

## ЛЕКЦИЯ 14. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

1. *Принципы рекультивации загрязненных земель*
2. *Рекультивация земель, загрязненных тяжелыми металлами*
3. *Рекультивация земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами*
4. *Детоксикация загрязненных почв*
5. *Рекультивация земель, загрязненных радионуклидами*

### 1. Принципы рекультивации загрязненных земель

Загрязнение по своей сущности, будет ли оно природным или антропогенным, – это привнесение (внедрение) различных веществ в абиотические и биотические компоненты геосистемы, обуславливающих негативные токсико-экологические последствия для биоты.

Геосистемы становятся загрязненными, когда накопление в них загрязняющих веществ, а также формы их нахождения приводят к следующим последствиям:

- нарушению газовых, концентрационных, окислительно-восстановительных функций биоты, вызывающих утрату ее геохимического самоочищения;

- изменению биохимического состава продукции биоты, вызывающему нарушение жизненных функций цепей в данной геосистеме и за ее пределами при отчуждении биологической продукции;

- снижению биологической продуктивности геосистемы;

- разрушению генофонда, необходимого для ее существования;

- гибели биоты.

Природные процессы также могут вызывать загрязнения, но часто это результат деятельности человека.

Антропогенное загрязнение почв разделяется на:

- коммунальное;

- сельскохозяйственное;

- промышленное;

- военное.

*Коммунальное загрязнение* связано с функционированием населенных пунктов, при котором в природную среду сбрасывают продукты жизнедеятельности людей в местах их поселения: сточные воды, бытовые отходы, мусор и т. п.

*Сельскохозяйственное загрязнение* возникает на больших территориях как следствие применения средств борьбы с болезнями и вредителями культурных растений, с сорной растительностью (пестициды, инсектициды, гербициды), при внесении повышенных доз минеральных и органических удобрений.

Сюда же можно отнести загрязнения, полученные при использовании сточных вод, в том числе и промышленных, с целью удобрения и увлажнения, а также при использовании для орошения вод с повышенной минерализацией.

*Промышленное загрязнение* почвы возникает воздушным путем через атмосферу, с дождем или снегом, парами, аэрозолями, пылью или растворенными тяжелыми металлами и органическими соединениями.

Локальное загрязнение возникает в местах хранения отвалов, отходов, при авариях и т. п.

*Военное загрязнение* возникает при ведении боевых действий, маневров, испытании боевой техники.

Объектами загрязнения могут быть все компоненты геосистемы: приземные слои воздуха, поверхностные и подземные воды, но основное внимание нужно уделять загрязнению почв по следующим причинам:

– почва, являясь, по определению В. В. Докучаева, наружной оболочкой суши, в первую очередь воспринимает удар от многих загрязнителей, аккумулирует большой объем загрязняющих веществ;

– загрязненная почва, будучи средой обитания сельскохозяйственных растений, предопределяет возможность нарушения их жизнедеятельности, загрязнение продукции и другие связанные с этим последствия;

– почва как активно действующее органоминеральное тело способна значительно трансформировать загрязняющие вещества, связывать их в неподвижные формы и даже разрушать;

– почва, трансформируя потоки влаги и содержащиеся в ней вещества, регулирует в известных пределах загрязнение подстилающих горных пород, подземных и связанных с ними поверхностных вод, т. е. выполняет природоохранную и восстановительную функции.

В качестве основных мероприятий по рекультивации загрязненных земель следует рассматривать те, которые обеспечивают условия самоочищения почвы как за счет развития существующих почвенных процессов, так и за счет инженерно-экологического обеспечения жизнедеятельности микроорганизмов, внесенных в почву для деструкции токсичных веществ.

Процесс самоочищения почвы идет нелинейно, т. е. со временем затухает (нелинейность природных процессов – одно из свойств геосистемы), поскольку деструкция загрязняющих веществ определяется ростом и отмиранием бактерий, функционирующих в условиях уменьшения объема питательной среды.

Особенность подготовительного периода рекультивации загрязненных земель – проведение исследований по установлению источников и причин загрязнения, выполнение мероприятий по снижению выбросов, локализации или ликвидации источника загрязнения.

Существенный опыт по рекультивации загрязненных земель радионуклидами накоплен в зонах радионуклидного загрязнения вследствие аварии на Чернобыльской АЭС.

Интенсивно ведутся поиски способов и для рекультивации земель, загрязненных другими токсичными веществами.

Однако до сих пор остается открытым вопрос о своевременности проведения рекультивации, а точнее – о значимом нормативном уровне загрязнения, при котором необходимо начинать эту работу.

Имеющиеся нормативные документы не согласуются друг с другом и даже противоречивы.

В то же время отсутствие обоснованных нормативных документов по оценке загрязненности земель не должно быть преградой для проведения рекультивации как одного из способов природообустройства, обеспечивающего требуемое качество жизни населения, получения

качественной сельскохозяйственной продукции и поддержания устойчивости геосистем.

Для оценки загрязненности почв в качестве критериев используют соотношение содержания химического вещества с его предельно допустимым (ПДК) или фоновым значением в почве и суммарный показатель химического загрязнителя.

Содержание загрязнителя при каждом уровне загрязнения почв зависит от токсичности вещества.

При загрязнении *кадмием* при pH суглинистой и глинистой почвы более 5,5 допустимый уровень менее 2, низкий – 2–3, средний – 3–5, высокий – 5–10, очень высокий – более 10 мг/кг; *цинком* при тех же почвенных условиях: допустимый уровень – менее 220, низкий – 220–450, средний – 450–900, высокий – 900–1800, очень высокий – более 1800 мг/кг.

Загрязненные почвы следует рекультивировать при низком уровне их загрязнения, когда начинает проявляться токсикологическое подавление биоты.

Для среднего и высокого уровней загрязнения, граничащих с чрезвычайной экологической ситуацией, набор методов и способов рекультивации одинаков, различия заключаются лишь в объемах и продолжительности работ.

При очень высоком уровне загрязнения, соответствующем угрозе разрушения функционирования геосистем, требуются методы и способы сдерживания и ограничения деградации иерархической структуры геосистем, создаются условия для восстановления утраченных природных объектов и их связей.

Поэтому загрязнение почв для целей рекультивации оценивают по трем уровням:

- а) 1-й – низкий уровень (относительно удовлетворительная ситуация);
- б) 2-й – средний и высокий (чрезвычайная экологическая ситуация);
- в) 3-й – очень высокий (экологическое бедствие).

