

**Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

## **СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ**

Учебно-методическое пособие по практическим занятиям  
для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки  
35.03.03 «Агрохимия и агропочвоведение», 35.03.04 «Агрономия»

Калининград  
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»  
2021

УДК 631.95

РЕЦЕНЗЕНТ

д-р биол. наук, профессор, профессор-исследователь Института живых систем  
ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени И. Канта»

В.П. Дедков

**Сельскохозяйственная экология:** учеб.-методич. пособие по практ. занятиям для студ. вузов, обучающихся в бакалавриате по направлению подгот. 35.03.03 «Агрохимия и агропочвоведение», 35.03.04 «Агрономия» / составители: **О. М. Бедарева, Т. Н. Троян, Л. С. Мурачёва.** – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2021. – 59 с.

Учебно-методическое пособие предназначено для формирования у студентов способности к самостоятельному поиску и анализу информации по сельскохозяйственной экологии, а также получения практических навыков в области экологических расчётов и оптимизации экологических факторов и их роли в агропромышленном комплексе.

Табл. – 27, список лит. – 19 наименований.

Учебно-методическое пособие рассмотрено и одобрено кафедрой агропочвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 18.02.2021 г., протокол № 6

Учебно-методическое пособие рассмотрено и одобрено на заседании методической комиссии факультета биоресурсов и природопользования Калининградского государственного технического университета 01.03.2021 г., протокол № 5

УДК 631.95

© Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Калининградский  
государственный технический университет»,  
2021 г.

## Введение

Учебно-методическое пособие к практическим занятиям по дисциплине «сельскохозяйственная экология» предназначено для студентов, обучающихся в бакалавриате по направлениям подготовки 35.03.03 «Агрохимия и агропочвоведение», 35.03.04 «Агрономия». Оно подготовлено в соответствии с РПД.

В настоящем учебно-методическом пособии изложены теоретические, методические и практические аспекты современных технологий, решения агроэкологических проблем. Приводятся методы и примеры оценки состояния агроландшафтов. Излагаются экспертно-информационные системы и методы оценки интенсивности техногенных воздействий на окружающую среду и механизмы природопользования.

Учебно-методическое пособие способствует успешному усвоению и закреплению теоретического курса дисциплины, овладению знаниями в области экологических расчетов и оптимизации экологических факторов и их роли в агропромышленном комплексе. При составлении пособия использовано 19 литературных источников.

Пособие содержит сведения по семи практическим занятиям, рассчитанным на четырнадцать академических часов. По каждому занятию сформулированы цель, задание, предложены методические указания по выполнению заданий. Перед выполнением задания студент должен изучить материал теоретической части. В процессе работы анализируется теоретический материал, производится заполнение таблиц, выполняются вычислительные работы.

Выполнив задания, необходимо проанализировать полученные результаты, ответить на вопросы для самоконтроля, защитить выполненную на практическом занятии работу.

Практические занятия (семинары) (№ 6-7) проводятся в форме дискуссии с обязательным обсуждением вопросов самоконтроля. По результатам участия студента в обсуждении темы ставится оценка.

Защита результатов, полученных на практических занятиях, считается промежуточной аттестацией по дисциплине «Сельскохозяйственная экология».

**ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ И РЕСУРСНЫЕ ЦИКЛЫ****Цель**

Получение навыков в классификации и рациональном использовании природных ресурсов.

**Задание**

1. В табл. 1.1 произвести следующую выборку по природным зонам:
  - а) выявить территорию с максимальной облесенностью;
  - б) выбрать приоритеты по пашням и многолетним насаждениям;
  - в) выбрать приоритеты по кормовым угодьям;
  - г) определить направленность развития сельского хозяйства для каждой природной зоны.
2. Сгруппировать антропогенное воздействие и вызванный им почвенно-деградационный процесс, заполнив табл. 1.2.

Таблица – **Сравнительный анализ экологических последствий антропогенного изменения почв**

Антропогенное воздействие	Почвенно-деградационные процессы

Определить наиболее опасные побочные почвенно-экологические последствия. Спрогнозировать ситуацию.

3. Оценить степень экологического риска по областям РФ в плане потери почвенного плодородия. Отметить катастрофическое изменение почвенного плодородия и положительную динамику в конкретных регионах (табл. 1.3).

**Методические указания**

Для выполнения заданий необходимо проанализировать табл. 1.1-1.3 теоретической части работы. При анализе табл. 1.1 выявить степень облесенности, наличие природных кормовых угодий. Составить круговую диаграмму по природным зонам в зависимости от предлагаемых категорий (залесенность, пашня, кормовые угодья). Используя систему условных обозначений на диаграмме по природным зонам, показать процент участия категорий лесного фонда. Сделать вывод по приоритетным направлениям: лесоводство, растениеводство, природные кормовые угодья.

При анализе табл. 1.2 обратить внимание на побочные экологические последствия, вызванные антропогенным воздействием на почву; сделать акцент на предлагаемую терминологию, в частности, уметь дать определение, что такое маргинальный ландшафт, метаногенез, ацидификация.

Сгруппировать различные антропогенные воздействия в зависимости от сходных почвенно-деградационных процессов, которые ими вызваны.

## Теоретическая часть

*Природные ресурсы*, естественные ресурсы – часть всей совокупности природных условий и важнейших компонентов природной среды, которые используются либо могут быть использованы для удовлетворения разнообразных потребностей общества, поддержания условий существования человечества и повышения качества жизни.

**Земельные и почвенные ресурсы.** Россия располагает обширными земельным фондом в 1709,8 млн. га (табл. 1.1) [1].

Земельно-почвенные ресурсы нашей страны характеризуются крайне неблагоприятным состоянием, вызванным изъятием земель, нарушениями земельных площадей и почвенного покрова, вторичным засолением, эрозией и дефляцией, опустыниванием и заболачиванием, потерями гумуса, а также антропогенным загрязнением (табл. 1.2).

Более 57% сельхозугодий являются эрозийноопасными и эродированными. На ненарушенных территориях почвенный слой деградирует из-за выпадения загрязняющих веществ, которые деформируют сообщества почвенных организмов. В результате меняются структура почвы, состав веществ в ней, ухудшается способность минерализовать органические остатки и т. д.

При антропогенном воздействии в почвах сильно снизилась активность действия естественных природных механизмов, определяющих устойчивость и продуктивность экосистем, а также качество окружающей среды. Основные причины нарушения этих процессов: дегумификация, увеличение кислотности, нарушение гидрологического режима, переуплотнение почв и др.

С середины 60-х гг. содержание гумуса в почвах России уменьшилось в среднем на 0,4–0,6 % (по обобщенным данным Всероссийского проектно-технологического института органических удобрений) (табл. 1.3).

По данным ЦИНАО, количество пахотных земель, содержащих менее 2 % гумуса, составляет 23 % обследованной площади. В Нечерноземной зоне на почвы с содержанием гумуса ниже 2 % приходится около 50 %. Известно, что уменьшение содержания гумуса только на 0,1 % приводит к снижению урожая на 80–120 зерновых единиц с 1 га.

Для обеспечения в пахотном слое почв оптимального содержания питательных элементов и гумуса необходимо ежегодно вносить в целом по России не менее 16,5 млн. т минеральных удобрений, 50 млн. т мелиорантов и 600 млн. т органических удобрений. Фактически в 1993 г. внесли 4,8 млн. т минеральных удобрений и 231 млн. т органических, в 1996 г., соответственно, 1,6 и 88,1 млн. т.

Ухудшение состояния почвенного покрова создает условия для продуцирования микроорганизмами микотоксинов, что в перспективе может привести к непредсказуемым экологическим последствиям. Следовательно, необходимо решать задачи, направленные на сохранение гумуса в почве, оптимизацию кислотности почвенного раствора, предотвращение переуплотнения, регулирование окислительно-восстановительного потенциала [1].

Таблица 1.1

**Распределение земельных угодий по природным зонам Российской Федерации  
(государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1997 г.»)**

Природная зона	Площадь зоны		Структура почвенного покрова		Облесенность, %	Сельскохозяйственные угодья, % территории зоны		
	млн. га	%	Преобладающие типы почв	Площадь, млн. га		Всего	Пашня и многолетние насаждения	Кормовые угодья
Полярно-тундровая	197,8	11,6	Арктические и полярно-пустынные	2,5	–	0,03	–	–
			Тундрово-глеевые и тундрово-иллювиально-гумусовые	132,5				
			Болотные	17,5				
Лесотундрово-северотаежная	233,6	13,7	Глееподзолистые и подзолистые	119,0	37,7	0,5	–	–
			Иллювиально-гумусовые					
			Глеемерзлотно-таежные	82,5				
			Болотные	22,5				
Среднетаежная	222,8	13,0	Подзолистые	91,0	76,4	–	–	–
			Мерзлотно-таежные	80,5				
			Болотно-подзолистые	21,0				
			Болотные	20,5				
Южно-таежная	245,4	14,3	Дерново-подзолистые	157,5	57,6	17,3	10,4	6,9
			Буротаежные	27,0				
			Бурые лесные	10,5				
			Болотно-подзолистые	18,0				
			Болотные	24,0				

Окончание табл. 1.1

Природная зона	Площадь зоны		Структура почвенного покрова		Облесенность, %	Сельскохозяйственные угодья, % территории зоны		
	млн. га	%	Преобладающие типы почв	Площадь, млн. га		Всего	Пашня и многолетние насаждения	Кормовые угодья
Лесостепная	127,7	7,5	Серые лесные	41,0	27,5	57,2	40,6	16,6
			Черноземы оподзоленные	45,0				
			Выщелоченные и типичные лугово-черноземные	13,5 5,0				
			Болотные	52,0				
Степная	79,9	4,7	Черноземы обыкновенные и южные	11,5				
			Лугово-черноземные	11,0				
			Солонцы и солонцовые комплексы	3,5				
Сухостепная	22,2	1,3	Болотные	11,0	–	85,5	51,8	33,7
			Темно-каштановые и каштановые	10,5				
Полупустынная	14,7	0,9	Солонцы и солонцовые комплексы, солончаки	14,5	–	75,9	13,5	62,4

**Таблица 1.2****Экологические последствия антропогенных изменений почв**

Антропогенные воздействия	Почвенно-деградационные процессы	Побочные экологические последствия
Богарное земледелие на маргинальных* землях	Эрозия, дефляция, дегумификация	Потеря земельных ресурсов, запыление атмосферы, исчезновение местной флоры и фауны
Орошаемое земледелие в аридных и семиаридных условиях	Заболачивание, засоление, осолонцевание, метаногенез**	Потеря земельных ресурсов, истощение водных ресурсов, загрязнение поверхностных и подземных вод, «парниковый эффект»
Орошаемое земледелие в субгумидных условиях	Деструктуризация, слитизация, осолонцевание, метаногенез	Снижение биологической продуктивности, «парниковый эффект»
Несбалансированное применение химических удобрений	Ацидификация,*** химическое загрязнение почв, дегумификация	Загрязнение токсикантами, включая нитраты, природных вод и продовольственной продукции, загрязнение атмосферы оксидами углерода и азота, эвтрофирование водоемов, «парниковый эффект»
Применение биоцидов в земледелии	Химическое загрязнение почв	Загрязнение токсикантами природных вод и продовольственной продукции
Механизация земледелия	Переуплотнение почв, эрозия	Снижение биологической продуктивности
Пастбищное животноводство с превышением норм выпаса	Эрозия, дефляция, переуплотнение, дегумификация	Опустынивание, потеря земельных ресурсов
Интенсивное стойловое животноводство	Химическое загрязнение почв, метаногенез	Загрязнение токсикантами природных вод и сельскохозяйственных культур, эвтрофирование водоемов, «парниковый эффект»
Вырубка лесов на равнинах	Заболачивание, дегумификация, панциреобразование	Потеря земельных ресурсов, «парниковый эффект»
Вырубка лесов в горах	Эрозия	Потеря земельных ресурсов
Разработка нефтяных месторождений	Загрязнение почв нефтепродуктами	Потеря земельных ресурсов, «парниковый эффект»



Антропогенные воздействия	Почвенно-деградационные процессы	Побочные экологические последствия
Разработка месторождений полезных ископаемых	Физическое уничтожение или засыпание почв, химическое загрязнение почв тяжелыми металлами	Потеря земельных ресурсов, запыление атмосферы, загрязнение природных вод и продовольственной продукции тяжелыми металлами
Теплоэнергетика	Ацидификация, химическое загрязнение почв	Снижение биологической продуктивности, «парниковый эффект», загрязнение природных вод
Транспорт	Разрушение почв (особенно в тундрах и пустынях), химическое и нефтяное загрязнение	Загрязнение природных вод и продовольственной продукции токсикантами
Металлургия и металлообработка	Химическое загрязнение почв, ацидификация	Загрязнение природных вод и сельскохозяйственных культур тяжелыми металлами, «парниковый эффект»
Химическая промышленность	Химическое загрязнение почв, ацидификация	Загрязнение природных вод и продовольственной продукции токсикантами, «парниковый эффект»
Промышленность стройматериалов	Химическое загрязнение почв	Загрязнение природных вод и сельскохозяйственных культур токсикантами
Урбанизация	Химическое загрязнение почв	Загрязнение природных вод и продовольственной продукции токсикантами, потеря земельных ресурсов, «парниковый эффект»
Избыточное природопользование в тундрах	Физическое разрушение почв, дегумификация, метаногенез	Потеря земельных ресурсов, исчезновение местной флоры и фауны, «парниковый эффект»
Избыточное природопользование на аридных территориях	Комплексная деградация почв	Опустынивание, потеря земельных и водных ресурсов, исчезновение местной флоры и фауны, запыление

\*Маргинальный (от лат. *marginalis* – находящийся на краю) – находящийся между различными природными ландшафтами (например, полоса между полупустыней и пустыней)

\*\*Метаногенез – разложение растительных и животных остатков в условиях дефицита кислорода с выделением метана (CH<sub>4</sub>)

\*\*\*Ацидификация – увеличение кислотности

**Таблица 1.3****Динамика изменения содержания гумуса в пахотном слое почвы различных регионов страны**

Республика, край, область	Период между обследованиями, лет	Изменение содержания гумуса, т/га в год
Российская Федерация в целом	15. ..20	-0,6
Республика Удмуртия	15	-0,6. ..1,0
Республика, край, область	Период между обследованиями, лет	Изменение содержания гумуса, т/га в год
Республика Татарстан	30	-0,97
Алтайский край	20	-0,52
Краснодарский край	20	-1,5
Тверская область	15. ..25	-0,5
Рязанская область	15. ..25	-0,5
Тульская область	15. ..25	-0,7
Владимирская область	16 ..18	-0,4. ..0,5
Белгородская область	18. ..20	-0,6. ..1,4
Ленинградская область	13	+0,8
Самарская область	15. ..25	-0,6
Ростовская область	15. ..25	-0,7
Омская область	15. ..25	-0,7
Оренбургская область	12. ..20	-0,82
Новосибирская область	12. ..20	-0,68

Глубокий экономический кризис в России, охвативший и аграрный сектор экономики, в сочетании с явно выраженными проявлениями экологического неблагополучия угрожает необратимыми изменениями плодородия почв, ставя под серьезное сомнение возможность обеспечения продовольственной безопасности государства.

