроландшафта		
Нормальный	Допустимый	Критический
1	2	3
Содержание экотоксикантов в почве на уровне фона, а в растительной продукции не превышает ПДК	Содержание экотоксикантов в почве превышает фоновые значения, а в растительной продукции приблизилось к ПДК	Содержание экотоксикантов в почве значительно превышает фоновые значения, а в растительной продукции превышает ПДК
Хозяйственное использование земель		
Использование территории в системе адаптированных севооборотов	Использование для выращивания толерантных сортов и культур, технических культур, зерновых на семена и фураж. Возделывание многолетних трав	Выращивание технических культур, культур-фитомелиорантов с последующей утилизацией. Создание питомников для выращивания декоративных древесно-кустарниковых насаждений
Преимущественное загрязнение медью		
Снижение уровня воздействия источников загрязнения. Научно обоснованная система удобрений, направленная на повышение плодородия почв и урожайности культур. Регулирование водного режима почв. Нормы орошения, установленные для нормального уровня функционирования	Известкование почвы с доведением $pH_{KCl}$ до 6,25. Внесение навоза или компостов на его основе в дозе 50 т/га. Внесение соломы на фоне орошения стоками в дозе 5 т/га. Нормы орошения, установленные для допустимого уровня функционирования	Глубокая запашка верхнего горизонта почвы. Известкование почвы с доведением $pH_{KCl}$ до 6,5. Внесение навоза или компостов на его основе в дозе 100 т/га. Внесение соломы на фоне орошения стоками в дозе 8–10 т/га. Нормы орошения, установленные для критического уровня функционирования

<b>Преимущественное загрязнение цинком</b>		
Снижение уровня воздействия источников загрязнения. Научно обоснованная система удобрений, направленная на повышение плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур. Регулирование водного режима почв. Нормы орошения, установленные для нормального уровня функционирования	Известкование почвы с доведением $pH_{KCl}$ до 6,25. Внесение навоза или компостов на его основе в дозе 50 т/га. Внесение соломы на фоне орошения стоками в дозе 5 т/га. Нормы орошения, установленные для допустимого уровня функционирования	Глубокая запашка верхнего горизонта почвы. Известкование почвы с доведением $pH_{KCl}$ до 6,36. Внесение навоза или компостов на его основе в дозе 100 т/га. Внесение соломы на фоне орошения стоками в дозе 8 т/га. Нормы орошения, установленные для критического уровня функционирования
<b>Преимущественное загрязнение кадмием</b>		
Снижение уровня воздействия источников загрязнения. Научно обоснованная система удобрений, направленная на повышение плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур. Регулирование водного режима почв. Коэффициент удобрительного потенциала поливной воды – без ограничений. Нормы орошения, установленные для нормального уровня функционирования	Известкование почвы с доведением $pH_{KCl}$ до 6,25. Внесение навоза или компостов на его основе в дозе 50 т/га. Внесение соломы на фоне орошения стоками в дозе 6–8 т/га. Коэффициент удобрительного потенциала поливной воды – высокий ( $K_y > 20\%$ ). Нормы орошения, установленные для допустимого уровня функционирования. Внесение солей цинка	Глубокая запашка верхнего горизонта почвы. Известкование почвы с доведением $pH_{KCl}$ до 6,5. Внесение навоза или компостов на его основе в дозе 100 т/га. Внесение соломы на фоне орошения стоками в дозе 10 т/га. Коэффициент удобрительного потенциала поливной воды – высокий ( $K_y > 20\%$ ). Нормы орошения, установленные для критического уровня функционирования. Внесение солей цинка
<b>Преимущественное загрязнение свинцом</b>		
Снижение уровня воздействия источников загрязнения. Научно обоснованная система удобрений, направленная на повышение плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур. Регулирование водного режима почв. Нормы орошения, установленные для нормального уровня функционирования	Известкование почвы с доведением $pH_{KCl}$ до 6,25. Внесение навоза или компостов на его основе в дозе 50 т/га. Внесение соломы на фоне орошения стоками в дозе 6 т/га. Внесение сапропеля карбонатного в дозе 50 т/га. Нормы орошения, установленные для допустимого уровня функционирования	Глубокая запашка верхнего горизонта почвы. Известкование почвы с доведением $pH_{KCl}$ до 6,5. Внесение навоза или компостов на его основе в дозе 100 т/га. Внесение соломы на фоне орошения стоками в дозе 8 т/га. Внесение сапропеля карбонатного в дозе 100 т/га. Нормы орошения, установленные для критического уровня функционирования