Каждому уровню загрязнения почв соответствует уровень рекультивации, опирающийся на систему мер предыдущего уровня.

Для 1-го уровня загрязнения рекультивация имеет предупредительное и оздоровляющее назначение.

На этом уровне регулируют подвижность и трансформацию загрязняющих веществ, поддерживают или повышают плодородие почвы, применяют мероприятия почвозащитного земледелия; проводят агромелиорацию и фиторекультивацию, культивируют устойчивые к загрязнению растения.

Здесь же рассматривают возможные варианты снижения, стабилизации или повышения уровня загрязнения от выявленных источников, а в рамках пилотных проектов или опытно-производственных испытаний отработывают способы рекультивации для конкретных условий.

Для почв 2-го уровня загрязнения, имеющих статус чрезвычайной экологической ситуации, создают инженерно-экологические системы, предназначенные для управления техноприродными процессами на больших территориях, очищают почвы с помощью биодеструкторов и проводят мероприятия 1-го уровня.

На почвах, относящихся к 3-му уровню загрязнения, проводят следующие мероприятия:

- осуществляют санитарно-гигиеническую рекультивацию;
- создают инженерно-экологические системы;
- заменяют или полностью ликвидируют отдельные участки загрязненных компонентов геосистемы;
- восстанавливают биологические и геологические круговороты вещества.

Например, взамен ликвидируемого и утилизируемого почвенного слоя, загрязненного радиоактивными веществами, создают рекультивационный слой, соответствующий санитарным требованиям, с помощью очистных сооружений восстанавливают химический состав поверхностных вод и т. д.

Инженерно-экологическая система – это постоянно или длительное время действующий в управляемом режиме комплекс следующих сооружений и мероприятий:

- по восстановлению естественной самоочищающей способности компонентов геосистем;
- снижению до допустимых норм поступления в них загрязняющих веществ;
- активному удалению этих веществ;
- локализации очагов загрязнения;
- обеспечению экологически безопасного существования биocenозов и человека.

## **2. Рекультивация земель, загрязненных тяжелыми металлами**

К тяжелым металлам относят свинец, цинк, медь, хром, кобальт, марганец, молибден, сурьму, мышьяк, ртуть, титан, ванадий, стронций, олово, кадмий и др.

Антропогенное загрязнение почвы тяжелыми металлами происходит вокруг металлургических, химических и других заводов, около шоссе дорог.

В борьбе с таким загрязнением почвы важнейшее значение имеют предупредительные мероприятия:

- совершенствование технологий производства без выброса отходов в атмосферу;
- глубокая очистка сточных и природных вод;
- применение замкнутых водооборотных систем на обогатительных фабриках и др.

Загрязнение почв тяжелыми металлами приводит к образованию кислой или щелочной реакции почвенной среды, к снижению обменной емкости катионов, к потере питательных веществ, к изменению плотности, пористости, отражательной способности, развитию эрозии, дефляции, к сокращению видового состава растительности или к ее полной гибели.

Прежде чем начать рекультивацию таких земель, необходимо установить источник и причины загрязнения, провести мероприятия по снижению выбросов, локализации или ликвидации источника загрязнения.

Ориентиром при составлении перечня работ по рекультивации земель в первую очередь служит приоритетное вещество, вызывающее ухудшение экологического состояния почв и качество сельскохозяйственной продукции, а ожидаемую подвижность других опасных веществ регулируют специальными или комплексными мероприятиями.

Рекультивацию земель, загрязненных тяжелыми металлами, осуществляют следующими способами.

*Культивирование устойчивых к загрязнению культурных и дикорастущих растений.* На загрязненных землях сельскохозяйственного назначения проводят реорганизацию и переориентацию сельскохозяйственного производства за счет введения новой структуры растениеводства, обеспечивающей получение качественной продукции.

В зонах с чрезвычайной экологической ситуацией (вторая группа рекультивации), имеющих многоэлементный набор загрязнителей, целесообразно переходить с производства овощей на введение зернокармликовых севооборотов и развитие животноводства с особым режимом содержания животных, например, стойловым с применением кормления разбавленными кормами или с выгоном путем чередования пастбища на загрязненных и чистых лугах.

Обычно больше тяжелых металлов накапливается в вегетативных органах, меньше – в регенеративных.

С учетом конкретных условий на почвах, загрязненных тяжелыми металлами, можно выращивать следующие устойчивые культуры: зерновые колосовые, злаковые травы, картофель, капусту, томаты, хлопчатник, сахарную свеклу.

*Рекультивация почв с помощью растений, способных накапливать тяжелые металлы в вегетативных органах (фитореккультурация).* Установлено, что дерево, растущее вдоль автомобильной дороги, за вегетационный период способно накапливать в себе свинец в количестве, соответствующем его содержанию в 130 кг бензина. Поэтому в населенных пунктах с загрязненными районами листовой опад целесообразно собирать и утилизировать.

Для очистки почв от цинка, свинца и кадмия необходимо выращивать большой горец, от хрома – горчицу, от никеля – гречиху и т. д.

При загрязнении радиоактивными изотопами можно использовать вику, горох, люцерну, махорку. Применяют также рапс, который в последующем идет на производство машинных масел.

При загрязнении радиоактивными изотопами можно использовать вику, горох, люцерну, махорку. Применяют также рапс, который в последующем идет на производство машинных масел.

*Регулирование подвижности тяжелых металлов в почве.* Поглощение тяжелых металлов растениями зависит от подвижных форм их в почве.

Почвы, тяжелые по гранулометрическому составу и высокоплодородные, содержат меньше подвижных форм тяжелых металлов, чем почвы легкие и малопродуктивные.

Многие из металлов, относящихся к первому классу опасности, в нейтральной почвенной среде образуют труднорастворимые соединения, а в кислой – легкорастворимые. Кадмий наиболее подвижен в кислой среде и слабо подвижен в нейтральной и щелочной средах. К подвижным в кислой среде относятся химические соединения, содержащие катионы цинка, меди, свинца, кадмия, стронция, марганца, никеля, кобальта и др. К подвижным в нейтральной и щелочной средах – молибден, хром, мышьяк, ванадий, селен.

