

Рожков Иван Александрович

студент

Научный руководитель

Мельченко Александр Иванович

д-р биол. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
аграрный университет им. И.Т. Трубилина»

г. Краснодар, Краснодарский край

**ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ
ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ (СТРОНЦИЙ-90, ЦЕЗИЙ-137,
ЙОД-131, РАДОН-222) В ЭКОСИСТЕМАХ КАК ОСНОВА
ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ
СПЕЦИАЛИСТОВ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Аннотация: в статье анализируется вопрос подготовки инженеров-экологов в области радиационной безопасности через изучение физико-химических свойств и миграции ключевых техногенных радионуклидов (стронций-90, цезий-137, йод-131, радон-222) в экосистемных компонентах. Обоснована необходимость интеграции в учебные программы углубленного изучения механизмов биоаккумуляции радиоизотопов, их трофического переноса и основ инженерной защиты. Сделан вывод, что формирование данных компетенций способствует эффективному прогнозированию радиоэкологических условий и разработке защитных мер.

Ключевые слова: инженерная экология, радиоэкология, стронций-90, цезий-137, йод-131, радон-222, биоаккумуляция, миграция радионуклидов, радиационная безопасность, профессиональные компетенции.

Современный этап развития техносферы сопровождается увеличением рисков радиоактивного загрязнения, обусловленных не только деятельностью ядер-

ных объектов, но и широким применением ионизирующего излучения в промышленности, медицине, а также сложностями с утилизацией радиоактивных отходов. В таких условиях особенно важна подготовка квалифицированных инженеров-экологов, способных оценивать радиационную обстановку, моделировать поведение радионуклидов в природных экосистемах и разрабатывать эффективные инженерные меры защиты живых организмов и человека [2].

Актуальность исследования определяется необходимостью углубления содержания инженерно-экологического образования в части изучения механизмов миграции и аккумуляции техногенных радионуклидов в экосистемах. Традиционные подходы, опирающиеся на общие сведения о радиации и дозах облучения, не обеспечивают полного понимания специфики поведения различных радиоизотопов, что затрудняет разработку адекватных инженерных мер по охране окружающей среды.

Цель работы состоит в анализе ключевых радиоэкологических характеристик основных дозообразующих радионуклидов (стронций-90, цезий-137, йод-131, радон-222) и обосновании необходимости их детального изучения в образовательных программах инженеров-экологов.

Радиоэкология изучает закономерности распределения радионуклидов в окружающей среде, их миграцию через трофические уровни и влияние на живые организмы [1]. С инженерной позиции важным является учёт различий в физико-химических свойствах радионуклидов, которые обуславливают их поведение в экосистемах и формируют подходы к защите.

Среди техногенных радионуклидов особую опасность для биоты представляет стронций-90.

Период полураспада стронция-90 составляет около 29 лет. Как химический аналог кальция, он активно включается в метаболизм организмов, преимущественно накапливаясь в костной ткани и подвергая облучению красный костный мозг – главный орган кроветворения. По словам В.А. Ковды, миграция стронция в системе почва-растение зависит от типа почв и уровня обменного кальция: на

кальций-дефицитных почвах накопление стронция-90 в растениях существенно возрастает [6].

Для инженера-эколога знание данных особенностей имеет практическое значение. При разработке систем рекультивации земель, загрязнённых стронцием-90, необходимо включать мероприятия по известкованию почв посредством внесения кальция, что снижает миграцию радионуклида в сельскохозяйственные культуры. Кроме того, это знание важно для точного прогнозирования дозовых нагрузок на население, проживающее на загрязнённых территориях.

Радионуклид цезий-137 с периодом полураспада около 30 лет представляет значительную радиационную опасность. В отличие от стронция, он биологически аналогичен калию, что способствует его накоплению в мягких тканях и мышцах с равномерным облучением организма. Высокая миграционная способность в легких песчаных и супесчаных почвах обеспечивает активное поглощение цезия растениями. Этот фактор необходимо учитывать при организации сельскохозяйственных работ на радиационно загрязнённых территориях.

Йод-131 занимает ключевое место среди техногенных радионуклидов из-за короткого периода полураспада – около 8 суток – и высокой опасности в первые недели и месяцы после радиационных аварий. Будучи аналогом стабильного йода, этот изотоп накапливается в щитовидной железе, обеспечивая локально критически высокие дозы облучения, что значительно увеличивает риск онкологических заболеваний. Мерами инженерной защиты являются разработка систем оповещения, йодная профилактика и контроль безопасности продуктов питания, преимущественно молока, в ранний послеаварийный период.

