

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Марийский государственный университет»

## ОТЧЕТ

### Радиологический мониторинг почвы и растений

(на территории ГО «Город Йошкар-Ола» 2017 год)

(Муниципальный контракт № 185-пр от 06.09.2017 г.)

Проректор по научной работе и  
инновационной деятельности -  
директор Программы развития  
опорного университета ФГБОУ ВО  
«Марийский государственный  
университет»



г. Йошкар-Ола, 2017 год

*Исполнитель:*

Кафедра экологии Марийского государственного университета:

Доцент кафедры экологии, к.б.н. \_\_\_\_\_  В.С. Воскресенский

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ОБЩЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О РАДИОЭКОЛОГИИ...6	
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.....14	
ГЛАВА 3. МОЩНОСТЬ ЭКСПОЗИЦИОННОЙ ДОЗЫ И АКТИВНОСТЬ РАДИОНУКЛИДОВ В РАСТЕНИЯХ И ПОЧВАХ.....17	
3.1 Измерение мощности экспозиционной дозы.....17	
3.2 Изучение активности радионуклидов в почве исследуемых зон.....20	
3.2.1 Активность $^{40}\text{K}$ , $^{226}\text{Ra}$ в почвах городских территорий.....21	
3.2.2 Активность $^{90}\text{Sr}$ , $^{137}\text{Cs}$ в почвах города Йошкар-Олы.....24	
3.3 Активность природных и техногенных радионуклидов в древесных растениях.....30	
3.3.1 Активность $^{40}\text{K}$ в древесных растениях.....31	
3.3.2 Активность $^{226}\text{Ra}$ в древесных растениях.....36	
3.3.3 Активность $^{137}\text{Cs}$ в древесных растениях.....38	
3.3.4 Активность $^{137}\text{Cs}$ в древесных растениях.....41	
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	44
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	46

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время и в перспективе особо остро встает проблема загрязнения природной среды радиоактивными элементами. Техногенные выбросы радионуклидов в природную среду в ряде районов земного шара значительно превышают природные нормы.

В последние годы ведутся исследования особенностей аккумуляции загрязнителей (радионуклидов) в связи с необходимостью оценки биосферных и средостабилизирующих функций древесных растений, выполняющих роль фитофильтра на пути распространения загрязняющих веществ в окружающей среде. Однако в результате глобальных выпадений радионуклидов они могут накапливаться в объектах окружающей природной среды даже на «чистых» территориях, к которым относится Республика Марий Эл и г. Йошкар-Ола.

Одним из эффективнейших средств улучшения состояния среды является озеленение, что позволяет повысить комфортность, снизить загазованность, задымленность и запыленность, защитить от шума. Растения и растительные сообщества являются высокочувствительным индикатором экологического благополучия. Ослабленное состояние зеленых насаждений препятствует их функционированию в качестве природных фильтров загрязняющих веществ, приводит к преждевременному старению, снижению продуктивности поражению болезнями, вредителями и гибели насаждений. С этой целью многие экологи рекомендуют увеличить площадь зеленых насаждений в городах.

Таким образом, в связи с возрастающим антропогенным воздействием на окружающую среду проблема ее загрязнения радионуклидами становится все более актуальной. По этому, подходы, используемые в радиационной экологии и экологической физиологии растений, имеют особое значение, так как могут охарактеризовать особенности накопления радиоактивных элементов, входящих в состав растений и дают возможность использования

полученных показателей для определения функционального состояния растительных организмов.

**Целью** работы являлось определение содержания радионуклидов в почве и древесных растениях г. Йошкар-Олы.

**Задачи** исследования:

- 1) Дать оценку состояния мощности экспозиционной дозы г. Йошкар-Ола.
- 2) Изучить активность радионуклидов в почвах разных функциональных зон г. Йошкар-Олы;
- 3) Определить активность радионуклидов в органах древесных растений, произрастающих в городской среде.

## ГЛАВА 1. ОБЩЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О РАДИОЭКОЛОГИИ

В настоящее время источником ионизирующих излучений являются различные радионуклиды. Нуклид – это вид атомов с определенным числом протонов и нейтронов в ядре. Если ядра атомов нуклида радиоактивны, то его называют радионуклидом. *Радионуклиды* – это радиоактивные атомы с данным массовым числом (суммарным числом протонов и нейтронов) и атомным номером или с данным энергетическим состоянием атомного ядра (для изомеров).

Радионуклиды – химические элементы, способные к самопроизвольному распаду с образованием новых элементов, а также образованные изотопы любых химических элементов. Следствием ядерного распада является ионизирующая радиация в виде потока альфа-частиц (поток ядер гелия, протонов) и бета-частиц (поток электронов), нейтронов, гамма-излучение и рентгеновское излучение. Это явление получило название *радиоактивность*. Химические элементы, способные к самопроизвольному распаду называются *радиоактивными*.

Нуклиды делятся на стабильные и радиоактивные (радионуклиды, радиоактивные изотопы). Стабильные нуклиды не испытывают спонтанных радиоактивных превращений из основного состояния ядра. Радионуклиды путем радиоактивных превращений переходят в другие нуклиды. В зависимости от типа распада, образуются либо другой нуклид того же самого элемента, либо нуклид другого элемента, либо два или несколько новых нуклидов.

Среди радионуклидов выделяются короткоживущие и долгоживущие. Радионуклиды, существующие на Земле с момента ее формирования, часто называют природными долгоживущими; такие нуклиды имеют период полураспада, превышающий  $5 \cdot 10^8$  лет. Для каждого элемента были искусственно получены радионуклиды; для элементов с атомным номером (то есть числом протонов), близким к одному из «магических чисел»,

количество известных нуклидов может достигать до нескольких десятков. Наибольшим количеством известных нуклидов – по 34 – обладают платина и осмий. У многих элементов все нуклиды радиоактивны (все элементы, имеющие атомный номер больше, чем у свинца, а также технеций и прометий). Каждому массовому числу соответствует от 0 до 3 стабильных нуклидов, числу нейтронов – от 0 до 6. Общее число известных нуклидов всех элементов превышает 3100.

