

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

**Т. Н. Троян**

## **ЭКОТОКСИКОЛОГИЯ И РАДИОЛОГИЯ**

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов,  
обучающихся в бакалавриате по направлениям подготовки  
35.03.04 – Агрономия

Калининград  
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»  
2023

УДК 632.95:631.95:539.1.04:632.118.3

Рецензент

кандидат биологических наук, доцент кафедры агрономии и агроэкологии  
ФГБОУ ВО «КГТУ» Е. А. Барановская

Троян, Т. Н.

Экотоксикология и радиология: учеб.-методич. пособие по изучению дисциплины для студентов, обучающихся в бакалавриате по напр. подгот. 35.03.04 – Агрономия / Т.Н. Троян. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 29 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Экотоксикология и радиология» представлены учебно-методические материалы по освоению тем лекционного курса, включающие подробный план лекции по каждой изучаемой теме, вопросы для самоконтроля студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.03.04 – Агрономия.

Табл. 9, рис. 1, список лит. – 13 наименований

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины «Экотоксикология и радиология» рассмотрено и рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала на заседании кафедры агрономии и агроэкологии 25 января 2023 г., протокол № 8

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины «Экотоксикология и радиология» рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала методической комиссией института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 30 января 2023 г., протокол № 1

УДК 632.95:631.95:539.1.04:632.118.3

© Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный  
технический университет», 2023 г.  
© Троян Т. Н., 2023 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН.....	5
2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	7
3 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К АТТЕСТАЦИИ.....	24
4 СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ.....	26
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	27

## ВВЕДЕНИЕ

Синтезируемые пестициды, применяемые с 1945 года, открыли новую эру защиты урожая от вредных организмов (болезней, вредителей, сорных растений) [1], а сельское хозяйство перешло от экстенсивного к интенсивному типу развития. Благодаря интенсивным технологиям было обеспечено сохранение урожаев на 30 %, что открыло широкую перспективу для химической промышленности.

Постепенно живые организмы приобретали устойчивость к пестицидам. Возникла необходимость увеличения норм и кратности использования; требовалось заменять устаревшие пестициды, новыми, обладающими более высокой эффективностью. Увеличение общих объемов применения пестицидов привело к повышению пестицидной нагрузки на агроэкосистемы с одной стороны. Так в 60–70 гг. 20 в. сформировалась научное направление *экотоксикология* (или экологическая токсикология) – наука, исследуемая реакции биологических систем надорганизменного уровня (популяций, сообществ, биоценозов) на химическое загрязнение среды.

С другой стороны, с момента активного освоения атомной энергетики, рассеивания искусственных радионуклидов и вовлечение их в миграционные цепи «*радиоактивные вещества – почва – сельскохозяйственные растений – сельскохозяйственные животные – человек*» появилась потребность в радиационном мониторинге сельскохозяйственной сферы, для оценки содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции. В этом направлении сформировалась наука *сельскохозяйственная радиология*, изучающая закономерности миграции радионуклидов по биологическим цепям и действие ионизирующих излучений как одного из ведущих факторов современной биосфере на сельскохозяйственные растения, животных, агроценозы [2].

На сегодняшний момент риски отрицательного влияния на экологию агроландшафтов максимально высоки. В связи с этим при подготовке бакалавров по направлению 35.03.04 – Агрономия, одновременно при изучении традиционных сельскохозяйственных дисциплин, читается дисциплина «*Экотоксикология и радиология*», что продиктовано развитием экотоксикологической и радиологической наук, ориентированных на мониторинг загрязнения окружающей среды пестицидами, радионуклидами и другими средствами. В рамках этих наук разрабатываются меры предупреждения и ликвидации последствий, связанных с антропогенной деятельностью.

Цель освоения дисциплины – формирование представлений о прикладных, статистических и экспериментальных методах исследований в агроэкологии, являющихся основой для решения профессиональных задач аграрного производств.

При необходимости для обучающихся инвалидов или обучающихся с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

# 1 ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

При освоении дисциплины «Экотоксикология и радиология» модуля по выбору 2 «Агроэкология» образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 35.03.04 – Агрономия предусматривается аудиторная работа обучающегося – лекции (таблица 1), лабораторные занятия и внеаудиторная самостоятельная деятельность.

Таблица 1 – Объем (трудоемкость освоения) и структура лекционных занятий

Номер темы	Содержание лекционного занятия	Кол-во ч	
		очная форма	заочная форма
1	Введение в дисциплину: цели, задачи	2	0,5
2	Экологическая токсикология – наука об окружающей среде	2	0,5
3	Токсические вещества в агропромышленном производстве	2	–
4	Накопление и миграция радионуклидов в биосфере и экосистеме	2	–
5	Накопление радионуклидов растениями и животными	2	–
Итого		10	–

При реализации дисциплины «Экотоксикология и радиология» организуется практическая подготовка путем проведения практических и лабораторных работ, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

В результате изучения дисциплины студент должен:

*знать:*

- химические вещества, входящие в группу экотоксикантов и суперэкотоксикантов, их свойства и характеристики;
- параметры воздействия токсических веществ на растение;
- физические основы радиологии, основные законы и понятия;
- основы биологического действия ионизирующего излучения;
- основы дозиметрии ионизирующего излучения;
- основы радиоэкологической экспертизы;

*уметь:*

- анализировать воздействие токсических веществ на декоративные растения;
- проводить оценку уровня содержания радионуклидов на основе анализа радиоэкологической ситуации и существующих нормативных документов;

– разрабатывать стратегию и основные принципы ведения декоративного садоводства в условиях радионуклидных загрязнений территорий;

*владеть:*

– навыками регулирования экотоксической и радиационной нагрузки на почвенный покров и декоративные растений;

– навыками оценки содержания загрязняющих веществ в почвах;

– навыками работы с нормативными правовыми документами.

## 2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Для успешного освоения дисциплины «Экотоксикология и радиология» в учебно-методическом пособии по изучению дисциплины приводится краткое содержание каждой темы занятия, перечень ключевых вопросов для самоконтроля работы студентов.

Осваивая курс дисциплины, студент должен научиться работать на лекциях, лабораторных работах и организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность.