***Вопросы для самоконтроля***

1. Что такое природные ресурсы? Перечислите их основные отличительные признаки.
2. Какие климатические ресурсы вы знаете?
3. Что относится к естественным биологическим ресурсам?
4. Какова роль земельных и почвенных ресурсов?
5. Какие почвенно-деградационные процессы вам известны?
6. Дайте определение ресурсного цикла.

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ (АГРОЭКОСИСТЕМ)**

### **Цель**

Получение знаний, позволяющих чётко разграничивать понятия природных биogeоценозов и агроэкоcистем; выявить основные принципы работы обозначенных систем.

### **Задание**

Сравнить свойства биogeоценозов и агроценозов, влияющих на их стабильность, и вычислить соотношение надземной и подземной биомассы в природных зонах.

### **Методические указания**

1. Проанализировать табл. 2.1, 2.2. Выявить свойства биogeоценозов и агроценозов, влияющих на их стабильность. Сделать выводы, фиксирующие основные отличия биogeоценозов и агроэкоcистем.

2. Проанализировать биотические компоненты природных биogeоценозов разных климатических зон (табл. 2.3–2.7). Представить упрощенные варианты таблиц по природным зонам, включая в них растительный компонент полностью, микроорганизмы и в одну строку – всех животных с указанием их биомассы.

3. Сравнить надземную и подземную биомассу в каждой природной зоне (табл. 2.3–2.7). Вычислить их соотношение по формуле  $\Sigma M_{\text{надзем}} / \Sigma M_{\text{подзем}}$ . Заполнить таблицу по форме:

Таблица – Соотношение надземной и подземной биомассы в природных БГЦ

Название биogeоценоза	$\Sigma M_{\text{надзем}} / \Sigma M_{\text{подзем}}$

4. Сгруппировать биogeоценозы по преобладанию подземной биомассы.

5. Сравнить в естественных и сельскохозяйственных экосистемах:

- источники энергии,
- степень замкнутости циклов минеральных элементов,
- возможность оттока вещества,
- трофическую структуру,
- соотношение надземной и подземной фитомассы,
- роль разных частей растений в накоплении гумуса,
- роль животных в почвообразовании.

6. Сделать обобщающие выводы.

## Теоретическая часть

Экосистема включает (интегрирует) ряд обязательных компонентов, среди которых мы выделяем живые существа и неживую материю. Живые существа любой экосистемы – это *автотрофные* и *гетеротрофные организмы*. В полной мере это относится и к агроэкосистемам (табл. 2.1).

Автотрофные организмы, или *первичные продуценты*, – это в первую очередь культурные растения, возделываемые человеком, а также сорные растения – спутники культурных. Гетеротрофные организмы-фитофаги – это сельскохозяйственные животные, для которых человек выращивает растения, а также дикие виды животных, грибы и бактерии, потребляющие растительную пищу (в виде культурных и дикорастущих растений). Организмы-фитофаги, следовательно, выступают как *первичные консументы*, или *консументы первого порядка*.

Экологические ресурсы представлены космическими и земными. Космические ресурсы – это свет и тепло, их источником служит Солнце. Земные экологические факторы – это газовая среда (кислород, азот, углекислый газ и пр.), вода и другие соединения биогенных химических элементов (азота, фосфора, калия, магния и др.) [1, 2].

*Консументами второго порядка* в агроэкосистемах становятся хищные и паразитические виды, питающиеся фитофагами. Так в агроэкосистеме возникают *пищевые цепи*, например: *картофель – колорадский жук – серая куропатка – крупные хищные птицы*.

Остатками мертвых растений и животных питаются многочисленные обитатели почвы – мелкие беспозвоночные животные (копрофаги, детритофаги), например, *красный калифорнийский червь*, а также микроорганизмы-сапротрофы (грибы и бактерии). Благодаря микроорганизмам происходит минерализация органических веществ, в результате которой биогенные химические элементы попадают из «царства» органических соединений в «царство» минеральных. Следовательно, в экосистемах микроорганизмы являются *редуцентами*, или *биологическими деструкторами*.

Итак, продуценты, консументы и редуценты в совокупности составляют *живое население*, или *биоту* экосистемы.

В свою очередь, организмы – это открытые биологические системы, которые нуждаются в неживых (абиотических) *экологических ресурсах* (*экологических факторах*). Абиотические факторы также являются обязательным компонентом любой экосистемы.

В потреблении этих ресурсов исключительная роль принадлежит *почве* – особому природному телу, сочетающему в себе признаки живой и неживой (костной) материи.

Таблица 2.1

## Важнейшие свойства природных экосистем и агроэкосистем

№ № п/п	Природные экосистемы	Агроэкосистемы
1	Видовой состав растений определяется географическими и почвенно-климатическими факторами	Состав растительности формирует человек
2	Многовидовые по составу населяющей их биоты	Видовой состав биоты существенно обеднен
3	Конкуренция никогда не приводит к <i>полному</i> вытеснению доминирующим видом менее конкурентоспособного вида	<i>Полное</i> вытеснение большого числа видов на фоне доминирования немногих, связанных пищевыми цепями с культурными растениями
4	Величина популяции вида ограничивается экологическими ресурсами и регулируется различными формами внутривидовых и межвидовых отношений	Величина популяции отдельных видов определяется в первую очередь продуктивностью культурного растения и агротехникой его возделывания
5	Сложная система регулирования структуры поддерживается соотношением между продуцентами, консументами и редуцентами	Связи между продуцентами, консументами и редуцентами сильно нарушены, регуляторные функции берет на себя человек
6	Высокая синхронность в активности растений и почвенных микроорганизмов, придающая экосистеме устойчивость	Некоторая синхронность в деятельности растений и микроорганизмов наблюдается лишь в многолетних экосистемах (луга, пастбища) и отсутствует в однолетних (пашня)
7	Растения накапливают значительную часть питательных веществ для последующей реутилизации. Это предотвращает потери биогенных химических элементов	Биогенные химические элементы в основном извлекаются с урожаем, а компенсацию их потерь посредством внесения удобрений осуществляет человек
8	Растительный покров и подстилка снижают температуру почвы в период наибольшей биологической активности. Это сокращает потери влаги из-за снижения испарения, а также аккумуляцию биогенных элементов микроорганизмами почвы	Подстилка отсутствует, а динамика температуры и влажности почвы зависит от биологии возделываемой культуры и ее агротехники. Удаление растительного покрова и подстилки приводит к нарушению водного и температурного баланса почвы

№ п/п	Природные экосистемы	<i>Агроэкосистемы</i>
9	Многоярусность расположения корневых систем отражает распределение воды в почве. Поэтому почвенная влага используется в максимальной степени, а питательные вещества защищены от вымывания	Многоярусность корневых систем в однолетних фитоценозах отсутствует, в отдельные периоды избыток почвенной влаги приводит к вымыванию питательных веществ и развитию почвенной эрозии
10	Травянистый растительный покров (живой или отмерший) ослабляет эродирующую силу дождя, текучей воды, ветра, способствуя накоплению органических и минеральных веществ	Систематическое удаление или уменьшение растительного покрова усиливает водную и ветровую эрозию почвы и снижает ее способность накапливать питательные вещества
11	В отсутствии травянистого покрова на поверхности почвы образуется слой глинистых агрегатов и водорослей или лесная подстилка из опада, которые успешно противостоят водной и ветровой эрозии	При отсутствии возделываемых растений почва не защищена от эрозии, потери питательных веществ происходят из-за их вымывания и выветривания, а потери воды – вследствие стока и испарения

**Таблица 2.2 Сравнительная оценка природных и сельскохозяйственных экосистем\***

Показатель	Естественная экосистема		Сельскохозяйственная экосистема		
	лес	луг	многолетние травы	однолетние культуры	животноводческая ферма
1	2	3	4	5	6
Источник энергии для работы экосистемы	Только за счет солнечной энергии, фиксируемой при фотосинтезе	За счет солнечной энергии и при умеренных энергетических субсидиях в форме удобрений	За счет солнечной энергии и при различном вкладе энергетических субсидий (подготовка почвы к посеву, уход за дерниной, удобрение)	За счет солнечной энергии и при высоких энергетических субсидиях, особенно при интенсивной системе растениеводства	За счет энергетических субсидий (фитомассы, отчасти зоомассы, поставляемой из других БГЦ для кормления животных, топливных материалов для подогревания помещений, электричества, используемого для поддержания оптимального микроклимата, функционирования механизмов)
Степень замкнутости циклов минеральных элементов	Высокая, практически все элементы циркулируют по замкнутому циклу. Возможна некоторая потеря за счет вывоза древесины, заготовки растительного сырья, охоты	Достаточно высокая, хотя доля выносимых с урожаем элементов, особенно при сенокосном использовании, возрастает	Невысокая, отток с урожаем элементов питания значителен	Низкая, вынос веществ из экосистемы очень значителен	Круговорот веществ разомкнут, все вещество вводится в БГЦ, а затем все выносится
Возможность оттока вещества из экосистемных связей	Низкая, но может возрастать при нарушении целостности почвенного покрова (выпас на склонах)	Низкая, но может возрастать при нарушении целостности почвенного покрова (выпас на склонах)	Умеренная, но может возрастать при разовом применении высоких доз удобрений	Высокая, выносятся до 50% вносимых удобрений, теряются гумус и минеральные удобрения вследствие эрозии, вымываются пестициды	Очень высокая. Удаление навоза из системы производит человек

1	2	3	4	5	6
Трофическая структура	Блок гетеротрофных компонентов состоит из естественных консументов и редуцентов и составляет около 0,1% биомассы	Основным консументом являются домашние животные. Их масса может быть более 10% общей биомассы, что приводит к деградации экосистемы		Блок гетеротрофных организмов в надземной части экосистем представлен насекомыми, дающими периодические вспышки численности, основными потребителями фитомассы являются человек или домашний скот. В подземной части биомасса гетеротрофов значительна, но не выше 7% биомассы	Блок автотрофных организмов отсутствует. Гетеротрофы представлены домашними животными, их «сожирателями» и «нахлебниками»
Соотношение фитомассы надземной и подземной частей	1 : 2	1 : 3 – 1 : 10	1 : 3	1 : 1 – 1 : 0,1	0 : 0
Роль разных частей растений в накоплении гумуса	Надземные и подземные части участвуют в равной мере	Формирование гумуса происходит в основном за счет корней и растительных остатков			Хлевная микрофлора участия в накоплении гумуса не принимает
Роль животных в почвообразовании	Значительная	Значительная	Менее значительная	Малая	Отсутствует

\*С небольшими дополнениями из учебного пособия Б.М. Миркина, Ю.А. Злобина «Агрофитоценология с основами агроэкологии» (Уфа, 1990).



Таблица 2.3

**Масса основных биотических компонентов  
в тундровых экосистемах, г/м<sup>2</sup> (сухая масса) [3]**

Компоненты	Полярная пустыня	Тундра арктическая	Тундра типичная	Лесотундра
<b>Растительность:</b>				
зеленые части	6	100	320	430
многолетние надземные части	–	50	170	230
мхи и лишайники	123	144	480	600
корни	30	350	2300	2900
подстилка	60	63	510	400
мертвые корни	101	310	5000	6000
<b>Микроорганизмы</b>	0,6	5	25	20
<b>Животные:</b>				
нематоды	0,01	-	0,18	-
энхитреиды	0,01	0,09	2,00	1,00
дождевые черви	–	0,04	0,03	2,00
клещи	0,01	0,015	0,12	0,8
пауки	–	0,025	0,05	0,05
многоножки	–	-	0,03	0,02
коллемболы	0,01	0,11	0,25	0,3
полужесткокрылые	–	-	0,1	0,1
жесткокрылые	–	0,01	0,1	0,2
чешуекрылые	–	-	0,1	0,3
двукрылые	0,01	0,1	0,4	0,4
перепончатокрылые	–	-	0,02	0,2
позвоночные	0,001	0,01	0,02	0,05
<b>Все животные</b>	0,051	0,39	3,67	5,42

Таблица 2.4

**Масса основных биотических компонентов  
в лесных экосистемах, г/м<sup>2</sup> (сухая масса) [3]**

Компоненты	Леса		
	хвойные	смешанные	широколиственные
<b>Растения:</b>			
<i>деревья и кустарники</i>			
зеленые части	2000	1400	1000
древесина	10000	13000	15000
корни	1500	3200	4000
<i>травянистые растения</i>			
надземные части	5	10	35
корни	10	18	60
подстилка	3200	1320	1500
<b>Микроорганизмы</b>	250	200	120
<b>Водоросли</b>	5	-	6
<b>Мхи и лишайники</b>	250	19	-

Компоненты	Леса		
	хвойные	смешанные	широколиственные
<b>Животные:</b>			
простейшие	0,1	0,2	0,5
нематоды	0,12	0,2	1,0
энхитреиды	1,10	1,0	0,5
дождевые черви	2,00	4,0	12,0
моллюски	0,01	0,03	0,55
клещи	2,00	0,5	0,5
пауки	0,12	0,12	0,1
мокрицы	0,003	0,005	0,01
диплоподы	0,001	0,10	0,5
литобииды	0,2	0,2	0,15
геофилиды	0,05	0,05	–
коллемболы	0,1	0,40	0,2
жесткокрылые	0,1	0,40	0,5
чешуекрылые	0,05	0,07	0,5
перепончатокрылые	0,1	0,05	1,01
муравьи	0,5	0,15	0,09
двукрылые	0,2	0,25	0,5
позвоночные	0,08	0,16	0,3
<b>Все животные</b>	<b>6,8</b>	<b>8,1</b>	<b>18,4</b>

Таблица 2.5

**Масса основных биотических компонентов  
травянистых систем, г/м<sup>2</sup> (сухая масса) [3]**

Компоненты	Луга	Степи	
		настоящие	сухие
<b>Травянистые растения:</b>			
надземная часть	400	390	190
корни	2500	1600	1700
подстилка	130	400	200
<b>Водоросли</b>	20	5	2
<b>Мхи</b>	50	-	-
<b>Микроорганизмы</b>	200	50	30
<b>Животные:</b>			
простейшие	0,01	0,02	0,5
нематоды	0,5	0,8	0,5
энхитреиды	0,5	0,1	-
дождевые черви	10	2	-
моллюски	0,2	-	0,8
мокрицы	0,04	-	-
клещи	0,35	0,2	0,1