В районах с высокой автотранспортной нагрузкой и с промышленными предприятиями, связанными с сжиганием угля, нефти и производством стали, в атмосферном воздухе возрастает содержание оксида азота, диоксида азота,

диоксида серы, что приводит к образованию кислотных дождей и повышению кислотности поверхностных вод и почв. На таких территориях создается опасность загрязнения продукции растениеводства, приусадебных участков и лесных угодий кадмием, свинцом, ртутью, медью и другими растворимыми в кислой среде токсичными элементами.

В растения тяжелые металлы поступают по степени их подвижности: кадмий – свинец – цинк – медь.

Подвижность соединений тяжелых металлов в почве регулируют с помощью известкования, гипсования, внесения органических и минеральных удобрений, землевания (внесение глины или песка), которые делают тяжелые элементы безвредными.

*Регулирование соотношения химических элементов в почве.* В основе этого способа лежит антагонизм и синергизм химических элементов, т. е. когда один элемент препятствует или способствует поступлению другого в растение, *например*, цинк препятствует поступлению ртути, а избыток фосфора приводит к снижению токсичности цинка, кадмия, свинца и меди; присутствие кальция может создать для одних металлов антагонистические, а для других синергические условия: в плодородной почве цинк и кадмий противостоят закреплению меди и свинца, а в малоплодородной процесс может развиваться в обратном направлении.

*Создание рекультивационного слоя, замена или разбавление загрязненного слоя почвы.* Его можно проводить по сложной многослойной схеме, которая представляет собой последовательное формирование на загрязненной поверхности многослойной структуры (известь, глинистый экран, песок, суглинистый или супесчаный грунт, почвенный слой), а также по однослойной и двухслойной схеме путем нанесения почвы или потенциально плодородной породы на предварительно экранированную или неэкранированную загрязненную поверхность.

Разбавление загрязненного слоя проводят землеванием чистой почвы с последующим смешиванием, а также с помощью глубокой вспашки, когда верхний загрязненный слой перемешивается с чистым нижним слоем.

Глубокая вспашка на почвах с мощным гумусовым горизонтом в 5–10 раз снижает поступление радионуклидов в растение.

Возможны также снятие загрязненного слоя и его утилизация или снятие загрязненной почвы с последующей очисткой на специальном полигоне и возвращением обратно, но это актуально для небольших участков, так как является очень дорогостоящим способом рекультивации.

*Использование активных биологических средств* заключается в культивировании на загрязненных землях живых организмов, способных аккумулировать в себе тяжелые металлы, включая радионуклиды. Один из представителей таких организмов – дождевые черви.

Механизм очистки почвы основан на трофической связи дождевых червей и почвенных микроорганизмов. Последние (оксиданты и низшие грибы) переводят тяжелые металлы в ионную форму или сорбируют их поверхностью своего тела.

Дождевые черви, пропуская через себя почвенный субстрат, накапливают в себе часть этих металлов, а выработанные ими гуминовые кислоты образуют труднорастворимые соединения. С помощью специальных приманок и создания очагов наиболее благоприятных условий дождевых червей изымают из почвы.

Загрязненные земли 2-го и 3-го уровней загрязнения, охватывающие большие территории, очищают, создавая инженерно-экологические системы, которые обеспечивают:

– существенное сокращение выбросов предприятиями (*технологический барьер*);

– локализацию очагов загрязнения, не допускающую распространения загрязняющих веществ по территории и вглубь: управление водными миграционными потоками путем соответствующей организации поверхностного стока, создания ливневой канализации дренажных систем с очисткой местного стока различными сорбентами, биоплато и т. п. (*гидрохимический барьер*);

– строгое дозирование химических средств защиты растений, оптимальное регулирование питательного и кислотного режимов почвы (*агрохимический барьер*);

– создание рекультивационного слоя, замена или разбавление загрязненного слоя почвы и др.

Первое место среди мер по борьбе с загрязнениями опасными веществами при их высокой концентрации занимает захоронение их в подземных структурах, надежно изолированных водоупорами от водоносных горизонтов и не имеющих связи с прилегающими территориями.

Мох и лишайник обладают высокими поглощающими свойствами по отношению к тяжелым металлам.

Положительное действие на урожай оказывает внесение в почву, особенно в подпочвенные горизонты, измельченной соломы в смеси с селитрой.

Ведется разработка сорбентов тяжелых металлов, способных поглощать и связывать в недоступные для растений формы (ВНИИГиМ запатентовал сорбент-мелиорант Сорбекс на базе сапропеля – 65 %, цеолита – 25 % и сульфата алюминия – 10 %).

### **3. Рекультивация земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами**

При ежегодной мировой добыче нефти в количестве 2,5 млрд. т в год теряется около 50 млн. т, или примерно 2 %.

Загрязнение земель и вод происходит при добыче нефти, транспортировании нефти и ее продуктов, переработке, хранении, заправке машин топливом, в результате аварий, утечек, протечек, испарения.

Опасны не только крупные аварии на водном и железнодорожном транспорте, при прорыве нефтепроводов, но и мелкоочаговые загрязнения вокруг многочисленных мелких баз хранения и распределения топливно-смазочных материалов, топливозаправочных станций, при хранении и ремонте техники.

Мероприятия по рекультивации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, необходимо назначать с учетом санитарно-гигиенических норм и оценки экологической обстановки территорий (рис. 14.1).



Рис. 14.1. Рекультивация земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами

Для земель сельскохозяйственного назначения принято следующее содержание их в почве, мг/кг:

- 1-й уровень рекультивации (низкий уровень загрязнения нефтью и нефтепродуктами) – 300–1000;
- 2-й (средний и высокий уровни загрязнения) – 1000–5000;
- 3-й (очень высокий уровень загрязнения) – более 5000.

Для земель несельскохозяйственного назначения, мг/кг:

- 1-й уровень – 1000–5000;
- 2-й уровень – 5000–10000;
- 3-й уровень – более 10000.

Состав работ 1-го уровня рекультивации направлен на активизацию почвенных микроорганизмов по деструкции углеводов.

Сюда входят:

- рыхление почвы и внесение извести, гипса, высоких доз органических и минеральных удобрений с последующей заправкой;
- создание мульчированной поверхности из высокопитательных смесей;
- посев нефтетолерантных растений повышенными нормами;
- возможное применение составных мелиорантов: NPK + навоз; NPK + известь; NPK + известь + навоз.