По способу и времени образования радионуклиды подразделяются на: первичные – образовавшиеся одновременно с образованием планеты ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{48}\text{Ca}$ ,  $^{238}\text{U}$ ); вторичные продукты распада первичных радионуклидов (всего 45 –  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{220}\text{Rn}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и другие); индуцированные – образовавшиеся под действием космических лучей и вторичных нейтронов ( $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{24}\text{Na}$ ). Всего насчитывают более 300 природных радионуклидов.

Радионуклиды естественного и искусственного происхождения широко распространены в природе, они рассеяны в земной коре, воде, воздухе, растениях и теле животных.

Кроме естественных радионуклидов ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) в окружающую среду поступают долгоживущие техногенные ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) радионуклиды, не обладающие высокой мобильностью в пищевых цепях, однако относящиеся к высокотоксичным веществам.

**Калий** – радиоактивный изотоп химического элемента калия с атомным номером 19 и массовым числом 40. Изотопная распространенность  $^{40}\text{K}$  в природе составляет 0,0117(1) %. Удельная активность 1 грамма  $^{40}\text{K}$  равна  $2,652 \cdot 10^5$  Бк. Весь имеющийся на Земле  $^{40}\text{K}$  образовался одновременно с возникновением самой планеты и с тех пор постепенно распадался. Своим существованием на сегодняшний день нуклид обязан большому периоду полураспада ( $1,248 \cdot 10^9$  лет).

Следует отметить, что радиационный фон земли в немалой степени обусловлен  $^{40}\text{K}$ . Радиоактивный изотоп калия является важным глубинным источником тепла нашей планеты. В ходе эволюции Земли калий, как и

другие естественные радиоактивные элементы, сосредоточился главным образом в земной коре, в основном в кислых породах в составе полевых шпатов и слюд.

**Радий.** Природный радий имеет 4 основных радиоактивных изотопа. Главный из них  $^{226}\text{Ra}$  ( $T_{1/2} = 1622$  года). Для радия в природе характерно рассеянное состояние.

Физико-химические перемещения  $^{226}\text{Ra}$  существенно зависят от путей поступления радионуклида в окружающую среду и прочности закрепления в сложной многокомпонентной системе, какой и является почва. Известно, что радий не входит в состав отдельных минералов, а широко распространен в виде включений во многих образованиях (Ситников и др., 2007). Содержится практически во всех объектах окружающей среды.

Основными радионуклидами, определяющими характер техногенного загрязнения, являются  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , которые по-разному сортируются почвой. Стронций-90 поглощается почвой хуже, чем  $^{137}\text{Cs}$ , а, следовательно, цезий-137 является более подвижным радионуклидом. Основной механизм закрепления стронция в почве – ионный обмен, поступление цезия-137 осуществляется за счет обменной формы, либо по типу ионообменной сорбции на внутренней поверхности частиц почвы.

**Цезий.** По химическим свойствам аналогичен калию. При ядерном взрыве образуется в виде хорошо растворимых в воде окислов и солей (карбонатов, нитратов, сульфатов). Цезий-137 один из радионуклидов, имеющих наибольшее радиобиологическое значение, поскольку образуется с большим выходом при делении тяжелых ядер и имеет достаточно большой период полураспада.

В момент выброса цезия-137 в окружающую среду, радионуклид изначально находится в хорошо растворимом состоянии. В этих случаях поступление в почву Cs легко доступен для усвоения растениями. В дальнейшем радионуклид может включиться в различные реакции в почве.



**Стронций.**  $^{90}\text{Sr}$  ( $T_{1/2} = 29$  лет) образуется с высоким выходом при реакциях деления (Сапожников и др., 2006). Радио-стронций по своей экологической значимости не уступает радио-цезию, поскольку является долгоживущим радионуклидом и химическим аналогом кальция – одного из важнейших биогенных элементов (Гродзинский, 1965).

Вертикальное распределение  $^{90}\text{Sr}$  в профиле песчаных лесных почв по форме сходно с таковым для  $^{137}\text{Cs}$ . Для стронция-90 также характерен выраженный максимум содержания в верхней органогенной части профиля с последующим резким падением в минеральной части. Следовательно, внутрипрофильное перераспределение этих радионуклидов по почвенному горизонту определяется одними и теми же ведущими процессами, а именно диффузией, конвективным переносом и биогенной миграцией.

Миграция – движение химических элементов в компонентах окружающей среды. Существуют разные уровни организации миграции веществ (их химических соединений), которые происходят как в пределах почвенно-растительного покрова, так и в пределах целого ландшафта. Механизмы обеспечивающие миграцию радиоактивных веществ в окружающей среде, ни чем не отличаются от механизмов миграции других элементов.

Радиоактивные вещества попадающие в атмосферу, в конечном счете концентрируются в почве. Через несколько лет после радиоактивных выпадений на земную поверхность поступления радионуклидов в растения из почвы становится основным путем попадания их в пищу человека и корм животным. При аварийных ситуациях, как показала авария на Чернобыльской АЭС, уже на второй год после выпадений основной путь попадания радиоактивных веществ в пищевые цепи – поступление радионуклидов из почвы в растения.

Радиоактивные вещества, попадающие в почву, могут из нее частично вымываться и попадать в грунтовые воды. Однако почва довольно прочно удерживает попадающие в нее радиоактивные вещества. Поглощение

радионуклидов обуславливает очень длительное (в течение десятилетий) их нахождение в почвенном покрове и непрекращающееся поступление в сельскохозяйственную продукцию.

На ранних этапах развития жизни на Земле радиоактивный фон был значительно выше современного, но постепенно уменьшался в связи с распадом многих радиоактивных элементов земной коры. Вероятно, поэтому эволюционно более древним организмам свойственна повышенная радиоустойчивость. Высокие дозы радиации способны переносить цианобактерии, грибы и лишайники.

Природные экосистемы загрязнены техногенными радионуклидами из разных источников: во-первых, это глобальные радиоактивные выпадения из атмосферы – результат испытаний ядерного оружия; во-вторых, значительное количество радионуклидов поступило в окружающую среду в результате ядерных предприятий и аварий на них.

Радионуклиды могут присутствовать в атмосфере в различных химических и физических формах в зависимости от условий выброса и переноса, а также химические свойства тех элементов, к которым они принадлежат. Самое общее деление состояний радионуклидов в атмосфере – это газы, аэрозоли и частицы. В результате радиоактивного распада радия и тория в них скапливаются радиоактивные газы радон и торон.