Компоненты	Луга	Степи	
		настоящие	сухие
пауки	0,03	0,02	0,01
диплоподы	0,03	0,05	0,01
губоногие многоножки	0,02	0,01	0,01
коллемболы	0,15	0,2	0,1
жесткокрылые	2	1	0,7
прямокрылые	0,1	0,5	0,2
муравьи	0,3	0,2	0,2
двукрылые	0,4	0,02	0,03
позвоночные	0,2	0,2	0,1
<b>Все животные</b>	<b>14,8</b>	<b>5,3</b>	<b>3,3</b>

Таблица 2.6

**Масса основных биотических компонентов в полупустынных и пустынных экосистемах, г/м<sup>2</sup> (сухая масса) [3]**

Компоненты	Полупустыни	Пустыни
<b>Растения:</b>		
зеленые части	120	80
многолетние надземные части	200	120
корни	1100	870
мертвые растения	200	45
подстилка	5	90
мертвые корни	400	150
<b>Мхи и лишайники</b>	–	30
<b>Водоросли</b>	–	5
<b>Микроорганизмы</b>	–	30
<b>Животные:</b>		
простейшие	0,05	0,001
нематоды	0,075	0,025
энхитреиды	0,015	-
мокрицы	0,03	0,015
клещи	0,06	0,025
пауки	0,003	0,004
диплоподы	0,001	0,001
губоногие многоножки	0,001	0,001
коллемболы	0,02	0,01
полужесткокрылые	0,3	0,2
тараканы	0,1	0,5
прямокрылые	0,2	0,2
жесткокрылые	0,5	0,25
муравьи	0,07	0,05
двукрылые	0,01	0,01
позвоночные	0,1	0,05
<b>Все животные</b>	<b>1,4</b>	<b>12</b>

**Таблица 2.7**

**Масса основных биотических компонентов в тропических экосистемах, г/м<sup>2</sup> (сухая масса) [3]**

Компоненты	Саванны	Тропические леса
<b>Растения:</b>		
листья	800	2700
многолетние надземные части	1400	34200
травостой	200	-
корни	400	8100
подстилка	-	-
<b>Микроорганизмы</b>	150	165
<b>Животные:</b>		
простейшие	0,02	0,45
нематоды	0,04	0,12
энхитреиды	0,02	-
дождевые черви	4	7,1
моллюски	0,01	0,01
мокрицы	-	0,1
амфиподы	-	0,1
клещи	0,05	0,15
пауки	0,15	0,2
диплоподы	0,1	0,8
губоногие многоножки	0,01	0,05
коллемболы	0,01	0,15
термиты	4	3
тараканы	0,01	0,07
полужесткокрылые	0,02	0,02
прямокрылые	0,05	-
жесткокрылые	0,14	0,45
муравьи	0,5	0,03
двукрылые	0,01	0,2
позвоночные	0,2	0,001
<b>Все животные</b>	9,4	12,9

Наука экология знает несколько принципов существования (принципиальных свойств) природных наземных экосистем, благодаря которым они способны продуцировать, сохранять и накапливать питательные вещества, повышать потенциальное плодородие и поддерживать себя в динамическом равновесии [1, 3].

**Вопросы для самоконтроля**

1. Дайте определение *автотрофным* и *гетеротрофным* организмам».
2. Какие организмы относятся к первичным продуцентам?
3. Какие организмы относятся к консументам первого и второго порядков?
4. Какие организмы относятся к редуцентам?
5. Что составляет биоту экосистем?
6. Что входит в экологические ресурсы?

## **ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ АГРОХИМИЧЕСКИМИ ВЕЩЕСТВАМИ**

### **Цель**

Освоить методику расчета приращения поступления тяжелых металлов в почву за счет возрастания доз внесения минеральных удобрений.

### **Задание**

Используя табличный материал теоретической части практического занятия, определите приращение поступления тяжелых металлов в почву за счет возрастания доз внесения минеральных удобрений. Исходные данные приведены в табл. 3.2–3.5.

### **Методические указания**

Отнесите тяжелые металлы из табл. 3.2 к классам токсичности согласно табл. 3.3. Для каждого тяжелого металла в пределах класса составьте ранжированный ряд удобрений и мелиорантов по содержанию в них тяжелых металлов, указав в скобках вклад (в %) агрохимикатов в накоплении конкретного металла.

1. Определите удобрения и мелиоранты (табл. 3.2), которые создают наибольшую угрозу в накоплении тяжелых металлов первых двух классов токсичности, указанных в табл. 3.3.

2. Определите по табл. 3.4, к каким изменениям в способности растений накапливать тяжелые металлы приводит повышение кислотности почв, что наблюдается в результате внесения минеральных удобрений?

3. Для каких тяжелых металлов из табл. 3.4 равная степень увеличения кислотности приводит к наибольшему снижению норматива ПДК в почве? Как выявленные особенности связаны со средними скоростями накопления потенциально токсичных элементов в почве?

4. По данным табл. 3.5 установите, насколько увеличивается поступление свинца, меди, цинка, кадмия и ртути в почву при возрастании внесения минеральных удобрений с 30 до 180 кг/га при условии, что N:P<sub>2</sub>O:K<sub>2</sub>O = 1:0.8:0.6?

5. Как изменяются фоновые значения содержания тяжелых металлов в почве (табл. 3.5) через  $T$  лет при условии сохранения полученных оценок в их накоплении? Для этого необходимо:

а) рассчитать вес пахотного слоя почвы ( $J_n$ , т/га)

$$J_n = 10^4 \cdot z \cdot d, \quad (3.1)$$

где  $z$  – мощность пахотного горизонта, м ( $z = 0,2$  м);  $d$  – плотность сложения почвы, г/см<sup>3</sup> ( $d = 14.2$  г/см<sup>3</sup>);

б) вычислить фоновое содержание тяжелых металлов в почве ( $\phi_{TM}$ , кг/га)

$$\phi_{TM} = 10^{-6} \cdot J_n \cdot C_{TM}, \quad (3.2)$$

где  $C_{TM}$  – содержание тяжелых металлов (мг/т) в минеральных удобрениях (табл. 3.5);

в) перевести по каждому тяжелому металлу сумму ( $\Phi_{TM} + T \cdot \Delta C_{TM}$ ) в мг/кг по соотношению

$$\Phi_{TM} + T \cdot \Delta C_{TM} / J_n \cdot 10^{-3}, \quad (3.3)$$

где  $\Delta C_{TM}$  – приращение поступления тяжелых металлов в почву за счет возрастания доз внесения минеральных удобрений (кг/га);  $T$  – число прогнозируемых лет [4].

6. На основании анализа скоростей аккумуляции тяжелых металлов в почве при внесении минеральных удобрений и сравнения полученных прогнозных оценок с ПДК следует установить, контроль за какими тяжелыми металлами в почве является приоритетным?

### Теоретическая часть

Применение органических и минеральных удобрений – важное условие повышения урожайности культур. Азотные минеральные удобрения выпускают и используют в твердом и жидком видах. По форме азота **твердые азотные удобрения подразделяют** на:

- *аммонийные* ( $NH_4$ ): сульфат аммония, хлорид аммония;
- *аммонийно–нитратные* ( $NH_4NO_3$ ): аммиачная селитра, сульфат-нитрат аммония;
- *нитратные* ( $NO_3$ ): натриевая селитра, кальциевая селитра;
- *амидные* ( $NH_2$ ): карбамид (мочевина), цианамид кальция.

Из **жидких азотных удобрений** применяют аммиачные ( $NH_3$ ), в которых азот находится в виде водного и безводного аммиака. Фосфорные удобрения представлены суперфосфатом и двойным суперфосфатом, а также сложными соединениями: аммофос, диаммофос, нитроаммофоска, карбоаммофоска. К калийным удобрениям относят хлорид калия, сульфат калия, природные калийные соли (сильвинит). Сырье для получения минеральных удобрений (фосфориты, апатиты, калийные соли), как правило, содержит большое количество токсичных примесей. Серьезную опасность представляют тяжелые металлы, которые в удобрениях составляют значительные количества (табл. 3.1–3.5) [4].

**Таблица 3.1**

#### Сельскохозяйственные источники загрязнения почв тяжелыми металлами, мг/кг сухой массы

Элемент	Сточные воды	Известняки	Удобрения				Пестициды
			фосфорные	азотные	калийные	органические	
Cd	2–1500	0,04–0,1	0,1–170	0,05–8,5	0,–1	0,3–0,8	–
Co	2–260	0,4–3	1–12	5,4–12	–	0,3–24	–
Cr	20–40600	10,15	56–245	3,2–19	0,25	5,2–55	–

Элемент	Сточные воды	Известняки	Удобрения				Пестициды
			фосфорные	азотные	калийные	органические	
Cu	50–3300	2,125	1–300	1–15	–	2–60	12–50
Hg	0,1–55	0,05	0,01–1,2	0,3–29	0,075	0,09–0,2	0,8–42
Mn	60–3900	40–1200	40–2000	–	–	30–550	–
Ni	16–5300	10–20	7–38	7–34	–	7,8–30	–
Pd	50–3000	20–1250	7–225	2–27	4–12	6,6–15	60
Sr	40–360	610	25–500	–	–	80	–
Zn	90–49000	10–450	50–1450	1–42	–	15–250	1,3–25
F	2–740	300	8500–38000	–	–	7	18–45

В суперфосфате содержится (мг/кг): Co (1–9), Ni (7–32), Cu (4–79), Pb (7–92), Cd (50–170), Zn (50–1430), Cr (66–243), As (1.2–2.2), W (20–180). В фосфогипсе присутствует до 2 % стронция и около 0,5 % фтора. В фосфорных удобрениях содержатся токсичные соединения фтора. Калийные удобрения содержат балластные элементы (Cl, Na), которые, накапливаясь, могут снижать плодородие почв. В сапропеле содержание кадмия составляет 50–100 мг/кг сухой массы почвы.

Активные загрязнители – сточные воды, содержащие в больших количествах хром, цинк, никель, марганец.

Таблица 3.2

**Содержание тяжелых металлов  
в удобрениях и мелиорантах, мг/кг (Попов В.В., 1991)**

Удобрения и мелиоранты	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni
Мочевина	2	6	0,8	1,3	0,25	7,5
Суперфосфат простой (гранулированный)	210	19	14,3	42,5	3,5	24,8
Хлористый калий	15	12,3	4,5	12,5	4,25	19,3
Перегной (зольность 19,5 %)	276	121,7	19,8	9,3	0,2	6,6
Известь	295	21	5,8	37,8	5,5	30

Негативное воздействие тяжелых металлов увеличивается в ряду: Zn-Ni-Cr-Co-Cu-Pb-Hg. Установлено, что на почвах, загрязненных тяжелыми металлами, наблюдается снижение урожайности: зерновых на 20–30 %, сахарной свеклы на 35, картофеля на 47 и бобовых на 40 %.

Физиологически кислые минеральные удобрения подкисляют почву, тем самым мобилизуют и токсичные элементы, переводя их из недоступной в доступную форму для растений.

**Таблица 3.3****Влияние химических веществ на состояние окружающей среды**

Показатель	Нормы для классов токсичности		
	1-й класс	2-й класс	3-й класс
	кадмий, свинец, цинк, ртуть, таллий, мышьяк, фтор, селен	кобальт, никель, медь, хром, бор, молибден, сурьма	марганец, барий, висмут, ванадий, вольфрам, стронций
Токсичность	Менее 200	200–1000	Более 1000
Персистентность в почве, месяцы	Более 12	6–12	Менее 6
Миграция	Мигрирует	Слабо мигрирует	Не мигрирует
Персистентность в растениях, месяцы	Более или равно 3	1–3	Менее 1
Влияние на пищевую ценность сельскохозяйственной продукции	Сильное	Умеренное	Нет

*Примечание.* Персистентность – это степень устойчивости вещества к процессу разложения

Возможны следующие позитивные и негативные действия агрохимических средств на почву:

- Подкисление и подщелачивание почвенного раствора;
- Усиление или ослабление физико-химического и химического поглощения катионов и анионов;
- Изменение концентрации ионов в почвенном растворе;
- Изменение подвижности тяжелых металлов и других токсичных химических элементов;
- Усиление минерализации органического вещества;
- Усиление гумификации;
- Изменение биологической фиксации молекулярного азота клубеньковыми и свободно живущими бактериями;
- Изменение биологической и ферментативной активности почвы;
- Возникновение антагонизма питательных элементов, что сказывается на их поступлении в растения;
- Накопление токсичных элементов и соединений в растениях в количествах, превышающих ПДК, и снижение качества продукции;
- Усиление миграции элементов питания и увеличение их потерь в окружающую среду.

Пути снижения экологической напряженности состоят в выполнении следующих мероприятий:

- Улучшение химического состава минеральных удобрений за счет совершенствования технологий их производства; удобрения и средства защиты растений должны быть экологически безопасными;



- Применение оперативных методов определения потребности культур в элементах питания с учетом местных условий и повышение коэффициента использования азота, фосфора и калия почвы и удобрений растениями;
- Соблюдение научной технологии использования удобрений с учетом оптимизации корневого питания;
- Применение комплекса мероприятий для закрепления минерального азота в органической форме «иммобилизация»; повышение уровня использования биологического азота.

**Таблица 3.4**

**ПДК потенциально токсичных элементов в почве после применения осадка сточных вод и максимальные ежегодные скорости их накопления**

Потенциально токсичные элементы	ПДК потенциально токсичных элементов в почве (мг/кг) при pH:				Средние скорости накопления потенциально токсичных элементов за 10 лет, кг/га в год
	5–5,5	5,6–6	6,1–7	Более 7	
Цинк	200	250	300	450	15
Медь	80	100	135	200	7,5
Никель	50	60	75	110	3

**Таблица 3.5**

**Содержание тяжелых металлов (мг/т) в минеральных удобрениях и ПДК тяжелых металлов в почве**

Тяжелые металлы	Стм (мг/т) в удобрениях			ПДК, мг\кг
	азотных	фосфорных	калийных	
Свинец	174,4	138,1	196,5	6
Медь	20,1	1555,1	186,4	3
Цинк	186,4	1230,15	182	23
Кадмий	1,3	2,65	0,6	1
Ртуть	0,43	4,6	0,7	2,1

Следует шире применять бактериальные удобрения, что позволит сократить объемы внесения в почву промышленных туков и таким образом заметно снизить химический пресс на окружающую среду [4].

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. На какие формы делятся твердые азотные удобрения?
2. Какие удобрения относятся к жидким азотным удобрениям?
3. Какими соединениями могут быть представлены фосфорные и калийные удобрения?