В процессе рекультивационных работ 2-го уровня выполняют следующее:

- заменяют загрязненный слой способом смешивания замазученных и чистых слоев почвы;
- вносят органоминеральные и бактериальные активаторы (керамзитовые окатыши, навоз, биодеструкторы),
- устраивают поглотительно-экранирующие слои под загрязненным слоем из минеральных грунтов и извести.

Почвы с высоким уровнем загрязнения направляют на переработку с целью добычи извлекаемой части нефтепродуктов, после чего их рекультивируют в стационарных или полевых условиях.

Одним из приоритетных способов очистки почв от нефтепродуктов является использование биодеструкторов.

Их эффективность обеспечивается активностью микроорганизмов по отношению к углеводородам в условиях хорошей аэрации почв, благоприятного водного, температурного и питательного режимов почв.

Так, благодаря действию таких препаратов содержание нефтепродуктов в почве за 10 сут может снизиться на 30 %.

По мере снижения загрязненности почвы применяют мероприятия 1-го уровня рекультивации.

Возможная схема агробиологических рекультивационных работ:

1-й год – рыхление загрязненной почвы для освобождения ее от легких углеводородов и стимулирования биохимических процессов;

2-й год – применение биодеструкторов и регулирование для этой цели питательного и водного режимов почв;

3-й и последующие годы – выращивание устойчивых культур для получения качественной продукции.

Рекультивацию земель, входящих в зону чрезвычайной экологической ситуации или экологического бедствия (2-й и 3-й уровни), проводят как систему мероприятий в составе инженерно-экологической системы.

С помощью управляемой инженерно-экологической системы (рис. 14.2) в течение длительного периода (нескольких десятков лет) осуществляются следующие функции:

– предотвращается распространение неизвлекаемой части нефтепродуктов из залежи в городские водозаборы и реки;

– регулируется концентрация легких углеводородов в зоне аэрации и снижается пожароопасная обстановка;

– обеспечивается на основе экологического мониторинга управление гидрохимическими и биологическими режимами почв, грунтов подземных и поверхностных вод.

Основу инженерно-экологической системы могут составлять:

– дамба обвалования;

– стена в грунте;

– нагнетательные скважины;

– горизонтальный и вертикальный дренажи;

– добывающие скважины;

– мероприятия по рекультивации загрязненных земель.

– мероприятия потехнической и биологической рекультивации загрязненных земель.

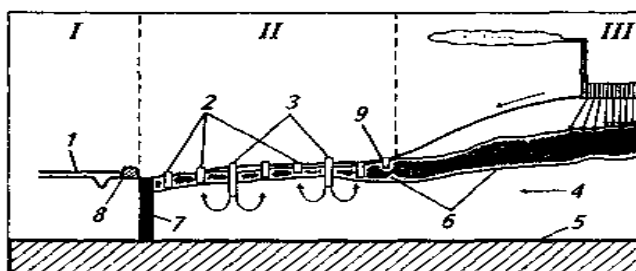


Рис. 14.2. Схема управляемой инженерно-экологической системы по восстановлению компонентов природной среды в зоне действия предприятий нефтехимической промышленности: I – зона реки; II – зона рекультивации загрязненных земель, локализации и ликвидации загрязнения от нефтепродуктов; III – зона нефтехимических предприятий; 1 – паводковый уровень воды в реке; 2 – добывающие скважины; 3 – скважины для подачи воды в водоносный пласт; 4 – приток подземных вод; 5 – водоупор; 6 – загрязнение нефтепродуктами; 7 – противодиффузионная завеса; 8 – оградительная дамба; 9 – нагорно-ловчий канал

Мероприятия и функции управляемой системы:

– устройство дамбы обвалования и проведение мероприятий по организации поверхностного стока защитят загрязненную территорию от затопления во время паводка и предотвратят поверхностный смыв нефтепродуктов;

– собранный поверхностный сток после предварительного биодеструктирования и доочистки будет отводиться в водотоки или использоваться в водооборотных системах промышленных предприятий;

– строительство стены в грунте по контуру нефтяной залежи или в зоне разгрузки загрязненных потоков прекратит дальнейшее продвижение загрязненных подземных вод.

#### 4. Детоксикация загрязненных почв

*Детоксикация почв, загрязненных пестицидами.* Система земледелия представляет собой научно обоснованный комплекс приемов по возделыванию сельскохозяйственных культур, все элементы которого максимально учитывают и реализуют почвенно-климатические, материально-технические и трудовые ресурсы конкретного природного региона. Основными элементами системы земледелия являются: научно обоснованные севообороты, способы обработки почвы, технологии применения удобрений и средств защиты растений от вредного воздействия, мелиоративные мероприятия и другие.

Одним из источников загрязнения окружающей среды является применение ядохимикатов в сельском хозяйстве, поскольку не существует нетоксичных для человека пестицидов.

К пестицидам относят органические и неорганические соединения, применяемые для борьбы с вредителями и болезнями растений, сорняками, а также для ускорения созревания регенеративных органов ряда культур, убираемых машинами. В мире на 1 га в среднем вносят 300 г химических средств защиты растений.

Основным элементом пестицидов является биологически деятельное (активное) вещество, которое определяет способ воздействия на уничтожаемые организмы. Активное вещество является химическим соединением с высокой активностью по отношению к этим организмам. Средства защиты растений включают в себя обычно одно или несколько активных веществ, а также так называемые нейтральные элементы, т. е. вещества, усиливающие эффективность активных веществ. Нейтральные элементы могут составлять в препарате защиты растений более 50 %. К сожалению, их химический состав обычно не указывается производителем. Не всегда они бывают нетоксичными и, поступая в природную среду, представляют собой ненужный балласт, который может проникать в пищу и корм.

Химические средства защиты растений чаще всего вызывают расстройство физиологических процессов в живых организмах, в основном блокированием активности соответствующих ферментов. Кроме воздействия на жизненные процессы организмов, которые уничтожают, они влияют (например, гербициды и фунгициды) на людей и животных. Это вызывает отравления при попадании в организм в чрезмерном количестве. Активные

вещества из-за сложного химического строения имеют пространственные химические названия, поэтому в сельскохозяйственной практике часто применяются обычные международные упрощенные названия.