Наибольшую опасность при загрязнении земной поверхности при ядерных взрывах и авариях на атомных предприятиях представляет сравнительно долгоживущий  $^{137}\text{Cs}$ . При нагревании цезий легко растворяется, а при понижении температуры конденсируется на атмосферных аэрозолях и в дальнейшем присутствует в атмосфере в составе так называемых конденсационных частиц. При контакте с водой часть конденсированного цезия может растворяться, переходя в ионную форму. Цезий существенно более летуч. Поэтому в радиоактивных аэрозолях, образовавшихся при нагревании топливных элементов, например, во время

Чернобыльской аварии, цезия в несколько раз больше, чем другого широко распространенного радионуклида  $^{90}\text{Sr}$ .

Поступление искусственных радионуклидов в почвы происходит двумя основными путями: с атмосферными осадками и в результате сброса отходов. Поглощение почвами радионуклидов препятствует их передвижению по профилю почв, проникновению в грунтовые воды, и в конечном счете определяют их аккумуляцию в верхних почвенных горизонтах.

Поведение радионуклидов в почвах зависит: от формы поступления радионуклидов и степени растворимости; от геохимических свойств радионуклида; от физико-химических условий среды, (природно-климатическими, ландшафтными и геологическими условиями).

От поведения радионуклидов в почве зависит их дальнейшая судьба, а именно: размеры вымывания их с осадками, миграция по почвенному профилю, степень перехода в прочносорбированное состояние и, как следствие всех этих процессов, интенсивность поступления в растения. Чем полнее радионуклиды поглощаются почвенным поглощающим комплексом (ППК), чем прочнее они закрепятся в поглощенном состоянии, тем меньше будут вымываться с осадками, мигрировать по профилю почвы и в относительно меньших количествах будут поступать в растения.

Осевшие на земную поверхность радиоактивные вещества под воздействием природных процессов мигрируют в горизонтальном и вертикальном направлениях, в результате чего иногда происходит их перераспределение. Горизонтальная миграция радиоактивных веществ происходит под воздействием атмосферных осадков и ветра, а также в следствие растительного опада (Щеглов, 1998). Вертикальная миграция радиоактивных веществ в почве является результатом действия многих факторов (перемещения радионуклидов растениями, переноса фильтрационными токами воды, процессами перемешивания и диффузии, деятельности почвенных животных). Эти процессы могут приводить к снижению концентрации радионуклидов в верхнем пятисантиметровом слое

почвы в 2-3 раза. Независимо от типов почв и ландшафта основная масса дозообразующих радионуклидов длительное время удерживается в верхнем почвенном слое.

Таким образом, миграция радионуклидов во многом зависит от типа почвы, ее механического состава, водно-физических и агрохимических свойств. Так на сорбцию радиоизотопов влияют многие факторы, и одним из основных являются механический и минералогический состав почвы. Тяжелыми по механическому составу почвами поглощенные радионуклиды, особенно цезий-137, закрепляются сильнее, чем легкими. Кроме того эффект миграции радионуклидов зависит от метеорологических условий (количества осадков). Гранулометрический состав почв оказывает большое влияние на адсорбцию радионуклидов почвами. Экспериментально показано, что основное количество поглощенных почвами радионуклидов сосредоточено в илистой и глинистой фракциях. Глинистые почвы обладают существенно большей способностью сорбировать радионуклиды, особенно изотопы цезия и плутония, по сравнению с песчаными почвами (Сапожников и др., 2006). Прежде всего, это связано с увеличением сорбционной поверхности от грубых фракций к тонким фракциям почвы. Минимальной способностью поглощать радионуклиды обладают минералы изверженных пород, составляющие обычно фракции песка. Влажность почв, как правило, способствует поступлению радионуклидов в растения.

Радионуклиды, поступившие в почву, не изменяют физико-химического состава почвы и с течением времени распространяются в 30-ти сантиметровом слое. В почве радионуклиды включаются в различные процессы, среди которых наибольшее значение имеют сорбция и миграция. Радионуклиды вступают в физико-химические реакции взаимодействия с почвенным поглощающим комплексом (ППК).

Радионуклиды при попадании в почву могут находиться в различных формах. Сорбционные процессы радионуклидов в почвах влияют на перераспределение их форм, особенно при длительном пребывании в почвах.

С течением времени после попадания радионуклидов в почву изменяются их физико-химические формы, радионуклиды становятся менее доступными растениям, происходит так называемый процесс их «старения» в почвах.

Известно, что корневые системы способствуют «закачиванию» радионуклидов вглубь почвенного профиля (за счет выделительной функции). Особенно активно этот процесс происходит в горизонтах с наименьшей концентрацией радионуклидов. Если же их концентрация в почве выше чем в растениях, то радионуклиды поднимаются вверх в фотосинтезирующие органы. Наиболее подвижен и легче поступает из почвы по корневому пути  $^{90}\text{Sr}$ . Цезий сильнее сорбируется почвами и поэтому в относительно меньших количествах переходит в растения.

## ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на территории г. Йошкар-Олы. Город Йошкар-Ола – важнейший административный и промышленный центр Республики Марий Эл, население которого составляет более 266 тыс. чел. Город расположен на границе Марийской низменности и Оршанско-Кокшайской волнистой равнины, по обе стороны от реки Малая Кокшага.

По техническому заданию были определены следующие территории исследования:

– лесопарковая зона (ООПТ «Сосновая роща», ЦПКиО им. XXX-летия ВЛКСМ.

– селитебная зона – зона в жилой части города: ул. Некрасова, ул. Осипенко, м-н Нагорный.

– промышленная зона – территория ОАО «ММЗ», ОАО «ОКТБ Кристалл».

По всем районам исследований (лесопарковая, селитебная и промышленная зоны) посчитаны среднестатистические значения радиологических измерений.

Объектами исследования были древесные растения: сосна обыкновенная (*P. sylvestris*) и береза повислая (*B. pendula.*) произрастающие в различных по уровню загрязнения районах г. Йошкар-Олы, кроме того объектом нашего исследования являются почвы изучаемых территорий города.