4. Что такое тяжелые металлы и чем они опасны?
5. Какие вещества относятся к тяжелым металлам?
6. Содержатся ли тяжелые металлы в удобрениях? Пример.
7. Перечислите негативные действия агрохимических средств на почву.
8. Какие вам известны пути снижения экологической напряженности в агроэкосистемах?

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПАХОТНЫХ ПОЧВ ПЕСТИЦИДАМИ

### Цель

Научиться определять класс опасности загрязнения почвы пестицидами на примере темно-серой лесной почвы при возделывании сахарной свеклы.

### Задание

Используя материал теоретической части практического занятия, определите класс опасности загрязнения темно-серой лесной почвы пестицидами при возделывании сахарной свеклы Льговская-52.

Исходные данные см. в табл. 4.2. Параметр  $u = 0,6$ .

### Методические указания

1. По формуле (4.2) устанавливаем степень опасности пестицида ( $C_n$ ). При этом значения класса опасности пестицида для человека ( $K_ч$ ) находим по табл. 4.1 в графе 2, а для природы ( $K_п$ ) в графе 3.

2. Используя формулу (4.3) и данные табл. 4.2 (графа 6), вычисляем средневзвешенную степень опасности для 1-го варианта (площадь сахарной свеклы 180 га) и отдельно для 2-го варианта (площадь сахарной свеклы 10 га).

3. Масса каждого внесенного пестицида ( $m_1, m_2, \dots, m_i$ ) находится перемножением площади посева на расход пестицида (табл. 4.2, графа 5), а общая масса пестицидов ( $\sum mi$ ) по вариантам устанавливается путем суммирования инсектицидов, фунгицидов и гербицидов. В итоге получаем  $\sum mi = 16048,8$  кг (1-й вариант);  $\sum mi = 944,2$  кг (2-й вариант).

4. Значение средневзвешенной степени опасности ассортимента пестицидов ( $C_{cp}$ ) определяем по формуле (4.3): для 1-го варианта  $C_{cp} = 4,21$ ; для 2-го варианта  $C_{cp} = 5,35$ .

5. Экотоксикологическую дозу ( $D_n$ , кг/га) вычисляют по формуле (4.4), она равна 89,2 кг/га (1-й вариант) и 5,24 кг/га (2-й вариант).

6. Прогноз загрязнения почвы пестицидами вычисляем по формуле (4.5):

$$P_3 = 89,2 / (4,21 \cdot 0,6) = 35,2 \text{ усл.кг/га (1-й вариант);}$$

$$P_3 = 5,24 / (5,35 \cdot 0,6) = 1,6 \text{ усл.кг/га (2-й вариант).}$$

Агроэкотоксикологический индекс ( $A_u$ ), вычисленный по формуле (4.6), составляет 9,7 (1-й вариант) и 0,06 (2-й вариант). Сравнивая полученные индексы с их нормативными значениями, приходим к выводу, что 1-й вариант химической защиты сахарной свеклы высокоопасен ( $A_u > 7$ ), а второй вариант экологически малоопасен ( $A_u < 1$ ) [4].

## Теоретическая часть

*Современные пестициды* – это хлорорганические пестициды (галоидо-производные полициклических и ароматических углеводов, углеводов алифатического ряда); фосфорорганические (сложные эфиры фосфорных кислот, производные карбаминовой, тио- и дитиокарбаминовой кислот) и азотсодержащие пестициды (производные мочевины, гуанина, фенола). Пестициды делятся на инсектициды, предназначенные для уничтожения вредных насекомых; фунгициды, служащие для борьбы с фитопатогенными грибами; гербициды, позволяющие уничтожать сорняки; родентициды, употребляемые против грызунов, токсичные для червей из класса нематод.

Пестициды классифицируются по составу и химическим свойствам, способностям к биоаккумуляции, устойчивости к разложению, токсичности. Современная шкала экотоксикологической оценки пестицидов включает критерии:

- *токсиколого-гигиенические* (оценка по нормативам воздействия на органолептические свойства, летучесть, токсичность для животных и человека, способность к кумуляции их в организме);
- *эколого-агрехимические* (персистентность в почве, миграция по почвенному профилю, транслокация в растения, фитотоксическое действие через почву, реакция на действие инсоляции);
- *экотоксикологические* (коэффициент избирательности действия) (Лозановская И.Н и др., 1998).

Для экологической оценки пестицидов используют  $ВДК_n$  – *временную допустимую концентрацию пестицидов* в продуктах питания (мг/кг), которая определяется по формуле:

$$ВДК_n = 1,3ЛД_{50} + 0,76, \quad (4.1)$$

где  $ЛД_{50}$  – летальная доза пестицида (мг/кг), вызывающая при введении в организм гибель 50 % особей.  $ВДК_n$  устанавливают на основе экспериментальных данных о токсичности и характере действия пестицида на организм. Эти данные получают, вводя изучаемый пестицид в организм (белых мышей, крыс) путем вдыхания, введения в желудок, нанесения на кожу. В полевых условиях отбор образцов почвы, воды, растительного сырья на содержание пестицидов должен осуществляться в соответствии с требованиями руководства (Методы определения макроколичеств пестицидов в продуктах питания, кормах и внешней среде, 1983), а их анализ на содержание остаточных количеств – производиться с использованием газожидкостной или жидкостной хроматографии (Определение пестицидов в сельскохозяйственных культурах, почвах и воде, 1995) [4, 5].

Степень опасности пестицидов  $C_n$ , (баллы) устанавливается по выражению

$$C_n = (K_q + K_n) - 1, \quad (4.2)$$

где  $K_q$  – класс опасности пестицида для человека в баллах (табл. 4.1, графа 2);  $K_n$  – класс опасности для природы в баллах (табл. 4.1, графа 3).

**Таблица 4.1****Класс опасности некоторых пестицидов (в баллах)**

Пестициды	Класс опасности для		Пестициды	Класс опасности для	
	человека, К <sub>ч</sub>	окружающей среды К <sub>п</sub>		человека, К <sub>ч</sub>	окружающей среды, К <sub>п</sub>
Антио, 25 % КЭ	2	4	Би 58, 40 % КЭ	2	4
ГХЦГ, 12 % дуст	2	2	Карата, 5 % КЭ	2	2
Золон, 35 % КЭ	2	3	Фастак, 10 % КЭ	2	2
ПХК, 50 % КЭ	2	1	Фурадан, 35 % ТП	1	2
Хлорофос, 80 % СП	2	3	ТМТД, 80 % СП	2	2
Гранозан, 2 % дуст	1	1	Арцерид, 60 % СП	3	3
Бордоская жидкость, 1 % С	2	3	Скор, 25 %	4	4
Сера коллоидная, 80 % СП	4	4	Бетанал АМ, 82 % ВГ	3	3
Бетанал, 16 % КЭ	3	3	Лонтрей, 30 % ВР	4	4
ТХА, 90 % РП	3	3	Фюзилад С, 12,5 % КЭ	4	4
Эптан, 72 % КЭ	3	3	ЦИНЕБ, 80 % СП	2	2

**Таблица 4.2****Химические средства защиты растений при возделывании сахарной свеклы**

Химические вещества	Препаратная форма	Расход пестицида, кг/га	Кратность обработки	Химических средств, кг/га	Общая масса пестицидов, кг
<b>1-й вариант (F = 180 га)</b>					
<b>Инсектициды</b>					
Антио	25% КЭ	1,6	1	1,6	288
ГЦХГ	12% дуст	20	1	20	3600
Золон	35% КЭ	3,5	1	3,5	630
ПХК	50% КЭ	3	2	6	1080
Хлорофос	80% СП	2	2	4	720
<b>Фунгициды</b>					
Гранозан	2% дуст	0,06	1	0,06	10,8
Бордоская жидкость	1% С	8	1	8	1440
Сера коллоидная	90% СП	6	1	6	1080
Цинеб	80% СП	4	1	4	720
<b>Гербициды</b>					
Бетанал	16% КЭ	8	1	8	1440
ГХА	90% РП	20	1	20	3600

Химические вещества	Препаратная форма	Расход пестицида, кг/га	Кратность обработки	Химических средств, кг/га	Общая масса пестицидов, кг
Эптам	72% КЭ	5	1	8	1440
Итого					16 048,8
<b>2-й вариант (F = 180 га)</b>					
<b>Инсектициды</b>					
Би - 58	40% КЭ	0,9	1	0,9	162
Каратэ	5% КЭ	0,15	1	0,15	27
Фастак	10% КЭ	0,1	1	0,1	18
Фурадан	35% ТП	0,21	1	0,21	37,8
<b>Фунгициды</b>					
ТМДТ	80% СП	0,036	1	0,036	6,4
Арцерид	60% СП	2	1	2	360
Скор	25% КЭ	0,4	1	0,4	72
<b>Гербициды</b>					
Бетанал АМ	82% КЭ	0,33	1	0,33	59,4
Фюзилад С	12,5% КЭ	1	1	1	180
Лонтрел	30% ВР	0,12	1	0,12	21,6
Итого					944,2

*Примечание.* В настоящее время химические средства защиты растений по 1-му варианту практически не используются, а применение дуста запрещено.

Средневзвешенная степень опасности ассортимента пестицидов ( $C_{cp}$ ) определяется по формуле

$$C_{cp} = \frac{C_{n1} \times m_1 + C_{n2} \times m_2 + \dots + C_{ni} \times m_i}{m_1 + m_2 + \dots + m_i}, \quad (4.3)$$

где  $C_{n1}$ ,  $C_{n2}$ , ...,  $C_{ni}$  – степень опасности  $i$ -го пестицида в баллах;  $m_1$ ,  $m_2$ , ...,  $m_i$  – масса  $i$ -го внесенного пестицида (кг).

Усредненная нагрузка токсикантов на площадь, т.е. экотоксикологическая доза ( $D_n$ , кг/га), вычисляется по выражению

$$D_n = \sum_i^n m_i / F, \quad (4.4)$$

где  $\sum m_i$  – общая масса внесенных пестицидов в кг,  $F$  – площадь, га.

Прогноз загрязнения ( $\Pi_3$ , условные кг/га) вычисляется по формуле

$$(\Pi_3 = D_n / (C_{cp} \cdot u)), \quad (4.5)$$

где  $u$  – способность почвы к самоочищению в баллах:  $u < 0,2$  – очень слабая;  $u = 0,2 - 0,4$  – слабая;  $u = 0,61 - 0,8$  – интенсивная;  $u > 0,8$  – очень интенсивная. Параметр  $u$  отражает интенсивность деструкции пестицидов в зависимости от почвенно-климатических условий. Он изменяется от 0,1 балла

для сухих степей и солончаков до одного балла для окультуренных черноземов в зоне достаточного увлажнения.

Агрэкотоксикологический индекс ( $A_u$ ) основывается на принципе ферментативной реакции, которая может использоваться при интерпретации деструкции пестицидов в биологических средах и вычисляется по формуле:

$$A_u = \frac{10 \cdot P_3 \cdot (1 + P_3)^3}{(1 + P_3)^4 + 5000}. \quad (4.6)$$

По агрэкотоксикологическому индексу ( $A_u$ ) загрязнение территории пестицидами подразделяется на четыре класса:  $A_u < 1$  – малоопасное;  $A_u = 1 - 4$  – среднеопасное;  $A_u = 5 - 7$  – повышенной опасности;  $A_u > 7$  – высокоопасное.

Для снижения пестицидной нагрузки на агроэкосистемы важно использовать интегрированную систему защиты растений, включающую все доступные формы подавления вредных организмов: механические, физические, биологические, биоценотические, агротехнические и химические способы. При этом должна преследоваться цель не полного уничтожения вредителей и сорняков, а поддержание их численности на уровне, который не приводит к ощутимым экологическим потерям.

### ***Вопросы для контроля***

1. Что представляют собой современные пестициды?
2. Какие критерии включает современная шкала экотоксикологической оценки пестицидов?
3. Какие формы воздействия пестицидов с экологической точки зрения вам известны?
4. В чем состоит основная причина накопления остаточных количеств пестицидов в продуктах?
5. Что означает  $LD_{50}$ ?
6. Что определяет агрэкологический индекс?
7. Какой класс по агрэкологическому индексу наиболее опасен?

## ОЦЕНКА РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АГРОЭКОСИСТЕМ

### Цель

Освоить методику расчётов плотности загрязнения почв, продуктов животноводства и растениеводства радиоактивными веществами. Изучить экологическое воздействие разных радионуклидов на окружающую среду, их токсичность.

### Задание

Рассчитайте плотность загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . Исходные данные представлены в табл. 5.2.

### Методические указания

1. По формуле (5.3) с учетом данных, приведенных в табл. 5.2, рассчитать плотность загрязнения чернозема типичного цезием и стронцием:  $^{90}\text{Cs-П}_{\text{рн}} = 0,001 \cdot 695 \cdot 25 \cdot 1,05 = 18,2 \text{ кБк/м}^2$ ;  $^{137}\text{Sr-П}_{\text{рн}} = 0,001 \cdot 47,6 \cdot 25 \cdot 1,05 = 1,2 \text{ кБк/м}^2$  и плотность загрязнения луговой почвы цезием и стронцием  $^{90}\text{Cs-П}_{\text{рн}} = 30,8 \text{ кБк/м}^2$ ;  $^{137}\text{Sr-П}_{\text{рн}} = 2,2 \text{ кБк/м}^2$ .

Сравнивая вычисленные значения с нормативными (табл. 5.1, графы 3 и 4), можно сделать вывод о том, что это экологически безопасная зона (графа 5).

Накопление радионуклидов растениями уменьшается в ряду: дерново-подзолистые > серые лесные > сероземы > каштановые > черноземы. Фактором, снижающим переход нуклидов в растения, является увеличение содержания гумуса в почве. Различают корневой и аэральные пути поступления радионуклидов в сельскохозяйственные культуры. Переход радионуклидов в растения при аэральном поступлении можно оценить по формуле

$$C_{aэ} = R_{aэ} \cdot \frac{\alpha}{v} \cdot C_{\text{рн}} V_g \cdot T, \quad (5.1)$$

где  $C_{aэ}$  – концентрация радионуклидов в растительности, Бк/кг;  $R_{aэ}$  – коэффициент аэрального загрязнения растений, м<sup>2</sup>/кг воздушно-сухой массы;  $\alpha$  – коэффициент ветрового захвата, м/с;  $v$  – скорость восходящего потока частиц пыли, м/с;  $C_{\text{рн}}$  – содержание радионуклидов в верхнем слое почвы, Бк/м<sup>3</sup>;  $V_g$  – скорость гравитационного осаждения радионуклида, м/с;  $T$  – период вегетации растений, с.

В качестве примера в табл. 5.3 приведены расчеты по оценке аэрального загрязнения пшеницы и естественного разнотравья.

2. Определите контрольный уровень загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  суглинистой почвы пастбища на суходольном лугу с учетом перехода радионуклидов в молоко.