Пестициды применяют: путем опрыскивания, аэрозолирования, фумигации (газирования). Кроме этого широко применяется протравливание семян (сухим, полусухим – суспензией, мокрым способом, инкрустированием, капсулированием). Достаточно часто используют пестициды путем опыливания, внесения в гранулированном виде в прикорневую зону растений. Особенно опасными являются фумиганты (средства защиты растений, действующие газовым путем), поэтому применять этот прием должны только специальные группы.

Главное место среди средств защиты растений занимают инсектициды и гербициды. Особенно опасными для окружающей среды являются инсектициды хлорорганические (производные углеводородов хлорированных). Многие из них стали классифицированными постоянными органическими загрязнителями.

Гербициды по химическому составу являются очень разнообразной группой средств защиты растений. По действию на растения они бывают тотальными, которые уничтожают все виды растений, или селективными, воздействующими только на определенные виды нежелательных растений.

У многих пестицидов есть способность отлагаться в жирах животных и людей вследствие их хорошей растворимости в жирах. В связи с этим большое их количество проникает даже в молоко. В жировых тканях травоядных животных их содержание обычно ниже, чем у хищных зверей, особенно свободноживущих.

Остатки средств защиты растений попадают в организм человека в основном с пищей, особенно после принятия в пищу рыбы и морских ракообразных. Большое их количество находится в молоке и молочных продуктах, мясе, яйцах, зерновых и овощах. Они могут вызывать расстройства у людей и животных: снижение рождаемости, увеличение заболеваемости, особенно детей и молодежи, теми болезнями, которые обычно обнаруживаются в более поздние годы, а также людей с меньшей восприимчивостью к болезням, беременных женщин и пожилых людей. В основном они вызывают новообразования, а также расстройство иммунной и гормональной систем. Некоторые пестициды вызывают аллергию и приводят к астме. Симптомы отравления средствами защиты растений могут быть очень разнообразные: от легкого раздражения до смерти включительно.

Не все остатки пестицидов влияют на живые организмы одинаково. Более токсичными являются хлорорганические пестициды, в большинстве своем приводящие к возникновению новообразований, болезням кожи, ишемии, атеросклерозу, гипертонии и сахарному диабету. В случае острых отравлений они поражают нервную и дыхательную системы, вызывают опухоль легких, а впоследствии смерть. Более легкие (подострые) отравления приводят к расстройству координации движений и слуха, при длительных отравлениях наблюдаются головные боли, психические расстройства и общее ослабление организма. Токсическое воздействие хлорорганических инсектицидов связано, прежде всего, с расстройством основных функций клетки, нервной ткани, а также структур клеточных оболочек. Прежде всего подвергаются токсическому воздействию центральная нервная система и некоторые внутренние органы, особенно

печень. Эти соединения легко проникают через барьер кровь – плацента, т. е. человеческий организм подвергается их влиянию от момента зарождения. Некоторые расстройства здоровья ребенка могут быть результатом влияния на организм будущей матери негативных воздействий во время беременности, а также кормления грудью.

Влияние остатков пестицидов на людей и животных зависит от свойств активных веществ отдельных средств защиты растений. Уменьшения действия угрозы со стороны пестицидов можно добиться, соблюдая правила их применения, а также используя экологические средства защиты сельскохозяйственных культур. В оценке прогресса защиты растений одним из самых важных показателей является ограничение использования средств с низкими величинами LD<sub>50</sub> (в основном зооцидов), т. е. пестицидов с большой токсичностью.

Почвы, загрязненные остаточным количеством пестицидов, оценивают, сравнивая исходное содержание их с санитарно-гигиеническим нормативом (ПДК). Так, ПДК составляет, мг/кг почвы: для Атразина – 0,01, ДДТ – 0,1, Линурона – 1, Купроцина – 1, Симазина – 0,01.

Детоксикация загрязненных почв проводится физическими, химическими, биотехнологическим и термическими методами.

Физические методы включают промывку почв водой, в том числе с применением поверхностно-активных веществ, и бактериальную промывку.

Химические методы включают обработку почвы кислотами, щелочами, разными растворителями, позволяющими извлекать токсичные вещества и добиваться их разложения.

Биотехнологические методы включают два приема: активизацию аборигенной микрофлоры почвы и внесение адаптированных к загрязнителю штаммов микроорганизмов-деструкторов.

Локально сильно загрязненные почвы очищают на специальных полигонах путем обработки химическими веществами, для очистки от пестицидного загрязнения эффективен прием компостирования.

Получает распространение биологический метод детоксикации загрязненных почв путем выращивания растений-гиперконцентраторов тяжелых металлов со сжиганием биомассы в топках.

Термические методы включают выемку загрязненной почвы и ее обработку на термических установках заводского типа (сжигание, обработка инфракрасными лучами и др.).

Так, в течение 2012 г. под эгидой Глобального экологического фонда завершена ликвидация Слонимского лесного хранилища пестицидов, содержащих ртуть, которые в количестве 1870 т в специальных бочках были отправлены в Германию, где вместе с тарой сожжены в специальных высокотемпературных печах. Общая стоимость проекта составила 3,5 млн. долл. Этот опыт планируется применять для утилизации пестицидов и на других белорусских хранилищах (Поставском, Городокском, Петриковском).

*Технологии обезвреживания стойких органических соединений в почве.* Стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ) – органические токсические загрязняющие вещества и смеси, существующие длительное время в биосфере и благодаря этому своему качеству оказывающие сильное негативное воздействие на живые организмы.

Большинство синтетических органических соединений появилось в XX столетии. Из тысячи известных токсичных загрязнителей окружающей среды

около половины содержат хлор. Хлор используют при производстве пластмасс, например, ПВХ; при производстве четыреххлористого углерода и различных растворителей; в процессе отбеливания бумаги и для очистки питьевой воды.

СОЗ – это многочисленные соединения (различные краски, дезинфицирующие средства, добавки в пластмассы, металлоорганические соединения и пестициды, попадающие в окружающую среду в больших количествах).

Стойкие органические загрязнители плохо разрушаются, все более широко распространяются в окружающей среде, обладают способностью накапливаться в жировых клетках живых организмов и в богатых углеродом системах, которыми являются почва и донные отложения, токсичны для человека и природы. Чем холоднее климат, тем меньше они испаряются, в результате чего накапливаются в почве и других объектах окружающей среды. СОЗ способны мигрировать во всех составляющих биосферы – и в воде, и в воздухе, и в почве. Выброс в атмосферу может привести к попаданию веществ с осадками в водоемы и на почву, испаряясь с поверхности воды, снова оказываются в воздухе и так далее, образуя замкнутый круг, разорвать который весьма сложно. Таким образом, никакое государство не застраховано от поступления СОЗ с водными и воздушными массами с сопредельных и даже значительно удаленных территорий, поэтому они присутствуют повсеместно.