В начале лекции необходимо уяснить цель, которую лектор ставит перед собой и студентами. Важно внимательно слушать, отмечать наиболее существенную информацию и кратко ее конспектировать. По ходу лекции следует подчеркивать новые термины, определения, устанавливать их взаимосвязь с изученными ранее понятиями; сравнивать то, что услышано на лекции с прочитанным и усвоенным ранее материалом в области радиологических и экотоксикологических исследований устойчивости экосистем, укладывать новую информацию в собственную, уже имеющуюся, систему знаний.

### Тема 1. Введение в дисциплину: цели, задачи

#### *Ключевые вопросы темы*

1. Цель и задачи освоения дисциплины. Место дисциплины в структуре образовательной программы.
2. История становления наук токсикология и радиология.
3. Понятие экосистемы. Естественные экосистемы и агроценозы.
4. Основные понятия и задачи экотоксикологии.
5. Основные понятия и задачи сельскохозяйственной радиологии.

*Ключевые понятия:* экосистема, радиология, радиационный контроль, радиационная безопасность, природные радионуклиды.

*Литература:* [2, с. 6–9], [3, с. 3–13], [4, с. 5–17], [5, с. 3–6, 6–22], [6, с. 3–10].

#### *Методические рекомендации*

В первом вопросе раскрываются цели, задачи, место дисциплины «Экотоксикология и радиология» в структуре образовательной программы; говорится о знаниях и навыках, полученных при изучении дисциплины.

В рамках второго вопроса обучающийся познакомится с историей развития становления наук токсикология и радиология; узнает о том, что проблема влияния веществ на живые организмы насчитывает более чем 1000-летнюю историю. Еще издревле люди использовали яды для охоты, в

военных целях, в религиозных культах и т.п. Учение о вредном действии вещества на организм человека разрабатывали Гиппократ (около 460–377 гг. до н.э.), Гален (около 130–200 гг.), Парацельс (1493–1541 гг.), Рамацзини (1633–1714 г.) [6].

Развитие химии в XVIII–XIX веках дало новый толчок развитию учения о ядах. Это учение начало опираться на знание строения и свойств вещества. Научная и хозяйственная деятельность человека привела к воздействию на человека и окружающую среду миллионов химических соединений, многие из которых раньше были несвойственны нашей биосфере.

В настоящее время описано свыше 18 млн синтетических химических веществ, из них от 50000 до 100000 реально используются в промышленных целях. Часть из них выбрасывается в окружающую среду в виде отходов. Площадь почвенного покрова в России, загрязненная тяжелыми металлами и фтором достигла 3,6 млн гектаров, а площадь почвенного покрова с высокой степенью загрязнения составляет 253 тыс гектаров. В результате в организме каждого из нас сейчас содержатся сотни антропогенных химических веществ – ядов ранее неизвестных человеку. Человечество живет в токсической среде, изученной по химическим веществам менее чем на 10 %, и лекарственным средствам на 40 %.

Люди столкнулись с тем фактом, что сброс отходов в одном регионе вызывает отсроченные токсические эффекты у организмов, обитающих за сотни, а то и тысячи километром от источника выбросов. В результате формирования «техногеннозависимых пищевых цепей» конечным звеном и жертвой становится человек. Стойкие органические загрязнители (СОЗ) и тяжелые металлы возвращаются, подобно бумерангу, их производителям.

Примером может служить ситуация с загрязнением окружающей среды метилированной ртутью, циркулирующей повсеместно за пределами мест ее использования. Рост концентрации ртути отмечен даже в морских рыбах и млекопитающих Арктики. В большей мере метилртуть обнаруживается у населения потребляющего рыбу. Чтобы защитить нерожденных еще детей от загрязнения метилртутью и пестицидами медики рекомендуют ограничить употребление морепродуктов женщинам детородного возраста. Тревожат высокие концентрации перфторорганических соединений, обнаруживаемых в организмах арктических животных высших трофических уровней: рыбе, хищных птицах, норке обитающих на большом удалении от источников загрязнения.

При запуске ракетносителей в воздухе распыляются компоненты ракетного топлива, вызывающие патологию печени и нервной системы. Это создает прямую угрозу жизни и здоровью людей, появлению так называемых «желтых детей гептила». В местах, загрязненных компонентами ракетного топлива, обнаружены мутантные формы домашних птиц, животных, растительности. Это стало толчком для развития радиологии, в том числе сельскохозяйственной.

Толчком для зарождения экотоксикологии, считается, что послужила книга Рашель Карсон «*Молчалива весна*», в которой впервые были описаны случаи массовой гибели птиц и рыб от бесконтрольного использования пестицидов – «стойких органических загрязнителей». Карсон сделала вывод, что СОЗ опас-



ны не только для представителей дикой природы, но и для человека. Книга инициировала разработку законодательных актов, регламентирующих выбросы ксенобиотиков [5].

Позднее Т. Колборн в книге «*Наше украденное будущее*» показал, что синтезированные человеком хлорорганические соединения нарушают формирование, функционирование и воспроизводство организмов, в том числе и человека.

В самостоятельную науку экотоксикология выделилась в конце 60-х г. Три дисциплины – химия, экология, токсикология были объединены в единую научную дисциплину. Термин «экотоксикология» введен в 1969 г., специальной комиссией по экологической токсикологии при международном научном комитете по охране окружающей среды.

В России первые гигиенические нормативы на стойкие органические загрязнители были разработаны в 60-е гг. XX в. в Уфимском НИИ гигиены и профзаболеваний.

Большую роль в развитие нового направления сыграл А. М. Бейм, организовавший институт экологической токсикологии в Байкальске.

Закономерности накопления и миграции радионуклидов в биосфере и экосистеме и действие их на агроценозы. В прикладном плане радиология обосновывает принципы эффективного радиационного и экологически безопасного ведения жизнедеятельности человека на территориях, подвергающихся радиационному загрязнению.

При изучении третьего вопроса, обучающимся необходимо обратить внимание на раскрытие общих понятий «экосистема», «агроценоз», «радиология», «радиационный контроль», «радиационная безопасность», «природные радионуклиды».

В четвертом вопросе раскрываются понятия и задачи экотоксикологии.

Токсикология – наука о взаимодействии организма и яда (от греч. *toxícoi* – яд, служащий для смазывания стрелы, *logos* – учение).

В отличие от медицинской (в 1969 г.) сформировалась экологическая токсикология, или экотоксикология, которая представляет собой «междисциплинарное научное направление, связанное с изучением токсических эффектов действия химических веществ на живые организмы, преимущественно на популяции организмов и биоценозы, входящие в состав экосистем.