*Исходные данные.* Для суглинистой минеральной почвы суходольного луга: КП = 15 (Бк/кг / кБк/м<sup>2</sup>) –  $^{90}\text{Sr}$ ; КП = 10 (Бк/кг / кБк/м<sup>2</sup>) –  $^{137}\text{Cs}$  (табл. 5.6). Санитарно-гигиенические нормативы содержания радионуклидов в молоке составляют:  $D_{\text{Sr}} = 25 \text{ Бк/кг}$ ;  $D_{\text{Cs}} = 100 \text{ Бк/кг}$  (табл. 5.4) [6].



По формуле (5.4) определяем контрольный уровень плотности загрязнения луговой суглинистой почвы по стронцию:  $25/15 = 1,7$  кБк/м<sup>2</sup> и по цезию:  $100/10 = 10$  кБк/м<sup>2</sup>, что соответствует, как видно из табл. 5.1, экологически безопасной зоне.

Применительно к сельскохозяйственным животным наиболее актуальна оценка доз внутреннего облучения для условий хронического (длительного) поступления радионуклидов с кормом. Расчет проводится по формуле (Анненков Б.Н., Юдинцева Е.В., 1991):

$$P_{\beta} = 51,2 \cdot \varepsilon_c \cdot (\mu / m), \quad (5.2)$$

где  $P_{\beta}$  — мощность поглощенной дозы в органах, в которых откладывается радионуклид (рад/сут);  $\varepsilon_c$  — средняя энергия  $\beta$ -частиц, МэВ/расп.;  $\mu$  — активность радионуклида в расчете на орган или ткань, мкКи;  $m$  — масса органа или ткани, г.

3. Рассчитаем суточную дозу внутреннего облучения печени телок при хроническом поступлении <sup>137</sup>Cs с кормом.

*Исходные данные.* В печени массой  $m = 1800$  г содержится  $\mu = 0,18$  мкКи цезия (т. е.  $1 \cdot 10^7$  Ки/кг печени); средняя энергия  $\beta$ -частиц для цезия-137  $\varepsilon_c = 0,195$  МэВ.

По формуле (5.2) определяем мощность поглощенной дозы:  $P_{\beta} = 51,2 \cdot 0,195 \cdot (0,18/1800) = 0,001$  рад/сут [6].

### **Теоретическая часть**

Для экологии имеют важное значение следующие группы изотопов с периодом полураспада (Алексахин Р. М. и др., 1997): **группа А**: углерод – <sup>14</sup>C (5568 лет); тритий – <sup>3</sup>H (12,4г); фосфор – <sup>32</sup>P (14,5 сут); сера – <sup>35</sup>S (87,1 сут); кальций – <sup>45</sup>Ca (160 сут); натрий – <sup>24</sup>Na (15ч); калий – <sup>42</sup>K (12,4ч); калий – <sup>40</sup>K (1,3 млрд лет); железо – <sup>59</sup>Fe (45 сут); марганец – <sup>54</sup>Mn (300сут); йод – <sup>131</sup>I (8 сут); **группа В**: стронций – <sup>90</sup>Sr (28,5г); цезий – <sup>137</sup>Cs (30,2г); церий – <sup>144</sup>Ce (285 сут); рутений – <sup>106</sup>Ru (1г); иттрий – <sup>91</sup>Y (61 сут); плутоний – <sup>239</sup>Pu (24 000 лет); **группа С**: аргон – <sup>41</sup>Ar (2ч); криптон – <sup>85</sup>Kr (10 лет); ксенон – <sup>133</sup>Xe (5 сут).

Степень экологической напряженности агроэкосистем определяется в основном долгоживущими радионуклидами: стронцием – 90 и цезием – 137. В законодательном порядке (Закон РФ «О внесении изменений и дополнений в Закон РСФСР о социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС») приняты следующие зоны радиоактивного загрязнения (табл. 5.1).

Плотность загрязнения почвы радионуклидами, т.е. содержания их в обследуемом слое почвы площадью  $1 \text{ м}^2$  ( $P_{\text{рп}}$ , кБк/м<sup>2</sup>), определяется по формуле:

$$P_{\text{рп}} = 0,001 \cdot C_{\text{рп}} \cdot z \cdot d, \quad (5.3)$$

где 0,001 – коэффициент пересчета от Бк/м<sup>2</sup> на кБк/м<sup>2</sup>; С<sub>рп</sub> – концентрация радионуклидов в почве, Бк/кг; z – слой почвы в см; d – плотность сложения почвы в г/см<sup>3</sup>.

**Таблица 5.1**

**Эколого-токсикологическая оценка радиоактивного загрязнения**

Мощность экспозиционной дозы, мкР/ч	Интенсивность потока гамма-излучения, с <sup>-1</sup>	Плотность загрязнения, кБк/м <sup>2</sup>		Характеристика зон радиоактивного загрязнения
		<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	
Менее 30	Менее 225	Менее 37	Менее 3,7	Экологически безопасная зона
31–50	226–375	37–15	3,7–11,1	Зона проживания людей с льготным социально-экономическим статусом
51–100	376–750	186–555	11,2–37	Зона проживания с правом отселения людей
101–180	751–1350	556–1480	38–111	Зона отселения людей
Более 180	Более 1350	Более 1480	Более 111	Зона изъятия земель из сельскохозяйственного производства и отселения людей

**Таблица 5.2**

**Характеристика загрязнения почв радионуклидами**

Почва	Содержание радионуклидов, Бк/кг		Плотность сложения почвы, г/см <sup>3</sup>	Глубина отбора, см
	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr		
Чернозём типичный суглинистый	695	47,6	1,05	25
Луговая суходольная минеральная суглинистая	790	56	1,3	30

Радионуклиды в почве находятся в почвенном растворе и в составе твердой фазы.

**Таблица 5.3**

**Характеристика аэрального загрязнения растений (Махонько К.П., 1981)**

Радионуклид	Коэффициент аэрального загрязнения воздушно-сухой массы		
	Естественное разнотравье	Пшеница	
		Зерно	Солома
<sup>90</sup> Sr	1,1	0,6	0,47
<sup>137</sup> Cs	1,5	0,15	0,42
С <sub>аэ</sub> , Бк/кг			
<sup>90</sup> Sr	4,07 (6)	1,85 (3)	0,22 (0,3)
<sup>137</sup> Cs	0,25 (14)	2,59 (4)	0,92 (1,4)

*Примечание.* В скобках указана доля вторичного загрязнения, связанная с ветровым подъемом частиц почвы, содержащих цезий и стронций (в % от суммарного содержания радионуклидов в растениях).

Для оценки перехода радионуклидов из почвы в растения используют коэффициент накопления КН, характеризующийся отношением концентрации радионуклидов в растениях ( $C_{рас}$ , Бк/кг) к концентрации радионуклидов в почве ( $C_{рп}$ , Бк/кг):

$$КН = C_{рас} / C_{рп}.$$

При классификации агроэкосистем по миграционной подвижности радионуклидов применяется коэффициент перехода КП:

$$КП = C_{рас} / П_{рп},$$

где  $C_{рас}$  — концентрация радионуклидов в растениях, Бк/кг;  $П_{рп}$  — плотность загрязнения почвы на единицу площади (кБк/м<sup>2</sup>).

Основой для определения контрольных уровней загрязнения почв радионуклидами служат коэффициенты накопления или перехода радионуклидов из различных почв в сельскохозяйственные культуры, а также коэффициенты перехода радионуклидов по животноводческим цепочкам и допустимые удельные активности радионуклидов в пищевых продуктах (см. табл. 5.4).

Для пахотных угодий учитываются параметры миграции радионуклидов в системе почва-сельскохозяйственные культуры, а для сенокосов и пастбищ – в системе: почва-рацион-продукция животноводства.

При этом контрольный уровень плотности загрязнения почв ( $П_{кон}$ , кБк/м<sup>2</sup>) определяется путем деления удельной активности радионуклидов в растениях ( $Д_{ак}$ , Бк/кг) на коэффициент перехода КП:

$$П_{кон} = Д_{ак} / КП. \quad (5.4)$$

Удельная активность для различных культур берется на основании СанПиН 2.3.2.1078-01 (табл. 5.4); так дается агроэкологическая оценка почвы по загрязнению радионуклидами и устанавливается возможность возделывания на этой почве различных сельскохозяйственных культур.

**Таблица 5.4**

**Санитарно-гигиенические нормативы содержания радионуклидов в продовольственном сырье и пищевых продуктах, Бк/кг (СанПиН 2.3.2.1078-01)**

Продукты	Цезий-137	Стронций-90
Зерно продовольственное	70	40
Семена зернобобовых	50	60
Овощи, бахчевые	120	40
Картофель	120	40
Фрукты, ягоды, виноград	40	30
Рыба	130	100

Продукты	Цезий-137	Стронций-90
Мясо	160	50
Яйца	80	50
Молоко, сливки, сметана	100	25
Сахар	140	100

Контрольные уровни загрязнения почв пастбищ и сенокосов определяются с учетом коэффициентов перехода радионуклидов в разнотравье и в продукцию животноводства. При определении контрольных уровней для почв пастбищ за основу принимаются допустимые удельные активности радионуклидов в молоке и мясе по СанПиН 2.3.2.1078-01.

Коэффициенты перехода радионуклидов в растения из почв определяются экспериментально или могут быть использованы значения, приведенные в табл. 5.5–5.6 (Рекомендации по ведению сельского хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения, 1991).

Таблица 5.5

## Классификация агроэкосистем по миграционной подвижности радионуклидов

Вид землепользования	Культура	Гранулометрический состав почв	Коэффициент перехода					
			стронций-90			цезий-137		
			средний	минимальный	максимальный	средний	минимальный	максимальный
Сенокосы и пастбища	Травостой культурного пастбища	Песчаные	5,4	0,8	7,6	3,3	0,5	3,7
		Суглинистые	1,9	1Д	3,4	0,6	0,4	0,9
		Глинистые	0,2	0,05	0,27	0,2	0,03	0,3
		Органические	–	–	–	6,6	2	10,8
	Многолетние травы злаковые	Песчаные	2,5	2,3	2,7	2,3	1,8	2,6
		Суглинистые	1,6	0,9	2,7	0,8	0,3	1,8
		Глинистые	0,6	0,3	1Д	0,2	ОД	0,4
		Органические	3,78	1,07	10	3,2	1,8	3,8
	Многолетние травы бобовые	Песчаные	4,3	2,8	5,5	3,5	1,6	5
		Суглинистые	2,6	1,3	4,1	0,8	0,3	1,3
		Глинистые	0,6	0,4	0,8	0,4	0,2	0,6
		Органические	–	–	–	–	–	–
Пашня	Зерновые	Песчаные	0,9	0,7	1Д	0,3	0,2	0,4
		Суглинистые	0,3	0,07	0,6	0,12	0,06	0,22
		Глинистые	0,13	0,07	0,33	0,06	0,023	0,14
		Органические	1,7	0,5	4,1	0,61	0,17	1,2
	Картофель и корнеплоды	Песчаные	0,6	0,33	0,76	0,24	0,18	0,29

Вид землепользования	Культура	Гранулометрический состав почв	Коэффициент перехода					
			стронций-90			цезий-137		
			средний	минимальный	максимальный	средний	минимальный	максимальный
		Суглинистые	0,24	0,06	0,49	ОД	0,03	0,24
		Глинистые	0,055	0,05	0,07	0,014	0,008	0,03
		Органические	1,2	0,5	3,4	0,45	0,03	3,4
	Кормовые культуры на силос	Песчаные	2,7	1,4	4,3	2,4	0,4	4,4
		Суглинистые	0,94	0,33	2,1	0,35	0,33	0,36
		Глинистые	0,44	0,26	0,45	0,19	0,1	0,3
		Органические	–	–	–	3,2	2,2	4,6

Таблица 5.6

## Радиоэкологическая классификация лугов

Тип луга	Группа почв	Гранулометрический состав почв	Коэффициент перехода		Экологический период полураспада корнеобитаемого слоя почв, годы	
			<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs
Суходольный	Минеральные	Песчаные	5–25	1–15	20–70	50–90
		Суглинистые	2–15	0,2–10	30–90	90–110
		Глинистые	0,3–3	0,05–0,3	50–100	110–150
Пойменный	Минеральные	Песчаные	5–25	1–15	25–50	40–90
		Суглинистые	2–15	0,5–10	25–70	90–110
		Глинистые	–	0,3–1	–	100–140
Низинный	Органические	Торфяные	3–30	5–20	20–40	20–70
	Минеральные	Песчаные	5–35	3–20	25–50	40–90
		Суглинистые	–	2–15	–	50–70
	Органические	–	10–45	3–30	20–50	33–80
Болотный	Болотные: низинные	–	5–50	3–30	16–30	18–40
	переходные		20–140	15–50	15–18	15–25
	верховые		20–150	30–150	13–18	13–18

## Вопросы для контроля

1. Какие изотопы имеют особое значение для экологии?
2. Какую единицу измерения используют для оценки уровня радиоактивности? Назовите единицы измерения.

3. Какие показатели используют при оценке перехода радионуклидов из почвы в растения?

4. Приведите классификацию агроэкосистем по миграционной подвижности радионуклеидов.

5. Выявите вид землепользования, где  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  обладают максимальной подвижностью.

6. Сколько лет требуется для полуочищения корнеобитаемого слоя почв на суходольных и болотных лугах? От каких параметров почвы зависит длительность процесса?

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ****Цель**

Получение знаний по методам очистки и детоксикации почв от тяжелых металлов.

**Задание**

Ознакомьтесь с материалами теоретической части и подготовьте ответы на вопросы семинара для участия в обсуждении.

**Теоретическая часть**

**Характеристика сточных вод.** Одним из наиболее экономически оправданных путей утилизации сточных вод является их использование в качестве органического удобрения, так как они содержат в своём составе необходимые для растений питательные вещества в виде минеральных элементов и органических соединений.

Практика возврата осадков в природный круговорот веществ, при их сельскохозяйственном использовании, как альтернативного или дополнительного источника удобрений получила довольно широкое распространение. В отличие от других способов утилизации, здесь не требуется больших площадей и высоких затрат.

По данным ВОЗ, в сельском хозяйстве Франции, Нидерландов, США, Польши, Швейцарии и Германии применяют, соответственно, 24, 35, 40,50, 74 и 40 % всего количества накапливающихся осадков сточных вод (ОСВ). В сельскохозяйственных районах Германии этот показатель достигает 80 %.

Известно, что питательная ценность осадков определяется количеством доступного растениям азота. В сброженных и обезвоженных осадках его содержится 2,3, обезвоженных – 1,8 кг/т, а фосфора 1–4 % (по этому показателю они уступают навозу).

В среднем, по многочисленным данным, ОСВ содержат в пересчете на сухое вещество одинаковое с навозом количество органически связанного углерода и общего азота, больше фосфора и меньше калия (табл. 6.1).