На сегодняшний день последствия химической революции для человечества очевидны: от пластиковых изделий до пестицидов. Многие из этих синтетических соединений помогли увеличить уровень производства продуктов питания, защитили здоровье людей, сделали возможным существование удобств современной жизни. Но за успехи заплачена большая цена. В организме каждого из нас сейчас содержится приблизительно 500 антропогенных химических веществ – потенциальных ядов, которые не существовали до 1920 г.

Путь перемещения стойких органических загрязнителей в природе таков. Источник → воздушная среда → вода → почва → растения → молочный скот → молочные продукты → человек → грудное молоко кормящей матери → новорожденный ребенок. Именно последний, т. е. новорожденный ребенок оказывается основным потребителем этих супертоксикантов, поскольку на каждом этапе пищевой цепочки происходит многократное нарастание концентрации токсикантов. Все они очень разные, и для начала необходимо было выбрать минимальную группу наиболее опасных соединений, устранение которых приветствовалось бы большинством стран мира. Из этих 60 тысяч особо опасных химических веществ было выбрано 12 стойких органических загрязнителей (СОЗ), так называемая «грязная дюжина». Именно эти 12 СОЗ стали предметом Конвенции, принятой в мае 2001 г. в Стокгольме и получившей название Стокгольмской конвенции.

*Воздействие на загрязнение осуществляется в разных формах.*

Первой из них является уничтожение загрязнителя в результате полного биологического или (и) физико-химического разложения (например, воздействие высокой температуры при термической обработке).

Вторая форма – удаление загрязнения. Имеет место в процессе межфазного переноса – мобилизации и высвобождения из природной матрицы (например, при его вымывании или сорбции) или в процессе

концентрирования и извлечения (например, при физической сепарации), а также при использовании комбинации методов (например, биологических и химических).

Третья форма представляет собой возврат загрязнителя в технологический цикл и является, очевидно, «пределной» формой удаления загрязнения.

Четвертая – стабилизация загрязнения, при которой оно остается в почве, но принимает менее подвижную или менее токсическую форму. Иногда стабилизацию осуществляют в некоторой комбинации биологических, химических и физических процессов (т. е. применяют «цепочку» обработки).

Пятая – герметизация загрязнения: когда загрязненная природная матрица изолируется некоторым способом, который предотвращает воздействие загрязнителя на ближайшее окружение загрязненного участка.

Шестая – иммобилизация, при которой загрязнения переводят в менее доступные соединения в некотором процессе переноса или при добавлении иммобилизирующих реагентов.

По способу применения технологии обработки загрязненного участка могут быть следующими:

- загрязненный участок обрабатывается на месте (отсутствует изъятие загрязненной почвы);

- обработку изъятых загрязненной земли производят на специальном оборудовании;

- производят выкапывание загрязненной почвы и обрабатывают ее на той же территории;

- производят выкапывание и транспортировку загрязненной почвы на специальный участок для очистки или регулируемого захоронения.

В зависимости от применяемых процессов технологии бывают: биологические, физические, химические, физико-химические, термические; комбинированные.

*Биологические технологии.* Основой биоразложения загрязняющих веществ является метаболическая активность микроорганизмов. Биоразложение завершается полной минерализацией или частичным разложением как в аэробных, так и в анаэробных условиях. Чтобы ускорить биоразложение, прибегают к стимулированию природных микроорганизмов.

Виды технологий биологического восстановления: бионасыпи, биовосстановление в жидкой фазе с образованием биовзвеси, компостирование; биовентиляция, усиленное биовосстановление, отслеживаемое естественное ослабление загрязнения (его рассеяние и разложение), фитовосстановление.

*Физические и физико-химические технологии.* Особенности: используются физические свойства загрязнителей или загрязненной среды; запускается физический механизм фазового переноса загрязнения; никакой модификации химической структуры загрязнителя не происходит.

Преимущества заключаются в том, что обрабатывается множество загрязнителей, применимы ко всем средам, более низкая относительная стоимость.

При использовании *химических технологий* химическая структура, а вслед за этим поведение загрязнения изменяются в химических реакциях.

Характеризуются быстротой обработки, возможностью уничтожения множества загрязнителей, применимы ко всем средам.

*Виды физических и химических технологий:* 1) система регулируемого захоронения загрязненной почвы с ее укрыванием; 2) химическое дегалогенирование почвы; 3) электрокинетическое восстановление почвы; 4) экстракция почвы паром; 5) промывание почвы на месте загрязнения; 6) отмывание извлеченной почвы; 7) окисление загрязнений в извлеченной почве водой в сверхкритическом состоянии; 8) экстракция извлеченной почвы растворителем; 9) использование сольватированных электронов при обработке извлеченной почвы; 10) удаление токсикантов обработкой извлеченной почвы на солнечном свете; 11) отверждение или стабилизация загрязненной почвы.

*Типы термических технологий:* 1) системы сжигания; 2) системы термической десорбции; 3) пиролиз; 4) системы, использующие плазменную дугу; 5) остекловывание.

*Выбор технологии восстановления почвы.* На первом этапе определяются характеристики участка и очищаемой почвы, а также размеры и уровень загрязнения. Идентифицируется ключевое соединение или группа соединений.

На втором этапе изучается информация, относящаяся к установленному типу загрязнения, характеристикам участка и исследованиям по различным технологиям очистки, осуществленным в промышленном масштабе.

На третьем этапе проводят лабораторные испытания для отбора технологий. Они могут дать некоторые ключевые параметры, например подверженность токсиканта биологическому разложению, сорбционные характеристики почвы.

В дальнейшем оценивают необходимость предварительной обработки и (или) постобработки почвы или других загрязненных сред.

Как только вся информация собрана, принимается решение о тех технологиях, которые могут быть применены для обработки выбранного участка.