Она изучает:

- 1) источники поступления вредных веществ в окружающую среду;
- 2) их распределение и превращение в окружающей среде;
- 3) действие на живые организмы.

Человек, несомненно, является наивысшей ступенью в ряду биологических мишеней.

В 90-х гг. было дано определение химической экотоксикологии, как «области знаний, которая суммирует экологические и токсикологические эффекты химических загрязнителей на популяции, сообщества и экосистемы, прослеживая их судьбу (транспорт, трансформацию и удаление) в окружающей среде».

При этом в первую очередь рассматриваются токсические эффекты стойких органических загрязнителей (СОЗ) и тяжелых металлов (ТМ) мигрирующих по трофическим цепям.

К СОЗ относятся вещества, период полураспада которых в различных объектах окружающей среды (ОС) превышает 50 сут. На январь 2009 г. было зарегистрировано 168 СОЗ.

Основным предметом экологической токсикологии являются биологические системы надорганизменного уровня, подверженные антропогенному загрязнению. *Экотоксикология пользуется классическими приемами токсикологии, имея при этом и свои собственные методы и объекты исследований.*

Основной объект изучения:

- в классической токсикологии – человек,
- в экотоксикологии – вся биосфера в целом (человек всего лишь одно из звеньев трофических цепей).

#### Задачи экотоксикологии

1. Выявление источников загрязнения окружающей среды.
2. Разработка методов анализа экотоксикантов в объектах окружающей среды
3. Изучение маршрутов поллютантов в почве, воде, атмосфере, растениях, животных и по трофическим цепям в целом заключаемых человеком.
4. Исследование механизмов токсичности и разработка критериев оценки вредности действия экотоксикантов.
5. Разработка основ регламентирования экотоксикантов в различных объектах окружающей среды.
6. Прогнозирование опасности загрязнения окружающей среды для людей, животных, растений и экосистем в целом.
7. Разработка методов утилизации отходов [3–6].

В рамках пятого вопроса, по аналогичному пути предыдущего вопроса, рассматриваются основные понятия и задачи сельскохозяйственной радиологии.

#### Задачи радиологии:

1. Ограничение вовлечения радионуклидов в биологический круговорот;
2. Снижение содержания радиоактивных веществ в растениях, животных, продукции растениеводства и животноводства/

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Чем отличается экосистема от агроценоза?
3. Радиологическая обстановка в мире.
4. Экологическая оценка источников радионуклидного загрязнения.
5. Локальные, региональные и глобальные выпадения радионуклидных загрязнений.
6. Состав и распространение радионуклидных загрязнений, образующихся при ядерных взрывах, авариях на ядерных производствах и АЭС, на различных этапах ядерного топливного цикла.

## Тема 2. Экологическая токсикология – наука об окружающей среде

*Ключевые вопросы темы:*

1. Загрязнители окружающей среды. Виды загрязнения.
2. Параметры токсикометрии
3. Поступление, транспорт, распределение, превращение и выделение ядов из организма.
4. Основные токсиканты в природных средах.

*Ключевые понятия:* загрязнение окружающей среды, ксенобиотик, эко-поллютант, экотоксикант, экотоксикокинетика, экотоксикодинамика, биоаккумуляция, персистентность ксенобиотиков, меры токсичности, доза, концентрация, минимальная токсическая доза, летальные дозы.

*Литература:* [4, с.17–23, 8–17, 37–75], [5, с. 22–32], [6, с. 10–36].

*Методические рекомендации*

Слово «загрязнение» стало обыденным – оно наводит мысль об отравлении воды, воздухе, почве. Загрязнение бывает химическим и физическим, биологическим и генетическим.

*Загрязнение окружающей среды* может быть природным, катастрофическим и антропогенным; оно отрицательно влияет на свойства биосферы, однако конкретные механизмы этого влияния различны и зависят от того, какая среда – воздух, вода или почва – загрязнена [7]. Поэтому изучение первого вопроса начинается с определения «загрязнение окружающей среды».

*Загрязнение окружающей среды (ОС)* – поступление в ОС вещества или энергии, свойства, местоположение или количество которых оказывают негативное воздействие на ОК.

*Загрязняющее вещество* – вещество или смесь веществ, количество или концентрация которых превышают установленные для химических веществ нормативы и оказывающие негативное воздействие на ОК.

Опасные для человека и других живых организмов токсические химические вещества получили название токсикантов, экотоксикантов, ксенобиотиков, загрязнителей, контаминантов.

*Контаминанты* – экологически вредные вещества, аккумулируемые в пищевых продуктах из окружающей среды в опасных количествах.

*Ксенобитотиками* (от греч. *xenos* – чужой и *bios* – жизнь) называют чужеродные вещества, не встречающиеся ранее в биосфере химические соединения (промышленные загрязнения, пестициды, препараты бытовой химии, лекарственные средства и т. п., т. е. вещества, не образующиеся в живом объекте, а синтезируемые искусственно человеком).

Для веществ, которые вызывают не только интоксикацию, но провоцируют и другие формы токсического процесса (организма и биологических систем иных уровней организации – клеток, популяций),

употребляют термин – *токсикант*. В качестве токсикантов (ядов) могут выступать практически любые химические соединения, которые вызывают повреждение или гибель, действуя на биологические системы не механическим путем (Куценко).

*Экотоксикантом* называют токсичное и устойчивое в условиях окружающей среды вещество, способное накапливаться в организмах до опасных уровней.

Синонимов этих понятий является термин ЯД [6].

Под опасностью яда понимают возможность возникновения интоксикации при действии яда в естественных условиях.

*Яд* – вещество, оказывающее на организм химическое воздействие и вызывающее в нем патологические изменения. Парацельс говорил: «Все есть яд, и ничто не лишено ядовитости, одна лишь доза делает яд незаметным».

*То есть, одно и то же вещество может быть вредным (ядом), лекарством и необходимым для жизни средством в зависимости от его количества и условий взаимодействия с организмом.*

В результате важно усвоить понятия «ксенобиотик», «экополлютант», «экотоксикант», «экотоксикокинетика», «экотоксикодинамика», «биоаккумуляция», «персистентность ксенобиотиков».

Вредные вещества характеризуются степенью токсичности и опасности.