**Таблица 6.1****Сравнительный состав осадков сточных вод и навоза, % на сухое вещество**

Вид удобрения	Сухое вещество	Азот общий	Фосфор (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Калий (K <sub>2</sub> O)	Органическое вещество по углероду
ОСВ	25	0,5	0,4	0,02	15
Подстилочный навоз	25	0,5	0,2	0,60	16

Их биологическая ценность, т.е. использование как элементов питания, ниже, чем у подстилочного навоза. Это можно объяснить тем, что элементы питания находятся в менее доступных для растений, т.е. трудногидролизуемых, органических соединениях.

Наличие в осадках питательных макро- и микроэлементов органического и минерального происхождения, в том числе азота, фосфора, калия, кальция, железа, бора, марганца, меди, молибдена, цинка и других, позволяет применить их в качестве удобрения и обеспечить значительный народно-хозяйственный эффект. По расчетам, использование осадков может дать почве около 1% основных питательных веществ, содержащихся в удобрениях, производимых в России.

Количество органического вещества в осадках в значительной степени зависит от проведенной обработки, длительности и условий хранения.

В целом осадок оценивается как азотно-фосфорное органоминеральное удобрение, обладающее не только прямым действием, но и значительным «эффектом последствия» в течение 3–4 лет.

**Перспективы использования ОСВ в качестве удобрения.** Внесение в серую лесную суглинистую почву под зяблевую вспашку сброженного осадка 97,6%-ной влажности в количестве 250, 500 и 1000 м<sup>3</sup>/га повышает её плодородие, выражающееся в увеличении количества гумуса в почве на 0,1–0,3 %, общего азота (+20 %) и подвижного фосфора (+20–40 %).

Определены допустимые нагрузки осадков: для лёгких почв – до 1000 м<sup>3</sup>/га (97...98 % влажности) при осеннем и до 500 м<sup>3</sup>/га при весеннем внесении, что в пересчете на сухое вещество соответствует 25 и 12,5 т/га; для тяжёлых почв эти нормы могут быть несколько меньше.

Для дерново-подзолистых почв внесение осадков может быть выше, чем на черноземах. Оптимальной дозой под кормовые и силосные культуры следует считать 25–30 т/га сухого вещества. Рекомендуемые сроки внесения – ранняя осень (при вспашке зяби). Осадок сточных вод можно вносить как весной при культивации (под яровые зерновые) и перепашке зяби (под картофель), так и осенью под зябь (под все культуры).

Под озимую рожь осадки сточных вод рекомендовано вносить осенью при вспашке черных паров. Опытным путем установлены нормы внесения осадков: под яровые зерновые культуры – 10–20, пропашные – 20–30, на парах – 40–60 т/га. Положительное последствие осадков сохраняется в севообороте в течение 2–3 лет.

С экологической точки зрения важно кумулятивное (десятки и более лет) последствие тяжелых металлов, связанное с их постепенным, многолетним накоплением в почвах разного типа. Многие авторы отмечают высокую персистентность металлов из осадков независимо от частоты их внесения. Например, через 45 лет после начала исследования в почве обнаруживалось около 80% внесенных с осадками Zn, Cu, Ni, Cd, Pb. Ежегодные потери металлов с делянок, обрабатывавшихся самыми высокими дозами ОСВ, составили, кг/га:



Cd-0,3; Zn-10; Cu-40; Ni-0,6; Cr-3,3; Pb-3,2 и могут быть были отнесены за счет вымывания, эрозии, а также ошибок анализа и отбора проб.

Помимо нормирования металлов в осадках, обращается внимание на безопасную норму их валового содержания в почве, по достижении которой внесение ОСВ должно быть запрещено. В России использовать осадки можно до тех пор, пока валовое количество тяжёлых металлов в почве не достигнет, мг/кг: As-2,0; Hg-2,1; Sb-4,5; Cd-5; Ni-35; Pb-фон + 12; Cr<sup>3</sup> + 100.

Предельные нормы, рекомендованные в странах Европейского экономического сообщества, более низкие и составляют для Cd, Cu, Hg, Pb и Zn, соответственно, 1;50; 100;1; 30; 50 и 150 мг/кг.

Из-за недостаточной изученности поведения тяжелых металлов в системе «почва-растение» в имеющихся рекомендациях приводятся, как правило, весьма умеренные дозы для использования осадков: от 1 т (Швеция) до 4 т/га (Канада), но в большинстве случаев не выше 2 т/га. Однако для овощных и плодовых культур и многих луговых трав эти дозы неприемлемы. Для роста растений критическое содержание Cu, Ni и Zn составляет больше 20, больше 50 и больше 200 мг/кг соответственно.

ПДК для кадмия в зерне пшеницы и зеленых кормах, включая райграс, травяной силос и ботву, составляет в ФРГ, соответственно, 0,24 и 0,5 мг/кг.

К наиболее разработанным мерам детоксикации осадков можно отнести: их компостирование с торфом, добавление извести, добавление фосфатов и цеолитов для снижения поглощения растениями тяжелых металлов.

Некоторые ученые предлагают также послойное компостирование ОСВ с заделыванием его фрезой, которое создает эффективный баланс почвы, осадка, воздуха и влаги и не вредит урожаю даже при высоких дозах.

В США при компостировании осадков добавляют различные растительные остатки, снижающие концентрации тяжелых металлов, например: концентрация цинка при добавлении к осадку шелухи арахиса, древесной стружки и листьев снижается в среднем с 980 до 756, 770 и 196 мг/кг, меди – с 420 до 65...300, свинца – с 425 до 290, кадмия – с 10 до 7,4 и 8 мг/кг [8, 9].

**Экологически чистая продукция.** Осадки сточных производственных вод не всегда могут использоваться в качестве удобрения в сельском хозяйстве или при озеленении городов и т.д. Основными сдерживающими факторами часто являются неудовлетворительные физические свойства ОСВ и наличие в ряде случаев повышенного содержания ТМ (тяжелых металлов).

Поэтому при использовании ОСВ происходит загрязнение агроценозов, что ведёт к снижению их устойчивости, плодородия, развитию деградационных процессов и ухудшению качества сельскохозяйственной продукции. Для предотвращения деградации почв, загрязненных или потенциально подверженных загрязнению ТМ, необходимо проведение специальных мероприятий, которые можно свести к двум группам – профилактические и реабилитационные.

Профилактические мероприятия предназначены для предотвращения загрязнения сельскохозяйственных земель и должны базироваться на совершенствовании технологий производства, создании замкнутых

технологических систем, разработке экологически ориентированных агротехнологий, а также на регламентировании и контроле качества удобрений и мелиорантов, вносимых в почву.

Реабилитационные мероприятия применяются для ликвидации последствий уже сложившегося загрязнения и осуществляются для санации почвы.

Под санацией почвы понимается система методов и приемов, приводящих к уменьшению токсического действия ТМ или снижению содержания их в почве до фонового уровня. При оценке различных способов санации загрязненных ТМ почв необходимо учитывать три критерия: способ должен быть экологически безопасным, технологически эффективным и экономически рентабельным.

**Потенциальные возможности растений к накоплению ТМ.** По вопросу доступности тяжелых металлов, вносимых с ОСВ, культурным растениям имеется обширная, но достаточно противоречивая информация, ибо ее нельзя рассматривать как постоянную величину, не зависящую от условий среды. Результаты большинства полевых и вегетационных опытов сводятся к тому, что накопление металлов растениями существенно зависит от загрязнения почв. Однако прямая зависимость между этими факторами чаще обнаруживается для кадмия, цинка, меди и реже для свинца, хрома и никеля. В отношении кадмия доказано, что растения не накапливают его выше почвенных концентраций, для свинца существует барьер «почва – растение», делающий его недоступным для поглощения растениями из ОСВ [8, 10, 11].

На карбонатных почвах риск накопления в пищевой цепи минимальный, так как увеличение в них этого металла практически не отражается на содержании его в растениях. При рН выше 6 отмечается вероятность снижения токсических воздействий на растения никеля, цинка, меди. Поглощение же растениями свинца и хрома от этого фактора среды зависит мало. Доступность металлов растениям снижается при высоком содержании в почве гуминовых кислот, а также при преобладании в них оксидов железа или глинистых минералов.

**Методы очистки и детоксикации почв от ТМ.** Для уменьшения или ликвидации техногенного загрязнения агроландшафтов ТМ следует использовать физико-химические, биологические и комплексные методы мелиорации почв, применение которых позволит:

- оптимизировать водный режим почв, снизить подвижность токсикантов;
- довести реакцию среды до оптимального уровня, при котором подвижные соединения ТМ переходят в недоступную для сельскохозяйственных культур форму;
- сократить поступление ТМ в выращиваемые растения с помощью элементов-антагонистов;
- создать искусственные биогеохимические барьеры с помощью фитомелиорации и химических мелиорантов, обеспечивающие снижение концентрации в почве подвижных форм тяжелых металлов.

Санацию почв можно проводить *методами очистки и детоксикации*. Первая группа методов основана на извлечении ТМ из почвы [8, 9].

**Очистка почв от ТМ** – совокупность приемов, методов, направленных на создание в загрязненных почвах условий, способствующих и приводящих к уменьшению концентрации ТМ или доводящих их содержание в почве до фонового уровня. Она может производиться путем промывок, извлечения ТМ из почвы с помощью растений (фитомелиорация), удаления верхнего загрязненного слоя (рекультивация) и иными способами.

Второе направление в санации почвы – детоксикация.

**Детоксикация почв от ТМ** – совокупность приемов, методов, приводящих к ослаблению или полному освобождению от токсического действия ТМ, а также создание в почвах благоприятных условий для ее самоочищения. Проводится путем применения агромелиоративных приемов (глубокая вспашка, рыхление, щелчевание и т.д.), внесения органических и минеральных удобрений, сорбент-мелиорантов.

На практике наибольшим распространением пользуются земли с допустимым и умеренным уровнями загрязнения почв. Как правило, это земли, подвергающиеся воздействию рассеянных источников (аэрогенные, гидрогенные и др.), регулирование качества которых не представляется возможным. В этих условиях необходимо проведение мероприятий по предупреждению (профилактике) загрязнения почв. Наиболее перспективными являются методы, приводящие к компенсирующим результатам. В зависимости от уровня загрязненности почв из биологического кругооборота выводятся загрязнители в количестве, равном или несколько превышающем их поступление в агробиоценозы. Разработка этих методов является актуальной задачей, особенно по разработке способов и методов детоксикации дерново-подзолистых супесчаных почв, загрязненных тяжелыми металлами после применения органических удобрений на основе ОСВ. Загрязнителями являются медь, цинк, свинец, кадмий и др.

**Мелиоранты, используемые для санации загрязненных территорий.**

Основная цель санации – повысить устойчивость почв (сопряжено с растениями) к действию ТМ, ограничить миграцию тяжелых металлов в сопредельные среды и снизить отрицательное воздействие их на почвенный микробиоценоз. При выполнении задачи по восстановлению загрязненных ТМ почв необходимо исходить из теоретических предположений о формах соединений металлов и их трансформации в почвах. ТМ находятся в почве в разработанных химических формах, закономерности видообразования которых изучены пока недостаточно (Beckett, 1989). При этом выделяются следующие формы ТМ в почве:

- водорастворимые,
- неспецифически обменно-адсорбированные,
- специфически обменно-адсорбированные,
- удерживаемые на нерастворимом органическом материале,
- приципитаты (карбонаты, сульфиды, фосфаты и т.д.),
- удерживаемые на поверхности или окклюдированные внутри оксидов железа, алюминия, марганца.

**Глинование как фактор мелиорации почв.** Одним из приемов снижения фитотоксичности металлов в почвах является глинование, так как глинистые или тяжелосуглинистые почвы обладают большей поглотительной способностью. Сорбция ТМ минералами уменьшается с увеличением кислотности почвы. Почвам с высоким рН (нейтральным и слабощелочным), содержащим значительное количество глинистых минералов, карбоната кальция и органического вещества, принадлежит решающая роль в защите растений от влияния избыточной концентрации ТМ (Page,1975; Norbert,1976). Переводя в малоактивное состояние всё или значительное количество элементов-загрязнителей, такие почвы или полностью освобождают растения от контакта с загрязнителями, или делают эти контакты мене опасными.

**Известкование как фактор химической мелиорации кислых почв.** Известкование нейтральной почвы с целью снижения подвижности и фитотоксичности металлов обычно не приводит к положительным результатам. Данный прием целесообразен только на почвах с повышенной концентрацией водорода, подвижного алюминия, железа, марганца. Защитное действие извести на почвах, обладающих ярко выраженной фитотоксичностью, обусловленной существенным содержанием ТМ и их подвижностью, проявляется в результате позитивных изменений в почвенной системе на разных уровнях – химическом, физическом и биологическом.

В последнее время много публикаций о неоднозначном воздействии рН почвы на биодоступность металлов. Результаты проведённых опытов подтверждают, что известкование почвы приводит к увеличению рН почвенного раствора и способствует закреплению кадмия почвой, но в то же время подщелачивание почвы заметно снижает стабильность металлов за счёт процессов химической и биологической сорбции.

Таким образом, при изменении рН одновременно происходят процессы иммобилизации хелатирования металлов в подвижные соединения. Величина рН причислена к главным факторам, регулирующим процесс поступления ТМ из почв в растения. Нужно отметить, что существуют металлы, которые в силу своих химических свойств при нейтрализации среды образуют подвижные соединения. К ним относятся молибден и хром, образующие в щелочной среде растворимые соли молибденовой и хромовой кислот. Установлено также, что кадмий наиболее подвижен в кислых почвах в интервале рН 4,5–5. Сорбционная ёмкость почв относительно кадмия в интервале рН от 4 до 7 при увеличении рН на единицу возрастает примерно в 3 раза. Внесение извести способствует иммобилизации ТМ и снижению их доступности для растений [8, 9].

По обобщённым результатам исследований, при внесении извести по полной гидролитической кислотности в загрязнённую почву содержание свинца, кадмия и других токсичных ТМ в растениях снижается примерно на 50%. При этом известкование почв с целью снижения поступления ТМ в растения проводят на основе иных методических подходов, чем те, которые приняты в настоящее время для сельскохозяйственных культур. На загрязнённых участках известь вносят с целью достижения реакции почвенной среды, соответствующей значениям рН 6,3–6,5 в солевой суспензии. При более

высоких значениях рН внесение известковых удобрений считается нецелесообразным. Однако в связи с этим внесение извести с целью иммобилизации ТМ не везде даёт ожидаемый результат. Невозможно ожидать их действия на нейтральных и щелочных почвах. Металлы, которые присутствуют в почве преимущественно в форме высокомолекулярных органических хелатов, могут оставаться растворимыми даже после сильного известкования. Такое явление установлено для меди, цинка и хрома.