Регистрация мощности экспозиционной дозы производилась портативным прибором QUARTEX RD 8901. Детектор радиоактивности QUARTEX RD 8901 предназначен для самостоятельной оценки загрязненности источниками гамма-квантов и бета-частиц твердых и жидких продуктов питания, предметов быта, строительных материалов и окружающей среды в диапазоне 0 - 999 мкР/ч. Данные прибора переведены по системе СИ в мкЗв/ч (1 мкЗв = 100 мкР).

Исследования по изучению радиоактивности проводились в лаборатории экологического мониторинга кафедры экологии ФГБОУ ВО «МарГУ» на гамма-бета спектрометре.

Гамма-бета спектрометр МКС-АТ1315 предназначен для проведения анализов:

- Измерение удельной активности бета-излучающих радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ )
- Измерение удельной активности гамма-излучающих радионуклидов ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ )
- Экспресс-анализ стандартизованных проб плавков металла на радиационную чистоту.

Спектрометр МКС-АТ1315 имеет стационарную конструкцию и состоит из блока детектирования гамма-излучения (БДГ), блока детектирования бета-излучения (БДБ) и блока защиты (БЗ). Блок детектирования гамма излучения расположен внутри блока защиты и использует сцинтилляционный детектор с кристаллом NaI (Тl) в качестве регистратора гамма-излучения. Блок детектирования бета-излучения размещается в крышке блока защиты и использует пластмассовый сцинтиллятор в качестве регистратора бета-излучения. Принцип действия спектрометра основан на накоплении и обработке амплитудных спектров импульсов, поступающих от БДГ и БДБ. Амплитуда импульсов, пропорциональная энергии гамма-бета-излучения, преобразуется в цифровой код, который хранится в запоминающем устройстве (ЗУ) блоков детектирования. Накопленная информация выводится на монитор подключенного к спектрометру персонального компьютера в виде спектров гамма и бета-излучения и обрабатывается средствами специального программного обеспечения ПО «SPTR».

*Измерение активности.* Для проведения измерения активности на гамма бета-спектрометре программа предлагает список всех аттестованных

геометрий, измерение в которых возможно на данной установке. В нашем случае измерение проводилось в сосуде «Маринелли».

Для проведения активности счетного образца необходимо выполнить следующие операции: приготовить счетный образец к измерению, заполнив сосуд Маринелли материалом пробы до определенной отметки; взвесить счетный образец; установить счетный образец на детектор; закрыть крышку свинцовой защиты; запустить программу.

По истечению установленного времени экспозиции или после остановки происходит автоматическая остановка прибора с переходом к обработке набранной спектограммы матричным методом с использованием матрицы эффективности, соответствующей выбранной перед пуском набора геометрии измерения.

По окончании обработки спектра матричным методом помимо рассчитанных значений активности гамма-излучающих радионуклидов и семейств нуклидов, наличие которых в счетном образце подразумевалось при выборе типа измерения, на экран выводятся соответствующие им значения статистической составляющей абсолютной погрешности измерения, рассчитанные для доверительного интервала 95% (Программа «SPTR» руководство оператора, 2012).



## ГЛАВА 3. МОЩНОСТЬ ЭКСПОЗИЦИОННОЙ ДОЗЫ И АКТИВНОСТЬ РАДИОНУКЛИДОВ В РАСТЕНИЯХ И ПОЧВАХ

### 3.1. Измерение мощности экспозиционной дозы

Для измерения ионизирующих излучений создано много различных приборов и установок, которые, в принципе, подразделяются на три типа: спектрометры, радиометры, дозиметры. Среди них имеются универсальные приборы, совмещающие те или иные функции. Имеются приборы для измерения активности вещества (то есть количества распадов/сек), приборы для регистрации альфа-, бета- и других излучений и т. д. Но, к сожалению, мало выпускается приборов, относящихся к классу дозиметров, то есть таких, которые специально предназначены для измерения дозы или мощности дозы.

В Российской Федерации существуют нормативы, регламентирующие допустимые уровни ионизирующего излучения. С 15 августа 2010 года и по настоящее время действуют санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.2.2645-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях».

Последние изменения были внесены 15 декабря 2010 года – СанПиН 2.1.2.2801-10 «Изменения и дополнения N 1 к СанПиН 2.1.2.2645-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях».

Также действуют следующие нормативные документы, касающиеся ионизирующего излучения: Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 7 июля 2009 г. N 47 «Об утверждении СанПиН 2.6.1.2523-09».

В соответствии с действующим СанПиН «мощность эффективной дозы гамма-излучения внутри зданий не должна превышать мощности дозы на открытой местности более чем на 0,2 мкЗв/час».

В СанПиН 2.6.1.2523-09 указано, что «допустимое значение эффективной дозы, обусловленной суммарным воздействием природных источников излучения, для населения не устанавливается. Снижение

облучения населения достигается путем установления системы ограничений на облучение населения от отдельных природных источников излучения». Но при этом при проектировании новых зданий жилищного и общественного назначения должно быть предусмотрено, чтобы среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность дочерних изотопов радона и торона в воздухе помещений не превышала  $100 \text{ Бк/м}^3$ .

Однако в СанПиН 2.6.1.2523-09 указано, что пределом эффективной дозы облучения для населения является  $1 \text{ мЗв}$  в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более  $5 \text{ мЗв}$  в год. Таким образом, можно рассчитать, что предельная мощность эффективной дозы равна  $5 \text{ мЗв}$  деленная на 8760 часов (количество часов в году), что равно  $0,57 \text{ мкЗв/час}$ .

Среднемировая доза облучения от естественных источников, накопленная на душу населения за год, равна  $2,4 \text{ мЗв}$ , с разбросом от 1 до  $10 \text{ мЗв}$ . Основные компоненты излучения:

–  $0,4 \text{ мЗв}$  от космических лучей (от  $0,3$  до  $1,0 \text{ мЗв}$ , в зависимости от высоты над уровнем моря);

–  $0,5 \text{ мЗв}$  от внешнего гамма-излучения (от  $0,3$  до  $0,6 \text{ мЗв}$ , в зависимости от радионуклидного состава окружения – почвы, стройматериалов и т.п.);

–  $1,2 \text{ мЗв}$  внутреннего облучения от атмосферных радионуклидов, главным образом радона (от  $0,2$  до  $10 \text{ мЗв}$ , в зависимости от местной концентрации радона в воздухе);

–  $0,3 \text{ мЗв}$  внутреннего облучения от инкорпорированных радионуклидов (от  $0,2$  до  $0,8 \text{ мЗв}$ , в зависимости от радионуклидного состава пищевых продуктов и воды).