*Токсичность* – способность веществ вызывать нарушения физиологических функций организма, приводящие к заболеваниям (интоксикации, отравлениям) или тяжелым случаям гибели. Чем меньше токсическая доза, тем выше токсичность.

*Опасность* – это вероятность проявления вредного действия химического вещества. Различают потенциальную (скрытую) опасность, проявление которой зависит от свойств вещества и условий окружающей среды, и реальную – зависящую как от свойств токсиканта, так и особенностей внутренней среды организма.

*Идентификация опасности* – процесс установления причинной связи между концентрацией (дозой) и экспозицией химического вещества в условиях окружающей среды и частотой развития и/или тяжестью неблагоприятных эффектов на организм.

Экотоксиканты могут вызывать *локальные* (точечные), *хронические региональные* и *глобальные* загрязнения окружающей среды.

К *локальным* загрязнениям относятся разовые выбросы токсических веществ в окружающую среду в результате аварий, взрывов, пожаров, стихийных бедствий. Их последствия чаще проявляются на небольшой территории вблизи места выброса.

Под *хроническим региональным загрязнением* понимают продолжительное во времени поступление в окружающую среду экотоксикантов в существенных количествах. В результате происходит загрязнение довольно крупного района (речной системы, бассейна водосбора, природно-территориального комплекса). Подобное загрязнение возникает в связи с работой крупных промышленных предприятий, энергетических установок, городских хозяйственных объектов и др. При этом малоток-

сичные вещества поступают в окружающую среду, как правило, в больших количествах, а высокотоксичные – в малых.

К *глобальным* относятся загрязнения окружающей среды в больших количествах и в течение длительного времени, охватывающие значительную часть земной поверхности. Примерами таких загрязнений являются постоянно увеличивающееся поступление в атмосферу углекислого газа и фреонов, радиоактивные осадки после атомных и термоядерных взрывов в атмосфере [6].

Во втором вопросе изучаются параметры токсикометрии – раздела экотоксикологии, в рамках которого рассматриваются методические приемы, позволяющие количественно оценить (перспективно и ретроспективно) экотоксичность ксенобиотиков.

Термин «токсомертия», т. е. «измерение токсического действия» впервые предложен Н. С. Правдиным в 30-х гг. XX в.

Н. С. Правдин писал: «...появление качественных отличий в характере действия обычно предшествуют количественные изменения в силе действия».

*Токсикометрия* – совокупность унифицированных методов, используемых для количественной оценки токсичности химических веществ, основанных главным образом на экспериментах с животными.

Таблица 2 – Основные параметры экотоксикометрии [6]

Предельно допустимая концентрация	↓	ПДК
Концентрация при которой не наблюдается эффект		NOEC
Уровень воздействия, при котором не наблюдается эффект		NOEL
Порог хронического действия		Lim <sub>ch</sub>
Наименьший уровень воздействия, при котором наблюдается эффект		LOEL
Фактор биоаккумуляции		BCF
Порог однократного (острого) специфического, избирательного действия		Lim <sub>ac ps</sub>
Порог однократного общетоксического действия		Lim <sub>ac</sub>
Среднесмертельная концентрация вредного вещества		CL <sub>50</sub>
Смертельная доза вредного вещества, вызывающая гибель 50 % подопытных животных при однократном введении в желудок, внутривенно или перкутанно.		DL <sub>50</sub>
Смертельное время		ET <sub>50</sub>

Меры токсичности. Одно и то же вещество, воздействуя на организм в различных количествах, вызывает неодинаковый эффект. Минимальная действующая, или пороговая, доза (концентрация) ядовитого вещества – это такое его наименьшее количество, которое вызывает явные, но обратимые изменения жизнедеятельности организма.



*Минимальная токсическая доза* – это уже гораздо большее количество яда, вызывающее отравление с комплексом характерных патологических сдвигов в организме, но без смертельного исхода. (Чем сильнее яд, тем ближе величины минимально действующей и минимально токсической доз). Летальная (смертельная) доза – это количество яда, которое приводит человека (или животное) к гибели при отсутствии лечения.

Летальные дозы определяются в результате опытов на животных. В экспериментальной токсикологии чаще всего пользуются средней летальной дозой (DL50) или концентрацией яда (CL50), при которых погибает 50 % подопытных животных. Если же наблюдается 100%-ная их гибель, то такая доза или концентрация обозначается как абсолютная летальная (DL100 и CL100).

Понятие токсичности (ядовитости) означает меру несовместимости вещества с жизнью и определяется величиной, обратной DL50(CL50), т. е. в естественных условиях возможность возникновения отравления зависит не только от токсичности, но и от других факторов, объединенных термином «опасность ядовитого (отравляющего) вещества». К ним относятся зона острого токсического действия вещества, летучесть и стойкость химического вещества, его водо- и жирорастворимость.

Так, ингаляционная опасность вредных газов тем больше, чем выше летучесть этих газов и чем меньше токсодозы.

*Доза* – (от греческого *dosis* – порция) точно отмеренное количество вещества.

*Концентрация* – отношение количества вещества к объему смеси, раствора.

Единицы измерений:

дозы – (мг/кг или мл/кг);

концентрации – (мг/м<sup>3</sup>, мг/л).

Третий вопрос посвящен поступлению, транспорту, распределению, превращению и выделению ядов из организма.

Важно записать основные пути поступления ядов, ксенобиотиков в организм:

- Ингаляционный;
- пищеварительный тракт;
- кожные покровы;
- через плаценту.

В рамках четвертого вопроса рекомендуется записать основные токсиканты в природных средах: загрязнение атмосферы (кислотные дожди, парниковый эффект, нарушение озонового слоя), загрязнение воды (микроорганизма, водоросли). Изменение ксенобиотического профиля может явиться следствием избыточного накопления в среде одного или многих экополлютантов (таблица 3).

Вредные вещества, образующиеся в организме, называются эндогенными, вне организма – экзогенными (чуждые живому организму).