Отдельного рассмотрения требует радон-222.

Радон представляет собой единственный газообразный радионуклид среди рассматриваемых и часто недооценивается с точки зрения опасности. Согласно исследованиям, его вклад в суммарную дозу облучения населения достигает 50% и более [4]. Этот газ образуется в земной коре при распаде радия-226, мигрирует через поры и трещины, накапливаясь в слабо проветриваемых помещениях, та-

ких как подвалы и цокольные этажи. Продукты распада радона, вдыхаясь с воздухом, испускают альфа-частицы, которые считаются одной из основных причин легочного рака у некурящих.

Анализ закономерностей концентрации радона в зданиях представляет собой инженерную задачу, требующую знаний в области строительной физики, геологии и вентиляции. Разработка систем пассивной и активной защиты – включая изоляцию перекрытий, подвальную вентиляцию и создание разрежения грунта под зданием – является ключевым элементом современного экологически безопасного строительства.

Формирование профессиональных компетенций инженера-эколога требует не только знания свойств радионуклидов, но и понимания механизмов их поступления в организм. Радиоактивные вещества проникают ингаляционно (через воздух, характерно для радона и аэрозолей), перорально (с пищей и водой) и через кожу. Значительную роль играет биоаккумуляция – накопление радионуклидов в организмах по трофической цепи. Так, концентрация цезия-137 в мясе хищных рыб и диких животных может превосходить уровни в воде и почве в десятки или сотни раз [3].

Изучение методов радиационной защиты является неотъемлемым элементом инженерного образования. Для экранирования альфа-частиц достаточно тонкого слоя бумаги, тогда как бета-излучение требует более плотных барьеров из алюминия или стекла. Гамма-излучение, обладающее высокой проникающей способностью, требует применения массивных защитных материалов, таких как бетон или свинец. Проектирование эффективных систем биозащиты основано на фундаментальных физических расчетах.

Анализ поведения техногенных радионуклидов в экосистемах выявляет необходимость комплексного подхода к подготовке инженеров-экологов. Изучение лишь общих закономерностей радиоактивного распада не обеспечивает решения практических задач. Требуется глубокое освоение следующих навыков:

– знание физико-химических свойств ключевых дозообразующих радионуклидов;

- понимание механизмов их миграции в абиотических средах (почва, вода, воздух);
- умение прогнозировать биоаккумуляцию и трофический перенос радиоактивных изотопов;
- способность применять данные знания при проектировании инженерных систем защиты (рекультивация, вентиляция, экранирование) и оценке рисков для здоровья населения.

Интеграция специализированных модулей с практическими кейсами в образовательные программы способствует подготовке специалистов, способных не только выявлять загрязнение, но и разрабатывать эффективные инженерные методы его минимизации. Как отметил В.И. Вернадский, человек впервые осознал себя частью планеты и обязан мыслить и действовать с учётом этого [1]. В радиоэкологии это требует создания техносферы, безопасной для биосферы и человека при неизбежном применении радиационных технологий.

Список литературы

1. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера / В.И. Вернадский. – М.: Айрис-пресс, 2022. – 576 с.
2. Голубев Г.Н. Геоэкология: учебник / Г.Н. Голубев. – 2-е изд. – М.: Инфра-М, 2023. – 448 с.
3. Карсон Р. Безмолвная весна / Р. Карсон; пер. с англ. – М.: Прогресс, 1990. – 248 с.
4. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова / В.А. Ковда. – М.: Наука, 2021. – 340 с.
5. Медоуз Д. Пределы роста. 30 лет спустя / Д. Медоуз, Й. Рандерс, Д. Медоуз. – М.: Академкнига, 2022. – 368 с.
6. Николайкин Н.И. Экология: учеб. для вузов / Н.И. Николайкин, Н.Е. Николайкина, О.П. Мелехова. – М.: Дрофа, 2021. – 624 с.
7. Реймерс Н.Ф. Экология. Теория, законы, правила, принципы и гипотезы / Н.Ф. Реймерс. – М.: Россия молодая, 2020. – 416 с.

8. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов /
М.А. Глазовская. – М.: Географический факультет МГУ, 2023. – 328 с.