Нами было проведено измерение мощности экспозиционной дозы на территории города Йошкар-Олы. Полученные данные приведены в таблице 1.

В *лесопарковой зоне*, в ходе измерения контрольных точек максимальное значение  $0,09 \text{ мкЗв/ч}$  зафиксировано в пробах на территории ООПТ «Сосновая роща» со стороны микрорайона «Сомбатхей».

Минимальное значение 0,04 мкЗв/ч отмечено у понтонного моста и плотины реки Малая Кокшага около микрорайона Ширяйково. На территории парка им. XXX-летия ВЛКСМ полученные данные не имели статистически достоверных различий, среднее значение равно 0,07 мкЗв/ч.

Таблица 1.

Изучение мощности экспозиционной дозы

Название участка	Место проведения измерения	Номер пробы					Сред. мкЗв/ч	Сред. по уч. мкЗв/ч
		1	2	3	4	5		
Лесопарковая зона	Сосновая роща. Район Сомбатхей	0,09	0,09	0,09	0,07	0,08	0,084	0,074
	Сосновая роща. Район Ширяйково	0,08	0,04	0,09	0,05	0,08	0,068	
	Парк им. XXX-летия ВЛКСМ.	0,07	0,07	0,06	0,07	0,08	0,07	
Селитебная зона	Ул. Осипенко	0,08	0,07	0,09	0,1	0,08	0,084	0,095
	Ул. Некрасова	0,13	0,08	0,11	0,07	0,09	0,096	
	М-н «Нагорный»	0,11	0,12	0,1	0,09	0,1	0,104	
Промышленная зона	ОАО «ОКТЕ Кристалл» (участок 1)	0,06	0,06	0,09	0,08	0,08	0,074	0,081
	ОАО «ОКТЕ Кристалл» (участок 2)	0,06	0,08	0,06	0,07	0,07	0,068	
	ОАО «ММЗ» (участок 1)	0,11	0,07	0,09	0,07	0,07	0,082	
	ОАО «ММЗ» (участок 2)	0,11	0,11	0,1	0,09	0,09	0,1	

При проведении замеров на участках *селитебной зоны* высокие значения 0,12-0,13 мкЗв/ч выявлены только в микрорайоне «Нагорный» и на улице Некрасова. Минимальное значение зафиксировано только на улице Осипенко и равняется 0,07 мкЗв/ч. Максимальное среднее значение среди контрольных точек в 0,104 мкЗв/ч зафиксировано на территории микрорайона «Нагорный». Минимальное среднее значение отмечается на улице Осипенко (0,084 мкЗв/ч).

В ходе анализа проведенных измерений установлено, что в *промышленной зоне* максимальные значения в индивидуальных пробах в 0,1-

0,11 мкЗв/ч зафиксированы только на ОАО «ММЗ». Минимальное значение в 0,06 мкЗв/ч отмечено на заводе ОАО «ОКТБ Кристалл».

На основании проведенной работы выявилась следующая картина: минимальное значение радиационного фона отмечалось на участке лесопарковой зоны (0,074 мкЗв/ч), максимальное значение в селитебной зоне (0,095 мкЗв/ч).

### 3.2 Изучение активности радионуклидов в почве исследуемых зон

Городские почвы – это антропогенно измененные почвы, имеющие созданный в результате человеческой деятельности поверхностный слой мощностью более 50 см, полученный перемешиванием, насыпанием или погребением материала урбаногенного происхождения, в том числе строительно-бытового мусора.

Общие черты городских почв следующие:

- материнская порода – насыпные, намывные или перемешанные грунты или культурный слой;
- включения строительного и бытового мусора в верхних горизонтах;
- нейтральная или щелочная реакция (даже в лесной зоне);
- высокая загрязненность металлами и нефтепродуктами;
- особые физико-механические свойства почв (пониженная влагоемкость, повышенная объемная масса, уплотненность, каменистость);
- рост профиля вверх за счет постоянного привнесения различных материалов и интенсивного эолового напыления.

Специфика городских почв состоит в сочетании перечисленных свойств. Для городских почв характерен специфический диагностический горизонт "урбик" (от слова urbanus-город). Горизонт "урбик" - поверхностный органо-минеральный насыпной, перемешанный горизонт, с урбоантропогенными включениями (более 5% строительно-бытового мусора, промышленных отходов), мощностью более 5 см (Федорец, Медведева, 2009).

Можно выделить некоторые группы городских почв: естественные ненарушенные, сохраняющие нормальное залегание горизонтов естественных почв (почвы городских лесов и лесопарков); естественно-антропогенные поверхностно преобразованные, почвенный профиль которых изменен в слое мощностью менее 50 см; антропогенные глубокопреобразованные почвы, формирующиеся на культурном слое или насыпных, намывных и перемешанных грунтах мощностью более 50 см, в которых произошла физико-механическая перестройка профилей или химическое преобразование за счет химического загрязнения; урботехноземы искусственные почвогрунты, созданные путем обогащения плодородным слоем, торфокомпостной смесью насыпных или других свежих грунтов. В городе Йошкар-Оле, в Заречной части города, целый микрорайон построен на искусственном грунте-песке, который намыт со дна р. Малая Кокшага, толщина грунта доходит до 6 м.

Основными источниками загрязнения почвы являются бытовые отходы, автомобильный и железнодорожный транспорт, выбросы теплоэлектростанций, промышленных предприятий, сточные воды, строительный мусор.

В данной работе представлены результаты, отражающие современное состояние вопроса загрязненности почв радионуклидами с позиций экологической оценки среды обитания в условиях города Йошкар-Олы.