Как правило, *рекультивация* загрязненных земель проводится после того, как территория, предназначенная для восстановления, будет очищена от загрязняющих веществ. Поэтому, прежде чем приступить к рекультивации загрязненных земель конкретного участка, необходимо выполнить предварительный цикл работ, связанных с обезвреживанием (*нейтрализацией*, или *детоксикацией*) и удалением из экосистемы загрязняющих веществ. Этот нулевой цикл технологии рекультивации земель специалисты стали называть *ремедиацией*. Ремедиация, как правило, проводится без изъятия почвы, т. е. на месте.

Нулевой цикл работ при рекультивации загрязненных земель включает целый комплекс технологических стадий, целью которых является обезвреживание (нейтрализация, детоксикация) загрязняющих веществ, локализация их в форме инертных соединений, выведение остатков подвижных соединений из экосистемы, их сбор в специальные емкости с последующим захоронением или уничтожением в стационарных условиях.

В настоящее время отсутствует система технологий ремедиации загрязненных почв, основанная на изучении функционирования природных систем и их изменчивости под влиянием внешних воздействий. Опыты с некоторыми пестицидами показывают, что для естественной биodeградации

некоторых из них достаточно использовать потенциал самих экосистем. Воздействие на один из ее компонентов приводит к созданию условий для снижения концентраций поллютантов. К таким методам можно отнести внесение дополнительного органического вещества (удобрения), обеспечивающее изменение сразу нескольких факторов. Во-первых, происходит «разбавление» поллютанта в почве, во-вторых, меняются физико-химические характеристики почвы, в третьих, стимулируется микробиологическая активность и рост растений. Данный метод будет особенно эффективен на незначительно загрязненных территориях, но и на сильно загрязненных позволит ускорить процессы самоочищения.

Другим направлением является использование веществ, способных к реакции с ПХБ непосредственно в почве без дальнейшей процедуры удаления продуктов взаимодействия. К таким веществам относятся гуминовые кислоты (ГК). Они представляют собой сложный органоминеральный комплекс, органическая часть которого содержит большое количество функциональных групп (преимущественно карбоксильных и гидроксильных). Наличие карбоксильных групп, определяющих высокую реакционную способность и растворимость в воде, и гидрофобных областей макромолекул, определяющих способность сорбировать органические ксенобиотики, предопределяет возможность применения ГК для детоксикации почв, загрязненных ПХБ. В естественных условиях наблюдается устойчивое снижение концентрации ПХБ в почве, причем при большом загрязнении почвы снижение достигает 20–35 %, а при загрязнении 0,5–3,7 мг/кг – 52–56 %. Ди- и трихлорбифенилы не были обнаружены в почве после 60–дневной выдержки в контакте с ГК, содержание тетрахлорбифенилов снизилось на порядок. Для высокохлорированных бифенилов снижение концентрации после обработки гуминовыми кислотами значительно меньше. После внесения гуминовых кислот в загрязненную почву отмечен рост культуры азотобактера, весьма чувствительной к различным токсикантам. Кроме того, дополнительное внесение нативных микроорганизмов, ранее выделенных из почвы, усиливает эффект детоксикации.

## **5. Рекультивация земель, загрязненных радионуклидами**

Радиация относится к тем факторам физиологического воздействия на организм человека, для восприятия которых у него отсутствуют рецепторы. Ни увидеть, ни услышать, ни почувствовать ее на ощупь или на вкус он просто не в состоянии. Радиация – это природный фактор, от которого не спрячешься.

Единицей воздействия радиации на вещество является поглощенная доза, которая измеряется в греях (1 Дж/кг). Для биологических объектов используется понятие «эквивалентная доза», которая учитывает меру биологической радиации на живые организмы, измеряемую в зивертах (Зв). Она равна поглощенной дозе, умноженной на соответствующий коэффициент (свой для каждого органа), для упрощения принимаемый равным единице.

Первые нормы радиационной безопасности Беларуси были приняты в 2000 г., в которых предел дозы техногенного облучения для населения был установлен на уровне  $1 \text{ м}^3$  в в год. Считается, что такая доза техногенного

облучения полностью гарантирует отсутствие вредных последствий для организма человека.

В результате чернобыльской аварии около 70 % радиоактивных веществ, выброшенных в атмосферу, выпало на территории Беларуси.

Загрязнено 23 % всей площади, где проживало 2,2 млн. человек. Загрязнению с плотностью выше  $1 \text{ Ки/км}^2$  по цезию-137 подверглось более 1,8 млн. га сельскохозяйственных земель, из которых 265 тыс. га исключены из сельскохозяйственного оборота. Выведены преимущественно земли с плотностью загрязнения цезием-137 выше  $40 \text{ Ки/км}^2$ , стронцием-90 – выше 3, плутонием – выше  $0,1 \text{ Ки/км}^2$  в связи с превышением предельных дозовых нагрузок на население и сложностью получения сельскохозяйственной продукции с допустимым уровнем загрязнения радионуклидами.

В преодолении последствий чернобыльской катастрофы основное внимание направлено на загрязненные земли, где проживает население. Сельскохозяйственное производство ведется на 1,3 млн. га, загрязненных цезием-137 с плотностью  $1 - 40 \text{ Ки/км}^2$ , из которых 0,46 млн. га одновременно загрязнены стронцием-90 с плотностью  $0,15 - 3,0 \text{ Ки/км}^2$ . Основные массивы загрязненных пахотных и луговых земель сосредоточены в Гомельской (57 %) и Могилевской (27 %) областях. В Брестской, Гродненской и Минской областях доля загрязненных земель составляет соответственно 7, 4 и 5 %.

Вместе с тем известно, что до определенного содержания радионуклидов в почве на ней можно выращивать чистую сельскохозяйственную продукцию, не приносящую вреда для животных и людей. Ведение сельского хозяйства на землях, подверженных радиоактивному загрязнению, регламентируется Руководством по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь. По накоплению радиоцезия на единицу сухого вещества установлен следующий убывающий ряд: разнотравье естественных сенокосов и пастбищ, многолетние злаковые травы, клевер, зеленая масса рапса, гороха, солома овса, зеленая масса кукурузы, кормовая свекла, зеленая масса однолетних бобово-злаковых травостоев, солома озимой ржи, зерно овса, картофель, солома ячменя, зерно озимой ржи, зерно ячменя.