**Природоохранные исследования при санации агросистем.** Полевые и лабораторные исследования проводятся в двух направлениях:

- иммобилизация ТМ в почве путем комплексного внесения мелиорантов с повышенной нейтрализующей и сорбционной способностью для получения экологически безопасной продукции;

- подбор культур-фитомелиотантов для выноса ТМ из почвы.

Предложенная система природоохранных мероприятий предназначена для выбора на предварительном этапе методов санации сельскохозяйственных земель, позволяющих ликвидировать загрязнение почв ТМ или перевести земли в более низкую категорию загрязненности. В рамках исследований по иммобилизации ТМ в почве и снижению поступления их в сельскохозяйственные растения выполнены полевые опыты, в которых оценивалось влияние физико-химических мелиорантов на агроэкологические параметры почвы и на поступление ТМ в растениеводческую продукцию. Высокая перспективность применения этих мелиорантов отражена в литературе.

Меры должны быть направлены главным образом на увеличение прочности закрепления ТМ почвой, поскольку, как установлено, фитотоксическое действие металлов и их переход в растения зависят не столько от концентрации металлов в почве, сколько от их подвижности и способности переходить в доступные растениям формы. Применяя различные мелиорирующие средства, можно иммобилизовать ТМ в почве и тем самым снизить их поступление в растения [8, 9, 11].

### Вопросы к семинару

1. Какова биологическая ценность осадка сточных вод?
2. Какие экологические и природоохранные нормы необходимо соблюдать при использовании ОСВ в качестве удобрения?
3. Какие мероприятия необходимо проводить для предотвращения деграционных процессов и ухудшения качества получаемой продукции?
4. Каково накопление тяжелых металлов растениями?
5. Какие методы реабилитации почв приводят к уменьшению их загрязнения?
6. Какие мелиоранты используются для санации загрязненных территорий?
7. Факторы мелиорации почв.
8. Какие природоохранные исследования проводят при санации агросистем? Какие отходы производства можно использовать в качестве органических удобрений в сельском хозяйстве?

9. Какие инновационные технологии необходимо применять при загрязнении почв тяжелыми металлами?

10. Какие мероприятия решают проблему охраны почв от загрязнения тяжелыми металлами?

11. Как проводят обезвоживание отходов производства?

12. Какова практика использования осадка за рубежом?

13. Как и в каких объемах используется ОСВ в России?

14. Как проводят депонирование механически обезвоженных осадков?

**АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ МЕЛИОРАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ**

**Цель**

Получение знаний по методам биологической мелиорации загрязненных почв.

**Задание**

Ознакомьтесь с материалами теоретической части и подготовьте ответы на вопросы семинара для участия в обсуждении.

**Теоретическая часть**

Органическое вещество является важной и обязательной частью почвы, так как ТМ хорошо адсорбируются им. Эта составная часть почвы характеризуется большой водоудерживающей способностью. И в то же время, определенные органоминеральные соединения некоторых металлов могут обладать высокой подвижностью. В виде таких комплексов они хорошо мигрируют с почвенной влагой и могут поступать в растения. Значит, на подвижность металлов в почве сильно влияет концентрация в ней органического вещества. Переход элементов в малоподвижную форму протекает интенсивно в почвах с высоким его содержанием.

Важную роль в защите сельскохозяйственных растений от поступления в них из почв ТМ играют непосредственно органические удобрения. Благодаря их внесению повышается буферность почвы, возрастает и поглощательная способность и способность переводить ТМ в необменные формы (органическое вещество почвы значительно сильнее фиксирует ТМ, чем ее минеральные компоненты).

Имеется много данных, свидетельствующих о том, что при внесении органических удобрений происходит иммобилизация в почве ТМ. В Гонконгском университете изучали возможность снижения содержания свинца в растениях (редисе и капусте) путем использования различных мелиорирующих средств: свиного навоза, компоста из бытового мусора, фосфорных удобрений и хелатных соединений. По результатам наблюдений, наибольший эффект дало внесение органических удобрений. В вариантах с внесением навоза и компоста поступление свинца из почвы в растения снизилось, соответственно, в 5 и 7 раз. Остальные мелиорирующие средства (фосфорные удобрения, хелаты) были менее эффективны.

ОСВ характеризуется (табл. 7.2.) слабокислой реакцией (рН водной вытяжки 6,4), высоким содержанием кислоторастворимого фосфора (711 мг/100 г) и низким содержанием кислоторастворимого калия (70,0 мг/100 г).

В работе использовался вермикомпост (ВК) на основе навоза КРС. ВК содержит 21,5 % органического углерода, характеризуется высоким содержанием нитратного азота (292,2 мг/100 г), в его состав входит значительное количество доступного фосфора (392,6 мг/100 г). Цеолиты

(цеолитсодержащие туфы) Хотынецкого месторождения Орловской области характеризуются следующим минеральным составом (табл. 7.1).

ОСВ и мелиоранты содержат в своем составе различные катионы (табл. 7.2). Наибольшее количество Са, Mg и Na содержит известь, наибольшее количество калия – цеолит.

**Таблица 7.1**

**Минеральный состав цеолита, %**

Клиноптилолит	40
Монтмориллонит	10
Кварц	15
Гидрослюды	8
Полевые шпаты	Следы
Кристобалит + аморфная фаза	25
Кальцит	2

**Таблица 7.2**

**Содержание катионов Са, Mg, К и Na в ОСВ и в мелиорантах, г/кг**

ОСВ	Са <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	К <sup>2+</sup>	Na <sup>2+</sup>
	18,31	2,27	2,11	0,26
Глина	6,70	2,96	2,90	0,25
ВК	22,66	4,82	1,54	1,79
Цеолит	44,16	7,86	5,29	1,84
Известь	276,93	25,39	2,66	2,92

**Влияние последствия ОСВ и мелиорантов на показатели плодородия почвы.** Последствие ОСВ, обладающего слабокислой реакцией (рН солевой вытяжки 5,9), не оказало достоверного влияния на величину рН водной вытяжки пахотного слоя почвы. Использование мелиорантов также оказало слабое воздействие на этот показатель. Отмечалось достоверное возрастание величины рН по сравнению с контролем и фоном на вариантах с использованием извести (варианты 7,8) и снижение рН при использовании глины (последнее связано с низким значением рН и высокой дозой этого мелиоранта) (табл. 7.3).

На четвертый год после внесения ОСВ не влиял на величину гидролитической кислотности пахотного слоя почвы. Использование совместно с ОСВ 15 т/га цеолита позволило снизить величину кислотности на 12 %, 30 т/га цеолита – на 21 % (сравнение с контролем). Снижение гидролитической кислотности при внесении цеолита происходило, по-видимому, вследствие поступления в почву значительного количества обменных катионов в составе мелиоранта (табл. 7.3). Применение вермикомпоста и глины достоверно не повлияло на гидролитическую кислотность пахотного слоя исследуемой почвы. Самым сильным агентом, снижающим величину гидролитической кислотности,



оказалась известь, она снизила величину Нг более чем на 35 % по сравнению с контролем и фоном [8, 9].

Влияние последействия ОСВ на сумму поглощенных оснований (S) было недостоверно. Наибольшее воздействие на этот показатель оказало совместное внесение глины и извести, величина суммы поглощенных оснований увеличилась почти в два раза по сравнению с контролем и фоном. Значительное увеличение показателя S произошло также на вариантах с применением глины, извести. Вермикомпост в последействии не оказал влияния на сумму поглощенных оснований.

**Таблица 7.3**

**Влияние последействия ОСВ и мелиорантов на показатели плодородия пахотного слоя почвы опытного участка**

№ п/п	Варианты	рН вод	Нг	S	ЕКО	Сорг, %	N <sub>общ</sub> , %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/100 г	K <sub>2</sub> O, мг/100
			мг-экв/кг						
1	Контроль	6,1	14,2	108,2	120,4	1,09	0,11	5,1	3,5
2	Фон-100т/га ОСВ	6,2	14,5	113,9	125,9	1,20	0,12	26,1	4,5
3	Фон + цеолит 15 т/га	6,3	12,5	131,6	142,3	1,25	0,13	25,4	4,2
4	Фон + цеолит 30 т/га	6,3	11,2	139,1	148,4	1,20	0,13	24,7	3,8
5	Фон + глина	5,9	14,9	159,0	172,0	1,32	0,14	23,8	4,9
6	Фон + вермикомпост	6,2	14,1	119,2	131,0	1,19	0,12	26,4	4,6
7	Фон + известь	6,5	9,5	150,3	158,6	1,43	0,14	25,9	4,5
8	Фон + глина + известь	6,4	11,4	190,9	200,7	1,38	0,14	22,8	4,7
НСР <sub>0,95</sub>		0,2	0,8	18,0		0,12	0,02	2,8	0,7

***Влияние ОСВ и мелиорантов на агроэкологические показатели почвы.***

Внесение ОСВ и мелиорантов оказало влияние на агроэкологические показатели почвы опытного участка, изменяя их параметры в разной степени.

Повышение величины рН по сравнению с контролем, а особенно фоновым вариантом, наблюдается в незначительной степени.

Внесение ОСВ способствовало снижению Нг по сравнению с контролем и фоном, за исключением варианта с внесением глины. Внесение мелиорантов незначительно повлияло на уменьшение Нг. Глинование даже способствовало ее увеличению и превышению значения над фоновым вариантом. Физико-химический анализ после уборки третьей культуры звена овса в 2005 г. показал понижение Нг на вариантах с глиной, вермикомпостом и доломитовой мукой, где ее значение было меньше контроля и фона. На варианте с цеолитом (15 т) Нг была почти равна значению на фоновом варианте, а внесение цеолита в дозе 30 т привело к превышению над контрольным и фоновым вариантами (табл. 7.3).

Последействие ОСВ способствовало увеличению суммы поглощенных оснований (S). Существенное увеличение S отмечается на вариантах с

внесением глины и доломитовой муки вместе и по отдельности. В 2005 г. наибольшее значение  $S$  наблюдается на вариантах с доломитовой мукой и вермикомпостом. Показания на остальных вариантах близки к фону.

В сельском хозяйстве ОСВ используют в качестве органического удобрения, поэтому основным критерием оценки их эффективности является содержание органического вещества в почве. На всех вариантах содержание  $C_{\text{орг}}$  превышает контроль. Из мелиорантов существенное действие оказывают вермикомпост и доломитовая мука. Это можно объяснить тем, что в почвах с высокой насыщенностью почвенного поглощающего комплекса кальцием (варианты с доломитовой мукой и цеолитом) минерализация органического вещества протекает более интенсивно, при этом образуются более стойкие гуминовые вещества. А вследствие вермикомпоста, имеющего высокое содержание гумусовых веществ, наблюдается в течение трех лет (табл. 7.3).

ОСВ можно рассматривать как органофосфорное удобрение, поэтому на всех вариантах содержание фосфора значительно превышает контроль. Эта тенденция сохраняется и с внесением мелиорантов, хотя они способствовали некоторому снижению подвижности элемента. Вермикомпост же усиливает микробиологическую активность почвы, а усвояемость фосфора растениями возрастает. Доломитовая мука, наоборот, способствует переходу фосфора в нерастворимые соединения.

На повышение содержания калия внесение ОСВ повлияло в гораздо меньшей степени, хотя повышение контроля отмечается на всех вариантах. Мелиоранты способствовали некоторому снижению количества калия в почве. Последствие мелиорантов было однозначным. Содержание калия по сравнению с предыдущим годом возросло на контроле и вариантах с цеолитом, на других – понизилось.

Таким образом, внесение ОСВ способствовало повышению рН почвы, понижению гидролитической кислотности, повышению  $S$ , содержания  $C_{\text{орг}}$  и  $P$ , в  $K$  – почва испытывает недостаток. Из мелиорантов на физико-химические свойства почвы более позитивное воздействие оказали доломитовая мука, глина и вермикомпост (табл. 7.3) [8, 9].

Внесение ОСВ, являющегося хорошим органическим удобрением, но одновременно имеющего в своем составе существенные количества ТМ, может оказать отрицательное воздействие на агроэкосистему вследствие комплексного (полиметаллического) загрязнения почвы.

Рассматривая их последствие на концентрацию подвижных форм ТМ и показатель  $Z_c$  (суммарный индекс загрязнения почв), следует отметить наибольший уровень снижения загрязнения  $K_c$ ,  $Cu$  и  $Zn$  и  $Z_c$  в сравнении с действием на вариантах 4–8, особенно по последствию доломитовой муки как отдельно, так и в сочетании с глиной и торфом (вариант 5, 7, 8). Как показывают данные, уровень  $Z_c$  на варианте 8 снизился на 64 %, на варианте 5–16 %. Таким образом, по последствию в отличие от действия, фактор известкования является определяющим в снижении подвижности ТМ в составе ОСВ. Это обусловлено усилением физико-химических процессов сорбции в слое почвы 0–20 см.

Оценивая роль последствия мелиорантов на снижение  $Z_c$  в сравнении с фоном следует выделить следующий убывающий ряд: доломитовая мука >

глина + доломитовая мука > цеолит 15 т/га > глина. В то же время последствие цеолита в дозе 30 т/га и сочетания торфа с доломитовой мукой не приводит к снижению  $Z_c$  в сравнении с фоном. В случае с цеолитом это обусловлено его влиянием на валовое содержание ТМ в почве. Последствие торфа в сочетании с доломитовой мукой способствует снижению содержания подвижных форм ТМ в сравнении с действием на 28%, приводит к выравниванию  $Z_c$  с его фоновым уровнем, в то время как по действию их разница составляла 40 %.

**Оценка уровня биологического поглощения тяжелых металлов растениями.** Оценить уровень биологического поглощения ( $K_{бп}$ ) подвижной формы ТМ растениями можно по отношению:

$$K_{бп} = K_{ср} / K_{сп}, \quad (7.1)$$

где  $K_{ср}$  – коэффициент концентрации элемента в растениях;  $K_{сп}$  – коэффициент концентрации подвижной формы элемента в почве.

Условно показатель  $K_{бп}$  можно охарактеризовать как коэффициент биологического поглощения. Его значения для Cd, Cu, Zn, Ni, соответственно, равны по варианту № 5 – 0,32; 0,07; 0,13 и 0,19; по варианту № 7 – 0,31; 0,05; 0,15 и 0,017. Таким образом, наибольшей величиной  $K_{бп}$  обладает Cd, а наименьшей – Cu. Исходя из этого должны подбираться и мелиоранты. В частности, в ходе опыта установлено, что использование цеолита в дозе 30 т/га снижает  $K_{бп}$  Cd до 0,20. Это на 37 % больше, чем при действии глины в сочетании с доломитовой мукой. Рассматривая уровень значений  $Z_c$  в соответствии с критериями загрязненности растений, следует отметить соразмерность  $Z_c$  зерна ячменя с уровнем  $Z_c$  для слабой степени загрязнения. Особенно это касается внесения цеолита в дозе 30 т/га, доломитовой муки и сочетания глины с доломитовой мукой.