Таблица 3 – Перечень основных экополлютантов

Загрязнители воздуха	Загрязнители воды и почвы
Газы:	
Оксиды серы	Металлы (свинец, мышьяк, кадмий, ртуть)
Оксиды азота	Пестициды хлорорганические (ДДТ, алдрин, диэлдрин, хлордан)
Оксиды углерода	Нитраты
Озон	Фосфаты
Хлор	Нефть и нефтепродукты
Углеводороды	Органические растворители (толуол, бензол, тетрахлорэтилен)
Фреоны	Низкомолекулярные галогенированные углеводороды (хлороформ, бромдихлорметан, бромформ, тетрахлорметан, дихлорэтан)
Пылевые частицы:	Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ)
Асбест	Полихлорированные бифенилы
Угольная пыль	Диоксины
Кремний	Дибензофураны
Металлы	Кислоты

По характеру воздействия на организм ксенобиотики делят на общетоксические, раздражающие, сенсibiliзирующие, канцерогенные, мутагенные и влияющие на репродуктивную функцию.

### Тема 3. Токсические вещества в агропромышленном производстве

#### *Ключевые вопросы темы*

1. Источники экотоксикантов и пути поступления в АПК.
2. Миграция загрязнителей в агроэкосистеме.

#### *Ключевые понятия:*

*Литература:* [2, с. 6–9], [4, с. 75–151], [5, с. 22–59, 59–143, 143–197, 197–250], [6, с. 43–53, 53–59, 59–87].

При изучении первого вопроса раскрывается понятие антропогенного воздействия на окружающую среду, биоразнообразие (рисунок).

Антропогенное загрязнение может быть определено как неблагоприятная модификация естественной природной среды, имеющая следствием изменение сложившихся распределений потоков энергии, вещества, радиационного фона и проявляющаяся в изменении состояния биоты.

Основным объектом нормирования являются природные системы надорганизменного уровня. Экотоксикология рассматривает первичные токсические эффекты на молекулярно-генетическом уровнях в качестве пусковых механизмов нарушений природных экосистем на последующих популяционном и биоценоотическом уровнях [8].



Рисунок – последовательность антропогенного воздействия на биоразнообразие

Одним из источников антропогенного влияния на геохимию ландшафтов как урбанизированных территорий и сельскохозяйственных, так и близлежащих естественных экосистем, является масштабное применение минеральных ресурсов, ранее практически недоступных для живых организмов. Ежегодно из геосферы извлекается более 100 млрд тонн минеральных веществ, из которых 97–98 % превращается в отходы [7].

При сжигании угля, газа, углеводородов в окружающую среду выбрасывается углерод, азот, сера, йод, тяжелые металлы.

Источников поступления токсикантов в сельском хозяйстве являются агрохимикаты (минеральные и органические удобрения, мелиоранты) (таблица 4) [9].

Таблица 4 – Содержание токсичных элементов в агрохимикатах, мг/кг сухой массы

Элементы	Виды удобрений				Пестициды
	Фосфорные	Азотные	Известковые	Органические	
Мышьяк	2–1200	2,2–120,0	0,1–24,0	3–25	22–60
Кадмий	0,1–170,0	0,05–8,50	0,04–0,10	0,3–0,8	–
Кобальт	1–12	5,4–12,0	0,4–3,0	0,3–24,0	–
Хром	66–245	3,2–19,0	10–15	5,2–55,0	–
Медь	1–300	1–15	2–125	2–60	12–50
Ртуть	0,01–1,20	0,3–2,9	0,05	0,09–0,20	0,8–42,0
Марганец	40–2000	–	40–1200	30–550	–
Молибден	0,1–60,	1–7	0,1–15,0	0,05–3,00	–
Никель	7–38	7–34	10–20	7,8–30,	–
Свинец	7–225	2–27	20–1250	6,6–15,0	60
Селен	0,5–25,0	–	0,08–0,10	2–4	–
Цинк	50–1450	1–42	10–450	15–250	1,3–25,0



С минеральными удобрениями в окружающую среду поступает большое количество токсических элементов – кадмий, свинец, цинк, ртуть, мышьяк. Например, концентрация фосфора в пресноводных водоемах мира, увеличилась за последние 50 лет на 75 %. Элемент поступает в водоемы со стоком поверхностных вод [7].

Наиболее богатыми по содержанию примесей тяжелых металлов являются фосфорные удобрения – двойной суперфосфат, аммофосы, аммофоски, нитрофоски, жидкие комплексные удобрения. Добываемые фосфориты в составе имеют свинец, кадмий [9].

Доля загрязнителей поступает с пестицидами, применяемыми в сельском хозяйстве: фунгициды, гербициды, инсектициды.

Пути поступления и деградации загрязнителей в окружающую среду из сферы АПК:

- 1) воздушная среда (с почвенной пылью, аэрозолью, испарением);
- 2) водная среда (смыв, снос, вымывание, осаждение, внесение);
- 3) педосфера (внесение в почву, осадки, прямое осаждение, с растительными остатками, с осадками с обработанных растений).

Во втором вопросе рекомендуется обратить внимание на пути миграции токсикантов по пищевым цепям, у некоторых из них отмечается ярко выраженный кумулятивный эффект. Поэтому информация о миграции, накоплении и распределении токсических элементов в почвах, кормах, органах и тканях животных поможет прогнозировать их содержание в сельскохозяйственных продуктах животного и растительного происхождения, нормировать поступление в пищевые цепи с целью получения экологически безопасного продовольствия [10].

В этом случае происходит непрерывный ряд превращений веществ в последовательных звеньях «жертва – хищник»; «трава – травоядные животные – человек»; «зерно – птицы» и «животные – человек». Вариации пищевых цепей будут индивидуальны для каждого вида живого организма и человека.

Накопление токсичных веществ в живых организмах увеличивается на каждом последующем трофическом уровне. Во всех случаях хищники, находящиеся в самом конце пищевой цепи, оказываются обладателями наиболее высокого уровня заражения. Накопление живыми организмами ряда химически неразрушающихся веществ (пестициды, радионуклиды и др.), ведущее к биологическому усилению их действия по мере прохождения в биологических циклах и по пищевым цепям, получило название «правило биологического усиления». В наземных экосистемах с переходом на каждый трофический уровень происходит, по крайней мере, 10-кратное увеличение концентрации токсичных веществ. В водных экосистемах накопление многих токсичных веществ коррелирует с массой жиров (липидов) в организме морских обитателей. Многократно установлено, что кумуляция веществ наблюдается по возрастанию:

донный планктон → рачки, моллюски, мальки → маленькие рыбки → рыбы среднего размера → крупные рыбы. В каждом новом звене концентрация

веществ увеличивается в разы, и даже десятки раз. Соответственно рыбная продукция, поступающая к пищевому звену «человек» содержит максимальное количество токсикантов.