### *3.2.1. Активность $^{40}\text{K}$ , $^{226}\text{Ra}$ в почвах городских территорий*

Изучение активности основных природных радионуклидов ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ) дает представление о естественном радиоактивном фоне. Известно, что основной вклад в содержание радионуклидов в почвах исследуемых территорий вносит  $^{40}\text{K}$ . Калий-40 относится к основным (по активности) естественным радионуклидам в биологически объектах и своим излучением создает естественное (фоновое) облучение. При распаде калий-40 превращается в основном в стабильный изотоп кальция-40.

В природной среде существуют 3 изотопа калия:  $^{39}\text{K}$  (93,8 %),  $^{40}\text{K}$  (0,0119 %) и  $^{41}\text{K}$  (6,76 %). Это соотношение изотопов всегда постоянно в природной среде – почвах, горных породах, природных водах. Среди изотопов калия имеется один радиоактивный изотоп –  $^{40}\text{K}$ , обладающий гамма и бета-излучением, их энергия в Мэв соответственно равна – 1,46 и 1,31 ед. Естественный радиоактивный изотоп  $^{40}\text{K}$  вносит наибольший вклад в радиоактивность биоты, земной коры и вод океана, а выделяющаяся при распаде ядер  $^{40}\text{K}$  энергия играет заметную роль в тепловом балансе Земли. В ходе эволюции Земли калий, как и другие естественные радиоактивные элементы, сосредоточился главным образом в земной коре, в основном в кислых породах в составе полевых шпатов и слюд (Сапожников и др., 2006).

Таблица 2

*Изучение активности природных радионуклидов в почвах исследуемых территорий*

Зоны	Территории исследования	$^{40}\text{K}$	$^{226}\text{Ra}$
Лесопарковая	ООПТ «Сосновая роща»	446 ± 22,31	16,95 ± 0,83
	Парк им. XXX-летия ВЛКСМ	439 ± 21,95	15,9 ± 0,78
Селитебная	Ул. Осипенко	335 ± 16,75	17,1 ± 0,84
	Ул. Некрасова	405 ± 20,25	18,3 ± 0,89
	Микрорайон Нагорный	372 ± 18,61	17,4 ± 0,87
Промышленная	ОАО «ОКТБ Кристалл»	510 ± 25,19	21,3 ± 1,05
	ОАО «ММЗ»	556 ± 27,79	25,6 ± 1,27

Как показали результаты нашего исследования (таб. 2) содержание  $^{40}\text{K}$  неравномерно распределено по территории г. Йошкар-Олы. В зависимости от района исследований активность по  $^{40}\text{K}$  составляет 335-556 Бк/кг. При этом большей активностью  $^{40}\text{K}$  характеризовались почвы промышленной зоны ОАО «ММЗ» 556 Бк/кг и ОАО «ОКТБ Кристалл» 510 Бк/кг. Минимальная активность по  $^{40}\text{K}$  наблюдалась в селитебной зоне города в пределах от 335 до 405 Бк/кг. По итогам исследования, можно построить следующий

возрастающий ряд по активности  $^{40}\text{K}$ : селитебная зона → лесопарковая зона → промышленная зона.

Природный *радий* имеет 4 основных радиоизотопа. Главный из них  $\text{Ra}^{226}$  ( $T_{1/2}=1622$  года,  $\alpha$ -излучатель). Для  $\text{Ra}^{226}$  в природе характерно рассеянное состояние. Процессы миграции в почвах, поглощение и накопление растениями  $^{226}\text{Ra}$  существенно зависят от путей поступления радионуклида в окружающую среду и прочности закрепления в сложной многокомпонентной системе, какой и является почва. Известно, что радий не входит в состав отдельных минералов, а широко распространен в виде включений во многих образованиях. Процессы миграции в почвах, поглощение и накопление растениями радия-226 существенно зависят от путей поступления радионуклида в окружающую среду (Ситников и др., 2007).

Полученные нами данные указывают на то, что (таб. 2) в г. Йошкар-Оле максимальное количество  $^{226}\text{Ra}$  обнаружено в зоне антропогенного загрязнения (промышленная зона города) и составило 25,6 Бк/кг около ОАО «ММЗ». Меньшее содержание изучаемого радионуклида обнаружено в лесопарковой зоне 16,95 Бк/кг для ООПТ «Сосновая роща», а самое низкое – на территории парка им. XXX-летия ВЛКСМ 14,5 Бк/кг.

На основании проведенного исследования по изучению активности естественных радионуклидов, следует отметить, что достаточно высокий уровень содержания радионуклидов  $^{40}\text{K}$  и  $^{226}\text{Ra}$  характерен для почв промышленной зоны города.

Загрязнение почв радиоактивными элементами связано с антропогенной деятельностью, приурочено к городской территории, отличается мозаичностью и различной степенью концентрации. Возможно, что более высокое содержание  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и на антропогенно-загрязненных территориях объясняется тем, что в г. Йошкар-Оле преобладают глинистые почвы. Кроме того до 30 % территории занимают почвы с сильной степенью нарушенности профиля, в строении которого присутствуют насыпные

гумусовые слои мощностью от 18 до 30 см. Однако можно отметить, что естественная радиоактивность почв г. Йошкар-Олы не выходит за пределы общероссийских показателей.

### 3.2.2. Активность $^{90}\text{Sr}$ , $^{137}\text{Cs}$ в почвах города Йошкар-Олы

Основными радионуклидами, определяющими характер техногенного загрязнения, являются  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , которые по-разному сортируются почвой. Стронций-90 поглощается почвой хуже, чем  $^{137}\text{Cs}$ , а, следовательно, цезий-137 является более подвижным радионуклидом. Основным механизмом закрепления стронция в почве – ионный обмен, поступление цезия-137 осуществляется за счет обменной формы, либо по типу ионообменной сорбции на внутренней поверхности частиц почвы.

Эффект миграции радионуклидов зависит от метеорологических условий; так, установлено, что  $^{90}\text{Sr}$ , попавший на поверхность почвы, вымывается дождем в самые низшие слои. Следует заметить, что миграция радионуклидов в почвах протекает медленно и их основная часть находится в слое 0-5 см (Экологический мониторинг..., 2000).