**Специфика воздействий ОСВ на урожайность сельскохозяйственных растений.** Специфика воздействия ОСВ на почву, растения, микроорганизмы заключается в одновременном положительном влиянии органического вещества и необходимых питательных элементов, с одной стороны, и отрицательном – токсичных компонентов – с другой. Поступление в почву основных питательных элементов в составе ОСВ благоприятно влияет на рост и развитие растений. Загрязнение почвы также отражается на растениях, которые попадают в неблагоприятные условия, что сказывается на их урожае (табл. 7.4).

Внесение ОСВ привело к увеличению урожая культуры. Это связано с изучением кислотно-основных свойств пахотного слоя, увеличения содержания в почве органического вещества, подвижных форм фосфора и калия.

Прибавка биомассы озимой пшеницы составила 19 % (по сравнению с контролем), а урожай ячменя на варианте фон – 100 т/га, ОСВ превысил контроль на 15 %, а урожай овса – на 5 %.

Таблица 7.4

**Влияние ОСВ и мелиорантов  
на урожайность зерновых культур, ц/га**

№ п/п	Вариант	Озимая пшеница		Ячмень (общая биомасса)	Овес	
		зерно	солома		зерно	солома
1	Контроль	14,3	22,3	13,4	21	37,0
2	Фон + 100т/га ОСВ	14,2	29,3	15,4	23,1	37,8
3	Фон + цеолит 15т/га	15,0	24,0	17,5	23,7	37,9
4	Фон + цеолит 30 т/га	16,4	27,4	17,2	25,2	45,4
5	Фон + глина + долом. мука	14,6	30,5	17,2	25,6	43,5
6	Фон + глина	14,0	26,9	17,9	24,8	47,1
7	Фон + вермикомпост	17,1	32,2	18,4	25,8	41,3
8	Фон + долом. мука	18,1	33,1	17,8	26,5	47,7
	НСР	2,2	2,2	1,5	2,0	2,4

При выращивании ячменя достоверно видно влияние мелиорантов на его урожай. Максимальное значение биомассы ячменя отмечено на вариантах с внесением ВК, доломитовой муки и глины. На этих вариантах урожайность увеличилась на 33, 37 и 33 %, соответственно, по сравнению с контролем и на 16, 19 и 16 %, соответственно, по сравнению с фоном.

У овса максимальная прибавка урожайности зерна отмечается на варианте с доломитовой мукой (26 % по сравнению с контролем, 15 % – с фоном).

На варианте с вермикомпостом урожай превысил контроль на 23 %, фон – на 12 %. Внесение доломитовой муки совместно с глиной дало прибавку 22 % к контролю и 11 % – к фону (табл. 7.4).

**Оценка качества продукции и эффективности действия мелиорантов.** Содержание ТМ в сельскохозяйственных культурах является важнейшим показателем биологического и санитарно-гигиенического качества растений, а также критерием оценки эффективности действия мелиорантов.

Внесение ОСВ привело к накоплению Cd в соломе озимой пшеницы и ячменя, превышающего МДУ: содержание Cd в соломе озимой пшеницы превышало допустимый уровень в 4 раза, а в соломе ячменя – в 5 раз. При выращивании ячменя эффективность отдельных мелиорантов была примерно одинакова. Цеолит в разных дозах, глина, вермикомпост и доломитовая мука снизили концентрацию Cd в соломе ячменя на 15–20 % по сравнению с фоном. Совместное применение доломитовой муки и глины было более эффективным приемом, снижающим поступление Cd в ячмень: количество Cd в соломе ниже по сравнению с фоном на 33 %. Тем не менее содержание элемента осталось выше МДУ. Эту солому нельзя применять на корм для животных.

Зерно озимой пшеницы содержало опасное количество Cd после внесения ОСВ. Внесение цеолита, доломитовой муки и глины способствовало снижению концентрации элемента в зерне пшеницы: цеолит в дозах 15 и 30 т/га – на 40 и 67 %, доломитовая мука и глина (при раздельном и совместном применении) – на 79–86 %. На вариантах с использованием глины и доломитовой муки содержание Cd в зерне пшеницы было ниже МДУ.

Зерно ячменя на вариантах с применением ОСВ без мелиорантов накапливало Cd в количестве, превышающем МДУ в 1,5 раза. После внесения мелиорантов содержание Cd снизилось при использовании глины – на 17 %, доломитовой муки – на 23 %, ВК – на 28 %, глины и доломитовой муки – на 45%. На вариантах с ВК и доломитовой мукой концентрация Cd в зерне ячменя находилась на МДУ. Ni и Pb в зерне и соломе озимой пшеницы и ячменя не обнаружено. Cu ячмень и пшеница накапливали в допустимых пределах. Мелиоранты показали высокую эффективность в снижении концентрации металла в растениях. В наибольшей степени поступление Cu в растения снижалось на варианте с совместным использованием доломитовой муки и глины. Эффективным приемом оказалось внесение доломитовой муки.

Обработка семян овса перед посевом раствором гумусовых веществ  $V_{ГН}$  ( $1 \cdot 10^{-3}$ ) оказала влияние на качество его зерна. Так, содержание белка возросло на 5 % на вариантах с внесением вермикомпоста, доломитовой муки (отдельно и совместно с глиной), а содержание фосфора и калия на 10 и 7 %, соответственно.

Таким образом, рассматриваемые в опыте мелиоранты по своему влиянию на величину  $K_c$  ТМ и  $Z_c$  в зерне ячменя располагаются в следующий убывающий ряд: торф + доломитовая мука  $\geq$  глина > цеолит 15т/га > доломитовая мука > цеолит 30т/га  $\geq$  глина + доломитовая мука.

Сочетания глина + доломитовая мука и торф + доломитовая мука занимают полярные места в выделенном ряду мелиорантов по значениям  $K_c$  Cd, Cu, Ni, Zn. На основании максимальных значений  $K_c$  вариантов 2–8 формируется следующий ряд элементов: Cd > Cr > Ni > Zn > Cu. Сравнивая величины  $K_c$  ТМ в зерне ячменя со степенью их подвижности в почве следует выделить высокую транслокационную активность Cd и гораздо более низкую Cu, Zn, Ni [4, 8, 12].

### ***Вопросы к семинару***

1. Каково влияние последствий ОСВ и мелиорантов на показатели плодородия почвы?
2. Каково влияние ОСВ и мелиорантов на агроэкологические показатели почвы?
3. Как оценить загрязнение почвы на основе суммарного индекса ( $Z_c$ )?
4. Как оценить уровень биологического поглощения тяжелых металлов растениями?
5. Какова специфика воздействий ОСВ на урожайность сельскохозяйственных растений?

6. Как оценить качество продукции и эффективность действия мелиорантов?

### **Вопросы коллоквиума к практическим занятиям 6–7**

---

1. Что такое нормирование и какую проблему оно решает в охране почв?
2. Назовите основные позиции первого этапа исследований по установлению принципиальной возможности использования отхода в качестве удобрения.
3. Назовите основные позиции второго этапа исследований по установлению принципиальной возможности использования отхода в качестве удобрения.
4. Назовите основные позиции третьего этапа исследований по установлению принципиальной возможности использования отхода в качестве удобрения.
5. Какие природоохранные меры должны быть направлены на увеличение прочности закрепления ТМ почвой?
6. Назовите основные факторы мелиорации почв, загрязненных ТМ?
7. Назовите методы и приемы санации почв, приводящие к уменьшению токсического действия ТМ?
8. Какие три критерия необходимо учитывать при оценке различных способов санации почв, загрязненных ТМ?
9. Почему реабилитация почв с помощью растений (фиторемедиация) является самым дешевым и экологически безопасным приемом?
10. Почему в почве образуются формы высокомолекулярных органических хелатов – меди, цинка и хрома?
11. Назовите методы, которые приводят к уменьшению или ликвидации техногенного загрязнения агроландшафтов тяжелыми металлами?
12. Какие методы детоксикации почв могут оптимизировать водный режим почв, снизить подвижность токсикантов?
13. Какие методы детоксикации почв могут довести реакцию среды до оптимального уровня, при котором подвижные соединения тяжелых металлов переходят в недоступную для сельскохозяйственных культур форму?
14. Какие методы детоксикации почв могут создать искусственные биогеохимические барьеры, обеспечивающие снижение концентрации в почве подвижных форм тяжелых металлов?
15. Для чего необходимо знать и в дальнейшем учитывать химический состав осадков сточных вод и мелиорантов?
16. Какими методами можно проводить санацию почв?
17. Какое действие и последствие оказывают ОСВ и мелиоранты на показатели плодородия пахотного слоя почвы?
18. Какие агроэкологические критерии необходимы для получения безопасной сельскохозяйственной продукции?

19. Какие органические удобрения на основе осадков сточных вод вы знаете?

20. Почему при совместном действии их и мелиорантов происходит уменьшение содержания группы ТМ в зерне ячменя?

21. Назовите критерии для выявления масштаба миграции и степени загрязнения почвы.

22. На основе какого показателя можно оценить уровень биологического поглощения ТМ растениями? Назовите формы нахождения ТМ в почве.

23. Какие агроэкологические рекомендации необходимо учесть при совместном использовании мелиорантов и ОСВ в различных климатических зонах?

24. Какие исследования необходимо провести для иммобилизации ТМ в почве путем комплексного внесения мелиорантов с повышенной нейтрализующей и сорбционной способностью для получения экологически безопасной продукции?

25. Почему внесение ОСВ совместно с детоксикантами приводит к увеличению урожая культур?

## Список использованной литературы

1. Агрэкология / В. А. Черников [и др.]; под ред. В. А. Черникова, А. И. Чекерса. – Москва: Колос, 2000. – 536 с.
2. Агрэкология. Методология, технология, экономика / В. А. Черников [и др.]; под ред. В. А. Черникова, А. И. Чекерса. – Москва: Колос, 2004. – 400 с.
3. Криволицкий, Д. А. Введение в биогеоценологию: учеб. пособие / Д. А. Криволицкий, А. Д. Покаржевский. – Москва: Изд-во МГУ, 1990. – 105 с.
4. Герасименко, В. П. Практикум по агрэкологии: учеб. пособие / В. П. Герасименко. – Санкт-Петербург: Лань, 2009. – 432 с.
5. Сорокин, Н. Д. Справочник нормативно-правовых актов по вопросам обеспечения экологической безопасности / Н. Д. Сорокин. – Санкт-Петербург: Интеграл, 2006, 420 с.
6. Обращение с опасными отходами / под ред. В. М. Гарина и Г. Н. Соколовой. – Москва: Проспект, 2005. – 224 с.
7. Титова, В.И. Обоснование использования отходов в качестве вторичного материального ресурса в сельскохозяйственном производстве: учеб. пособие / В. И. Титова, М. В. Дабахов, Е. В. Дабахова. – Нижний Новгород: Изд-во ВВАГС, 2009. – 177 с.
8. Гринин, А.С. Промышленные и бытовые отходы. Хранение, утилизация, переработка: учеб. пособие / А. С. Гринин, В. Н. Новиков. – Москва: Изд. дом «Гранд-Фаир», 2002. – 335 с.
9. Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» (с послед. изм. и доп. 2009 г.). - № 89-ФЗ от 24.06.1998.
10. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» №7-ФЗ от 10.01.2002.
11. РЕЦИКЛИНГ ОТХОДОВ. Спец. инфр-аналит журнал, С.-Петербург, № 1-6, 2008.
12. СанПиН 2.1.7.573-2000. ГОСТ «Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений».
13. Троян, Т.Н. Формирование эффективного бобово-ризобияльного симбиоза и его роль в повышении продуктивности агрэкосистем: дис. ...канд. биол. наук: 03.02.08 – Экология / Троян Татьяна Николаевна; ФГОУ ВПО «КГТУ». – Москва, 2010. – 154 с.
14. Методическое руководство по проектированию применения удобрений в технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия / под ред. А. Л. Иванова, Л. М. Державина. – Москва: Типография Россельхозакадемии, 2008. – 392 с.
15. Бедарева, О. М. Лугопастбищное хозяйство с основами кормопроизводства: практикум для студентов высших учебных заведений, обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки 110100 – Агрехимия и агропочвоведение / О. М. Бедарева, А. В. Курманская. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – 113 с.



16. Бедарева, О. М. Кормопроизводство: учеб.-метод. пособие по лабораторному практикуму для студентов высших учебных заведений, обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки «Агрономия» / О. М. Бедарева, Т. Н. Троян. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2016. – 79 с.

17. Бедарева, О. М. Кормопроизводство: учеб.-метод. пособие по выполнению курсовой работы для студентов, обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки «Агрохимия и агропочвоведение» / О. М. Бедарева, Т. Н. Троян. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2016. – 43 с.

18. Дабахов, М. В. Тяжёлые металлы: экотоксикология и проблемы нормирования / М. В. Дабахов, Е. В. Дабахова, В. И. Титова. – Нижний Новгород: Изд-во ВВАГС, 2005.

19. Бедарева, О. М. Основы агроэкологии: учеб.-метод. пособие по практическим занятиям для студентов высших учебных заведений, обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки «Агрохимия и агропочвоведение» / О. М. Бедарева, Л. С. Мурачёва, А. В. Матюха. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2014. – 129 с.

Введение.....	3
Практическое занятие 1. <b>ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ И РЕСУРСНЫЕ ЦИКЛЫ</b> .....	4
Практическое занятие 2. <b>СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ (АГРОЭКОСИСТЕМ)</b> .....	11
Практическое занятие 3. <b>ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ АГРОХИМИЧЕСКИМИ ВЕЩЕСТВАМИ</b> .....	21
Практическое занятие 4. <b>ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПАХОТНЫХ ПОЧВ ПЕСТИЦИДАМИ</b> .....	27
Практическое занятие 5. <b>ОЦЕНКА РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АГРОЭКОСИСТЕМ</b> .....	32
Практическое занятие (семинар) 6. <b>ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ</b> .....	39
Практическое занятие (семинар) 7. <b>АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ МЕЛИОРАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ</b> .....	47
Список использованной литературы.....	56

*Учебное издание*

Ольга Михайловна Бедарева  
Татьяна Николаевна Троян,  
Любовь Семеновна Мурачёва

## **СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ**

*Редактор И.В. Голубева*

Подписано в печать 27.07.2021 г. Формат 60 × 90 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Уч.-изд. л. 4,0. Печ. л. 3,7. Тираж 50 экз. Заказ № 60

Издательство федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет».  
236022, Калининград, Советский проспект, 1