*Вопросы для самоконтроля:*

1. Назовите источник поступления токсикантов в окружающую среду?
2. Как могут попадать экотоксиканты в водоемы?
3. Какие удобрения наиболее богаты по содержанию примесью тяжелых металлов?
4. Назовите пути поступления загрязнителей в окружающую среду.
5. Приведите пример миграции токсиканта?
6. Как вы понимаете «правило биологического усиления»?

#### **Тема 4 Накопление и миграция радионуклидов в биосфере и экосистеме**

*Ключевые вопросы темы*

1. Искусственные радионуклиды – значимые поллютанты окружающей среды.
2. Источники загрязнения.
3. Реабилитационные мероприятия на сельскохозяйственных угодьях, загрязненных радионуклидами

*Ключевые понятия:* естественные радионуклиды, искусственные радионуклиды, излучение, поллютанты, внешнее облучение, внутреннее облучение, естественные радионуклиды, техногенные радионуклиды.

*Литература:* [2, с. 47–59, 115–122, 127–137, 140–150], [3, с. 65–94, 105–205, 205–218].

*Методические рекомендации*

Радиоактивные вещества и изотопы стабильных химических элементов, отличающихся массовым числом и неустойчивым состоянием атомов, называются радионуклидами. Общее число известных радионуклидов превышает 1800, осуществление ядерных реакций приводит к синтезу новых радионуклидов. В зависимости от устойчивости ядер радионуклиды подразделяются на *короткоживущие* (период полураспада менее 10 сут.) и *долгоживущие* (большой период полураспада, у некоторых до 150 лет) [11].

Ионизирующим излучением называют любое излучение, при взаимодействии которого со средой, происходит образование заряженных атомов и молекул – ионов, приводящих к ионизации среды (таблица 5) [12]. Искусственные радионуклиды – радионуклиды, которых нет в природе. Лишь некоторые из них в ничтожных количествах встречаются в горных породах (таблица 6). Основная же их масса появилась в середине XX столетия в результате деятельности человека. Это продукты деления радиоизотопов, используемых при атомных взрывах и управляемых ядерных реакциях.

Таблица 5 – Виды ионизирующего излучения [12]

Корпускулярное		Фотонное	
Альфа-излучение	Поток, объединенных в единое целое двух протонов и двух нейтронов (ядро гелия)	Гамма излучение	Возникает при излучении энергетического состояния атомных ядер (включая ядерный распад) или при столкновении (аннигиляции) частицы с античастицей
Бета-излучение	Поток электронов или позитронов		
Протонное излучение	Поток протонов (ядер водорода)		
Нейтронное излучение	Поток нейтронов	Рентгеновское излучение	Электромагнитное излучение с очень короткой длиной волны (0,006–1 нм), является совокупность тормозного и характеристического излучения
Дейтронное излучение	Поток ядер изотопа водорода – дейтерия		
Потоки многозарядных ионов			
Продукты ядерных реакций деления			

Таблица 6 – Искусственные радиоактивные изотопы, имеющие важное значение в экологии [12]

Изотоп	Символ	Период полураспада	Преобладающий тип излучения
Стронций-90	$^{90}\text{Sr}$	28 лет	бета
Стронций-89	$^{89}\text{Sr}$	53 сут.	бета
Цезий-137	$^{137}\text{Cs}$	33 года	бета, гамма
Цезий-134	$^{134}\text{Cs}$	2,3 года	бета, гамма
Рутений-103	$^{103}\text{Ru}$	40 сут.	бета, гамма
Рутений-106	$^{106}\text{Ru}$	1 год	бета
Цирконий-95	$^{95}\text{Zr}$	65 сут.	бета, гамма
Барий-140	$^{140}\text{Ba}$	12,8 сут.	бета, гамма
Неодим-147	$^{147}\text{Nd}$	11,3 сут.	бета, гамма
Иттрий-91	$^{91}\text{Y}$	61 сут.	бета, гамма
Углерод-14	$^{14}\text{C}$	5730 лет	бета
Фосфор-32	$^{32}\text{P}$	14,5 сут.	бета
Железо-59	$^{59}\text{Fe}$	45 сут.	бета, гамма
Йод-131	$^{131}\text{I}$	8 сут.	бета, гамма
Кобальт-60	$^{60}\text{Co}$	5,27 лет	бета, гамма
Плутоний-239	$^{239}\text{Pu}$	$2,4 \cdot 10^4$ лет	альфа, гамма
Тритий-3 (тритий)	$^3\text{H}$	12 лет	бета
Криптон-85	$^{85}\text{Kr}$	10,4 года	бета
Ниобий-95	$^{95}\text{Nb}$	35 сут.	бета, гамма
Уран-233	$^{233}\text{U}$	$1,63 \cdot 10^5$ лет	альфа, гамма
Радон-222	$^{222}\text{Rn}$	3,82 дня	альфа

Искусственные радионуклиды легко включаются в пищевые цепи и накапливаются в живых организмах.

Энергия частиц, испускаемых этими изотопами, колеблется от 0,1 до 5 МэВ. В этом списке отсутствуют крайне короткоживущие радиоизотопы, которые не представляют интереса для экологии.

В настоящее время фоновые значения глобального радиоактивного загрязнения составляют: по стронцию-90 – 0,045, по цезию-137 – 0,08, по плутонию-239 – 0,005 Ки/км<sup>2</sup>.

Радиоактивные вещества, попадающие в атмосферный воздух, оседают и попадают в почву, а за несколько лет радионуклиды из почвы попадают в растения, что является основным путем попадания в пищу человека и животных. Поглощение почвами радионуклидов задерживает передвижение по профилю почвы и быстрому переходу в грунтовые воды, т. е. происходит аккумуляция их в верхних почвенных горизонтах. Внешнее облучение составляет 30 %, а внутренне зависит от попавших с пищей или водой радиоактивных веществ [12]

В третьем вопросе следует обратить внимание на принципы ведения сельского хозяйства на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению; внедрению комплекса защитных мероприятий, обеспечивающих производство экологически безопасной сельскохозяйственной продукции.

В рамках вопроса рассматривается реабилитация почв при радиоактивном загрязнении, а именно, группа технологических приёмов по закреплению и снижению подвижности радионуклидов в почве, что приводит к ограничению их поступления в растения, а, следовательно, в пищевые звенья «животные» и «человек».