По химическим свойствам *цезий-137* аналогичен калию, имеет валентность  $1^+$ . При ядерном взрыве образуется в виде хорошо растворимых в воде окислов и солей (карбонатов, нитратов и сульфатов). В глобальных выпадениях в водорастворимой фракции содержится до 70 %  $^{137}\text{Cs}$ , в нерастворимой фракции ~23 %. В твердой фазе атмосферных осадков и в сухих выпадениях растворимость Cs составляет 43 % и 88 % соответственно. Большая часть (до 60 %)  $^{137}\text{Cs}$  находится в катионной форме. Цезий-137 – один из радионуклидов, имеющих наибольшее радиобиологическое значение, поскольку образуется с большим выходом при делении тяжелых ядер и имеет достаточно большой период полураспада. Атмосферные испытания ядерного оружия, проведенные в начале 60-х годов прошлого века, привели к тому, что цезий-137 встречается повсеместно в почвах, в



донных отложениях рек, озер, морей и в атмосферных осадках (Сапожников и др., 2006).

В момент выброса цезия-137 в окружающую среду, радионуклид изначально находится в хорошо растворимом состоянии (парогазовая фаза, мелкодисперсные частицы и т.д.). В этих случаях поступления в почву  $^{137}\text{Cs}$  легко усваивается растениями. В дальнейшем радионуклид может включаться в различные реакции в почве, и подвижность его снижается, увеличивается прочность закрепления, радионуклид «стареет», а такое «старение» представляет комплекс почвенных кристаллохимических реакций с возможным вхождением радионуклида в кристаллическую структуру вторичных глинистых минералов.

Как показали результаты нашей работы (таб. 3), на территории г. Йошкар-Олы зафиксировано присутствие техногенных радионуклидов. Так, в городе уровень активности  $^{137}\text{Cs}$  в почвах колебался от 16,9 Бк/кг в лесопарковой зоне, 33,5 Бк/кг – в селитебной и до 38,1 Бк/кг – в промышленной зоне города. При этом отмечается тенденция повышения активности данного радионуклида от лесопарковой к промышленной зонам города. Активность по  $^{137}\text{Cs}$  не имеет превышений и оценивается как низкая.

Таблица 3

Зона	Территория исследования	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$
Лесопарковая	ООПТ «Сосновая роща»	$18,5 \pm 0,91$	$117,5 \pm 5,86$
	Парк им. XXX-летия ВЛКСМ	$16,9 \pm 0,83$	$99,1 \pm 4,94$
Селитебная	Ул. Осипенко	$23,4 \pm 1,16$	$51,3 \pm 2,55$
	Ул. Некрасова	$25,2 \pm 1,25$	$57,6 \pm 2,87$
	Микрорайон Нагорный	$33,5 \pm 1,66$	$66,2 \pm 3,29$
Промышленная	ОАО «ОКТБ Кристалл»	$26,3 \pm 1,29$	$68,1 \pm 3,39$
	ОАО «ММЗ»	$38,1 \pm 1,89$	$77,3 \pm 3,85$

Известно, что техногенные радионуклиды поступают из атмосферы на городские комплексы с сухими и мокрыми атмосферными выпадениями. Вследствие более интенсивного транспортного движения механический

перенос пыли и связанных с ней загрязняющих веществ имеет большее значение для городских территорий, чем для сельской местности.

Таким образом, результаты работы по содержанию  $^{137}\text{Cs}$  в различных районах города Йошкар-Олы показали, что распределение его носит характер увеличения содержания по мере загрязнения среды и имеет статистически значимые отличия. При этом самые высокие концентрации радио-цезия были характерны в городе Йошкар-Оле для промышленного района.

Наши исследования согласуются с результатами, полученными в других работах (Ситников и др., 2007). Известно, что загрязненность почвенно-растительного покрова определяется наличием техногенных изотопов. Важной особенностью распределения загрязнения является пятнистый характер, причем в разных районах радиоактивный материал часто концентрируется на небольших по площади территориях. Для распределения  $^{137}\text{Cs}$  характерна более высокая неоднородность и выраженная микроочаговость, что в целом свойственно чернобыльским выпадениям (Щеглов, 1998).

Известно, что миграция радионуклидов во многом зависит от типа почвы, ее механического состава, водно-физических и агрохимических свойств. Так, на сорбцию радиоизотопов влияют многие факторы, и одними из основных являются механический и минералогический состав почвы. Тяжелыми по механическому составу почвами поглощенные радионуклиды (особенно цезий-137) закрепляются сильнее, чем легкими. Кроме того эффект миграции радионуклидов зависит от метеорологических условий.

*Стронций* образуется с высоким выходом при реакциях деления. Этот радионуклид особенно опасен, поскольку накапливается в костной ткани и приводит к внутреннему облучению организма бета-частицами. Радиостронций по своей экологической значимости не уступает радио-цезию, поскольку является долгоживущим радионуклидом и химическим аналогом кальция – одного из важнейших биогенных элементов (Гродзинский, 1965).

Вертикальное распределение  $^{90}\text{Sr}$  в профиле песчаных лесных почв по форме сходно с таковым для  $^{137}\text{Cs}$ . Для стронция-90 также характерен

выраженный максимум содержания в верхней органогенной части профиля с последующим резким падением в минеральной части. Следовательно, внутрипрофильное перераспределение этих радионуклидов по почвенному горизонту определяется одними и теми же ведущими процессами, а именно диффузией, конвективным переносом и биогенной миграцией (Искра, Бахуров, 1981).

Что касается активности  $^{90}\text{Sr}$  на территории г. Йошкар-Олы, то в ходе наших исследований (таб. 3) было установлено, что максимальное количество  $^{90}\text{Sr}$  обнаружено в лесопарковой зоне 117,5 Бк/кг, значительно ниже – в промышленном районе 77,3 Бк/кг и минимальный уровень – в селитебной зоне города 66,2 Бк/кг. При построении ряда убывания, получается следующая последовательность исследуемых зон: лесопарковая → промышленная → селитебная.

Относительно высокий уровень содержания стронция-90 в лесопарковой зоне г. Йошкар-Олы обусловлен несколькими причинами:

а) микроочаговостью радиоактивных выпадений после аварий на атомных электростанциях (Чернобыльская АЭС; Фукусима-1 АЭС);

б) составом почвы (глинистая, песчаная, суглинистая), характеризующейся различным распределением стронция по профилю почвы (в данном случае преобладала глинистая почва);

в) большая роль в настоящее время отводится выносу радионуклидов растениями.