Снижение уровней загрязнения сельскохозяйственной продукции достигается путем осуществления агротехнических, культуртехнических, агромелиоративных и мелиоративных мероприятий. Обыкновенная вспашка загрязненных радионуклидами земель уменьшает внешнее облучение в три раза, а запашка верхнего загрязненного радионуклидами слоя на глубину  $0,25 - 0,4$ ;  $0,4 - 0,6$ ;  $0,6 - 0,8$  м снижает загрязненность сельскохозяйственной продукции соответственно в 1,7; 2,0 и 10 раз и в значительной мере уменьшает внешнее облучение.

Захоронение внешнего загрязненного радионуклидами слоя на глубину 1,1 м полностью ликвидирует внутреннее и внешнее облучение.

При загрязнении радионуклидами пахотного слоя понижение уровня грунтовых вод (УГВ) с глубины 0,5 м и менее до глубины  $0,9 - 1,2$  м уменьшает загрязнение сельскохозяйственной продукции на 65–80 % (до 3–5 раз). При дальнейшем понижении УГВ до 2,0 м уменьшение составляет только 35–50 % (до 1,5–2 раз) от первоначальной величины загрязнения. Переувлажнение загрязненного пахотного слоя приводит к увеличению содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции до 3 раз, а осушение до оптимальной влажности – к уменьшению до 3 раз. Применение

калия и кальция (аналогов цезия и стронция) путем доведения их содержания в загрязненном слое до оптимальных норм уменьшает загрязнение сельскохозяйственной продукции радионуклидами в 2–4 раза.

При выборе первоочередных объектов рекультивации в зоне загрязнения следует отдавать предпочтение чистым или с низким уровнем загрязнения территорий.

При этом на находящихся вблизи или внутри объектов участках с высоким уровнем загрязнения должны обязательно проектироваться системы локализации радионуклидов на месте выпадения.

Строительство и реконструкция существующих мелиоративных систем (осушительные и осушительно-увлажнительные системы, культуртехнические работы с элементами осушения и без них) допускаются на участках со следующей плотностью загрязнения почвы радионуклидами:

а) на минеральных землях – до 15 Ки/км<sup>2</sup> по цезию-137, до 1 Ки/км<sup>2</sup> по стронцию-90;

б) на торфяниках – до 5 Ки/км<sup>2</sup> по цезию-137, до 0,3 Ки/км<sup>2</sup> по стронцию-90.

Для участков заготовки торфа на удобрение подбираются площади с плотностью загрязнения не более 1,8 Ки /км<sup>2</sup> с условием, что при подготовке фрезерных полей радионуклиды будут равномерно распределены в слое 0,4 м.

Отдельные локальные участки с плотностью загрязнения радионуклидами цезия-137 от 15 до 40 Ки/км<sup>2</sup>, расположенные среди массивов земель с более низкой плотностью загрязнения, подлежат рекультивации с помощью проведения комплекса дезактивационных мероприятий или при использовании их по специальному назначению (при выращивании технических культур; для обеспечения кормами животноводческих комплексов КРС на первой стадии откорма).

По накоплению цезия-137 в злаковых травах установлен следующий убывающий по применению ряд:

– для многолетних: кострец безостый, тимофеевка, ежа сборная, овсяница, мятлик луговой, райграс пастбищный;

– для однолетних: зерно люпина, редька масличная, рапс, зерно гороха и вики, зеленая масса гороха, вики, солома яровых, зерно кукурузы и зерновых.

Для стронция-90 имеются некоторые отличия: клевер, горох, рапс, люпин, однолетние бобово-злаковые травосмеси, многолетние злаковые, зеленая масса кукурузы, ржи, свекла кормовая, зерно зерновых, картофель.

Известкование – эффективный прием снижения поступления радионуклидов из почвы в растения. Установлено, что в нейтральной среде поступление радионуклидов в продукцию снижается в 1,5– 10 раз.

Применение органических удобрений на 15–30 % снижает поступление радионуклидов из почвы в растения, а использование повышенных доз калийных удобрений (120–180 кг/га) – на 35–57 %.

Влияние водного режима почвогрунтов на интенсивность поступления радионуклидов в растительную продукцию определяется по зависимости

$$f_1 = \frac{\sum_0^{h_1} (m_1 \Theta_1^3 \Delta h) \cdot \sum_0^{h_2} (m_2 \Theta_2^3 S \Delta h)}{\sum_0^{h_2} (m_2 \Theta_2^3 \Delta h) \cdot \sum_0^{h_1} (m_1 \Theta_1^3 S \Delta h)}, \quad (14.1)$$

где  $f_1$  – число, показывающее, во сколько раз изменяется накопление радионуклидов при распределении ( $m_2\Theta_2^3$ ) по сравнению с распределением ( $m_1\Theta_1^3$ );

$h_1$  и  $h_2$  – средние глубины залегания УГВ в первом и втором вариантах, м;

$m$  – относительное содержание корней в единице мощности корнеобитаемого слоя, % / м;

$\Theta$  – расчетная влажность почвы, л/м<sup>3</sup>;

( $m_1\Theta_1^3$ ) и ( $m_2\Theta_2^3$ ) – распределение корней растений и расчетной влажности почвы в первом и втором вариантах;

$\Delta h$  – мощность расчетных слоев почвы, м;

$S$  – содержание радионуклидов в весовой единице сухого вещества пахотного слоя (Ки/кг).

Содержание радионуклидов в весовой единице сухого вещества пахотного слоя рассчитывается по формуле

$$S = P / (\Delta h \cdot \gamma_0 \cdot 10^6), \quad (14.2)$$

где  $P$  – плотность загрязнения земель радионуклидами, Ки/км<sup>2</sup>;

$\gamma_0$  – плотность сухого вещества почвы, кг/м<sup>3</sup>.

Расчетное содержание воды в почве определяется по следующей формуле:

$$\Theta = (W - W_0) / (W_{\text{п}} - W_0), \quad (14.3)$$

где  $W$  – осредненные за вегетационный период значения влажности почвы на различной глубине, л/м<sup>3</sup>;

$W_0$  – влажность завядания, л/м<sup>3</sup>;

$W_{\text{п}}$  – влажность, соответствующая полной влагоемкости почвы, л/м<sup>3</sup>.

Поведение радионуклидов в системе почва – растение, критерии выбора объектов для рекультивации, создания управляемых инженерно-экологических систем по восстановлению компонентов природы, способы снижения радиоактивного загрязнения сельскохозяйственной продукции, рекомендации по сельскохозяйственному использованию загрязненных радионуклидами земель наиболее подробно изложены в специальной нормативно-справочной литературе.