Существуют критерии к оценке уровня загрязнения (таблица 7).

Таблица 7 – Критерии оценки загрязнения почв радионуклидами

Уровень загрязнения	Плотность загрязнения, кБк/м <sup>2</sup>		Мощность экспозиционной дозы, мкР/ч
	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	
Допустимый	<37	<11.1	<20
Умеренно опасный	37–185	11,1–18,5	20–55
Опасный	185–555	18,5–37,0	55–200
Высоко опасный	555–1480	37,0–111,0	200–400
Чрезвычайно опасный	>1480	>111.0	>400

При реабилитации радиоактивно загрязненных земель применяют физические, химические и биологические приёмы (таблица 8) [12].

В рамках агрохимических приёмов проводят известкование кислых почв, вносят повышенные дозы фосфорных и калийных удобрений, оптимизируют азотное питание, вносят микроэлементы, снижают пестицидную нагрузку.

Известкование загрязненных кислых почв способствует снижению поступления радионуклидов в сельскохозяйственные культуры в 1,5–3 раза.

Применение органических удобрений способствует к снижению накопления  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  сельскохозяйственными культурами в 1,2–2,5 раза в зависимости от уровня плодородия и вида культуры.

Таблица 8 – Классификация приёмов реабилитации загрязнённых радионуклидами земель сельскохозяйственного назначения

Группа приёмов восстановления		
Физическое	Химическое	Биологическое
Удален верхнего слоя почвы (5–10 см)	Известкование в дозе 1,0–2,0 Нг	Подбор видов сельскохозяйственных культур
Обработка почвы: – вспашка с оборотом пласта; – глубокое рыхление до 45 см	Внесение удобрений: – минеральных; – органических; – комплексных	Севообороты
Обработка дернины и почвы: фрезерование + вспашка с оборотом пласта	Применение сорбентов: – химических; – на основе природных мелиорантов	Применение биологически активных веществ
Комбинированная обработка дернины и почвы: фрезерование + дисковая обработка	Применение комплексных соединений, обладающих свойствами удобрений и сорбентов	Применение биопрепаратов на основе специализированных видов микроорганизмов

При загрязнении  $^{90}\text{Sr}$  наиболее эффективным является внесение повышенных (двойных) доз фосфорных удобрений. При этом рекомендуется внесение двойных доз калийных и азотных удобрений под запланированный урожай. Накопление  $^{90}\text{Sr}$  в урожае может быть снижено до 3 раз. Для  $^{137}\text{Cs}$  применение фосфорных удобрений менее эффективно – снижение накопления в урожае в 1,1–2,5 раза [13].

*Вопросы для самоконтроля:*

1. Естественный радиационный фон и его компоненты.
2. Ведение сельскохозяйственного производства на зараженной радионуклидами местности.
3. Чем определяется поведение радионуклидов в почве?
4. Что означает период полураспада радионуклида?
5. От чего зависит время наступления равновесного распределения радионуклидов в почве?
6. Расскажите о процессе миграции радионуклида по почвенному профилю.

## Тема 5. Накопление радионуклидов растениями и животными

### *Ключевые вопросы темы*

1. Аэральное выпадение радионуклидов на растительный покров.
2. Поступления радионуклидов в растения из почвы.
3. Очищение растений от радионуклидов.
4. Перенос радионуклидов по сельскохозяйственным цепочкам.
5. Ингаляционный и перкутанный пути перехода радиоактивных веществ в организм животных.
6. Метаболизм радиоактивных веществ в организме сельскохозяйственных животных.

*Ключевые понятия:* аэральном выпадении радионуклидов, инкорпорация, беккерель, периодом полураспада, сельскохозяйственные цепочки, ингаляционный путь, перкутанный путь, кратность накопления, период полувыведения

### *Методические рекомендации*

При изучении первого вопроса данной темы обучающий должен проанализировать причины и виды аэрального загрязнения растительного покрова. Зафиксировать особенность некорневого перехода радионуклидов; изучить неселективную адсорбцию всех поступивших на надземные части растений радионуклидов с возможным включением в цепь миграции всей смеси радионуклидов. (дискриминация радионуклидов начинается на этапе физиологически активной инкорпорации – *проникновение радиоактивных веществ во внутренние ткани организма*).

После изучения первого вопроса следует углублённо изучить методы дистанционного зондирования, которые относятся к быстродействующим автоматизированным системам сбора и обработки информации о компонентах ландшафтов. С их помощью можно точно устанавливать структуру и динамику ландшафтов, выявлять положительные и негативные аспекты антропогенеза, эффективно решать задачи экологического мониторинга. В значительной мере получение подобных сведений связано с умелым дешифрированием аэрофотоснимков: раскрытием конкретного содержания контуров. Дешифрирование может быть почвенным, геоботаническим, топографическим, геоморфологическим; оно также нередко бывает и комплексным – ландшафтным, если в ходе дешифрирования выделяются природно-территориальные комплексы.

При изучении четвертого вопроса рассматриваемой темы обучающимся необходимо сосредоточить внимание на изучении путей проникновения радионуклидов в организм животных.

Усвоить основные направления переноса радионуклидов по сельскохозяйственным цепочкам, содержащим на определённом этапе животных. Анализируя метаболизм радиоактивных веществ в организме животных, учитывать периоды накопления и выведения радионуклидов.

При изучении завершающего вопроса следует обратить внимание на модели, которые используются Научным комитетом ООН по действию атомной радиации для описания переноса радионуклидов по наиболее важным пищевым цепям от радиоактивных выпадений до организма человека.

*Вопросы для самоконтроля*

1. Что такое дискриминация радионуклидов в растениях?
2. На каком этапе онтогенеза растения начинается активная инкорпорация?
3. Рассказать почвенный путь перехода радионуклидов в растение.
4. Поясните сущность коэффициента накопления  $K_n$ .
5. От чего зависят темпы переноса ряда радионуклидов по сельскохозяйственным цепочкам, в частности в системе почва – растение?
6. Поясните термины донор и акцептор в системе почва – растение.
7. От чего зависят задерживание оседающих на растения радиоактивных частиц и последующее их удаление?
8. Укажите классификацию групп химических элементов по накоплению их растениями.
9. Ведение животноводческого производства на зараженной радионуклидами местности.
10. Особенности течения лучевой болезни у разных видов сельскохозяйственных животных
11. Накопление радионуклидов в агросфере и специфических особенностей их передвижения по отдельным сельскохозяйственным цепочкам.
12. Тип распределения радионуклидов в организме сельскохозяйственных животных.
13. Выведение радионуклидов из организма (органа или ткани) животных.

### 3 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К АТТЕСТАЦИИ

Для оценивания поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) предусмотрена защита лабораторных работ, для промежуточной аттестации – тестовые задания.

Для прохождения текущей аттестации студент должен показать набор знаний, необходимых для системного взгляда на изучаемый объект и в состоянии решить поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом.

Промежуточная аттестация проводится в виде зачёта – в четвёртом семестре, к которому допускаются студенты, освоившие темы курса, выполнившие в полном объеме лабораторные задания (таблица 9).

Таблица 9 - Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«не зачтено»	«зачтено»		
<b>1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов</b>	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полной знаний и системным взглядом на изучаемый объект
<b>2. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач</b>	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи



Для прохождения промежуточной аттестации студент должен пройти успешно итоговое тестирование. Тестовое задание предусматривает выбор правильного ответа на поставленный вопрос из предлагаемых вариантов ответа. Перечень примерных тестовых и практических заданий представлен в фонде оценочных средств по данной дисциплине.

Оценка «зачтено» является экспертной и зависит от уровня освоения студентом материала.

#### **4 СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ**

1. Захаренко, В. А. Экотоксикология в фитосанитарном управлении агроэкосистемами / А. В. Захаренко // Вестник защиты растений, 2009. – №4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekotoksikologiya-v-fitosanitarnom-upravlenii-agroekosistemami/viewer>
2. Тепляков, Б. И. Сельскохозяйственная радиология: учеб. пособие / Б. И. Тепляков. – Новосибирск: НГАУ, 2013. – 230 с. (ЭБС «Лань»).
3. Самсонова, Н. Е. Основы сельскохозяйственной радиологии: учеб. пособие / Н. Е. Самсонова. – Смоленск: Смоленская ГСХА, 2020. – 252 с. (ЭБС «Лань»).
4. Жирнова, Д. Ф. Основы экотоксикологии: учеб. пособие / Д. Ф. Жирнова. – Красноярск: КрасГАУ, 2014. – 226 с. (ЭБС «Лань»).
5. Илларионов, А. И. Экотоксикология пестицидов: учеб. пособие / А. И. Илларионов. – Воронеж: ВГАУ, 2016. – 262 с. (ЭБС «Лань»).
6. Каплин, В. Г. Основы экотоксикологии / В.Г. Каплин. – Москва: КолосС, 2006. – 232 с. – ISBN 5-9532-0329-2

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захаренко, В. А. Экотоксикология в фитосанитарном управлении агроэкосистемами / А.В. Захаренко // Вестник защиты растений, 2009. – №4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekotoksikologiya-v-fitosanitarnom-upravlenii-agroekosistemami/viewer>
2. Тепляков, Б. И. Сельскохозяйственная радиология: учеб. пособие / Б. И. Тепляков. – Новосибирск: НГАУ, 2013. – 230 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/44524> (дата обращения: 21.01.2023).
3. Самсонова, Н. Е. Основы сельскохозяйственной радиологии: учеб. пособие / Н. Е. Самсонова. – Смоленск: Смоленская ГСХА, 2020. – 252 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/222800> (дата обращения: 21.01.2023).
4. Жирнова, Д. Ф. Основы экотоксикологии: учеб. пособие / Д. Ф. Жирнова. – Красноярск: КрасГАУ, 2014. – 226 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/187067> (дата обращения: 21.01.2023).
5. Илларионов, А. И. Экотоксикология пестицидов: учеб. пособие / А. И. Илларионов. – Воронеж: ВГАУ, 2016. – 262 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/178956> (дата обращения: 21.01.2023).
6. Каплин, В. Г. Основы экотоксикологии / В. Г. Каплин. – Москва: КолосС, 2006. – 232 с. – ISBN 5-9532-0329-2
7. Бродский, А. К. Глобальный экологический кризис: взгляд на проблему через призму биоразнообразия / А. К. Бродский, Д. В. Сафронова // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера», 2017. – Т.9. – №1 – URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/globalnyy-ekologicheskij-krizis-vzglyad-na-problemu-cherez-prizmu-bioraznoobraziya/viewer>
8. Безель, В. С. Экологическая токсикология в системе наук о биосфере / В. С. Безель // Биосфера. – 2012. – Т.4. – №2. – URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskaya-toksikologiya-v-sisteme-nauk-o-biosfere/viewer>
9. Сатаров, Г. А. Экологические аспекты применения агрохимикатов / Г. А. Сатаров. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-aspekty-primeneniya-agrohimikatov/viewer>
10. Толкушкина, Г. Д. Миграция токсических элементов в трофической цепи КРС Алтайского края / Г. Д. Толкушина, А. С. Кашин; Вестник Алтайского государственного аграрного университета №2, 2004. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/migratsiya-toksicheskikh-elementov-v-troficheskoy-tsepi-krs-altayskogo-kрая/viewer>
11. Андрияшина, Т. В. Воздействие радиоактивного загрязнения на окружающую среду / Т. В. Андрияшова, Н. В. Шильникова. – URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/vozdeystvie-radioaktivnogo-zagryazneniya-na-okruzhayushuyu-sredu/viewer>
12. Александров, Ю. А. Основы радиационной экологии: учеб. пособие /

Ю. А. Александров – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2007. – 268 с.

13. Ратников, А. Н. Реабилитационные мероприятия на сельскохозяйственных угодьях, подвергшихся радиоактивному загрязнению / А. Н. Ратников [и др.] / Известия ТСХА. – 2019. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reabilitatsionnye-meropriyatiya-na-selskohozyaystvennyh-ugodyah-podvergshih-sya-radioaktivnomu-zagryazneniyu/viewer>

Локальный электронный методический материал

Татьяна Николаевна Троян

ЭКОТОКСИКОЛОГИЯ И РАДИОЛОГИЯ

*Редактор С. Кондрашова*

*Корректор Т. Звада*

Уч.-изд. л. 2,2. Печ. л. 1,8.

Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет»,  
236022, Калининград, Советский проспект, 1