Техногенные радионуклиды, поступающие в городскую среду, по-видимому, позволяют более полно исследовать закономерности удержания загрязняющих веществ в городской среде с целью дальнейшего совершенствования прогностических моделей поведения поллютантов в городских условиях (Сапожников и др., 2006).

Г.А. Ситников и др. (2007), изучая радиозэкологическую ситуацию в Республике Марий Эл, сделали предположение о чернобыльском происхождении выпадений и построили карты поверхностного загрязнения

почвы техногенными радионуклидами  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . Авторы сделали выводы, что радионуклиды выпали практически одновременно и в настоящий момент заметной добавки из атмосферы не происходит. Кроме того, они отводят большую роль в миграции радионуклидов травянистым растениям.

Таким образом, результаты нашей работы показали, что активность радионуклидов в почвах г. Йошкар-Олы можно классифицировать как низкую. При этом более значительное содержание естественных радионуклидов ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ) отмечалось в различающихся по уровню загрязнения районах г. Йошкар-Олы. Почвы городских экосистем разного уровня и степени урбанизации – лесопарковые, селитебные и промышленные территории, существенно различаются друг от друга. В лесопарковых зонах свойства почв близки к таковым на территориях, не подверженных значительным антропогенным изменениям. В селитебных зонах преобладают сильно нарушенные почвы (урбаноземы), в промышленных зонах – почвы деградированы и насыщены солями тяжелых металлов и радионуклидами.

Содержание техногенных и природных радионуклидов в почвах исследуемых районов может быть обусловлено, по-видимому, составом почвы. Известно, что почвы с преобладанием глинистых фракций (г. Йошкар-Олы) и небольшим вымывным горизонтом, по своим показателям являются более благоприятной средой для накопления техногенных радионуклидов.

Большему удержанию радиоизотопов в почве способствует наличие в ней химических элементов, близких по химическим свойствам к этим изотопам. Так, кальций – химический элемент, близкий по своим свойствам стронцию-90 и внесение извести, особенно на почвы с высокой кислотностью, ведет к увеличению поглотительной способности стронция-90 и к уменьшению его миграции. Калий схож по своим химическим свойствам с цезием-137. Калий, как неизотопный аналог цезия находится в почве в макроколичествах, в то время как цезий – в ультрамикроразбавлениях. Вследствие этого в почвенном растворе происходит сильное разбавление микроколичеств цезия-137 ионами калия, и при поглощении их корневыми системами растений отмечается конкуренция за

место сорбции на поверхности корней. Поэтому при поступлении этих элементов из почвы в растениях наблюдается антагонизм ионов цезия и калия.

Что же касается техногенных радионуклидов, то наиболее высокое содержание цезия-137 было обнаружено в промышленной зоне. По-видимому, это связано с мозаичностью загрязнения. Микроочаговость загрязнения почв радионуклидами обуславливается не только их первичной концентрацией сразу после радиоактивного выпадения, но и разными условиями миграции элемента по почвенному профилю.

Содержание радионуклидов в почве действующими санитарно-законодательными документами не нормируется. По этой причине радиационно-экологическое состояние почвы оценивают сравнением с контрольными уровнями, которые утверждают местные органы Роспотребнадзора на основании средних данных (Лашенова, Зазуль, 2006). Загрязненность почв основными дозообразующими радионуклидами не вызывает опасений, среднее значение по городу Йошкар-Оле намного меньше, чем по России (Ежегодный доклад..., 2013).

Таким образом, накопление загрязняющих веществ в городской среде, зависит от соотношения скоростей их поступления и удаления. Миграция радионуклидов сквозь почву зависит в основном от интенсивности их адсорбции компонентами почв (например, глинистыми минералами, гумусовыми веществами). Существенное значение имеют также молекулярная диффузия, всасывание корневой системой растений и испарение (Сапожников и др., 2006).

В целом давая оценку состояния урбанизированной среды, следует отметить, что почвы г. Йошкар-Олы, имея определенный уровень загрязнения радионуклидами и испытывая определенную антропогенную нагрузку, тем не менее, сохранили способность самоочищаться.

### *3.3. Активность природных и техногенных радионуклидов в древесных растениях*

В отдаленный период после радиоактивных выпадений одним из наиболее критических компонентов биологических экосистем являются древесные растения. Во время своего развития деревья могут аккумулировать значительные количества радиоактивных веществ и представляют собой естественное депо радионуклидов. В отличие от других компонентов в первые 5-15 лет после радиоактивного загрязнения для древесного яруса характерно увеличение содержания таких долгоживущих техногенных радионуклидов, как  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  (Романов и др., 2006).

Находящиеся в почве естественные радионуклиды переходят в растения и включаются в биологический круговорот. В живом веществе обнаруживается некоторая аккумуляция естественных радионуклидов – калия и отчасти радия и тория. В литературе приводятся сведения о содержании естественных радионуклидов в древесных растениях, произрастающих на территориях с повышенным количеством радиоактивных элементов. Радиоактивные изотопы, накапливающиеся в коре деревьев, остаются в них до конца жизни растений. Периодически возвращаются в почву те радионуклиды, которые находятся в листьях и хвое. Радиоизотопы, аккумулированные травами, после их отмирания практически целиком переходят в почву (Егорова и др., 2009).

Механизм усвоения техногенных радионуклидов корнями растений сходен с поглощением основных питательных веществ – макро и микроэлементов. Определенное сходство наблюдается в поглощении растениями и передвижения по ним стронция-90 и цезия-137 и их химических аналогов – кальция и калия, поэтому содержание данных радионуклидов в биологических объектах иногда выражают по отношению к их химическим аналогам, в так называемых стронциевых и цезиевых единицах (Мартинovich и др., 2000).

В своей работе мы исходили из того, что содержание радионуклидов в растениях зависит от целого ряда факторов. Основными из них являются:

- 1) концентрация и формы нахождения радионуклидов в корнеобитаемом слое почвы;
- 2) геохимические особенности радионуклидов и присутствие близких по химическим свойствам элементов;
- 3) видовые особенности растений.

В накоплении радионуклидов и их содержании на единицу массы сухого вещества в процессе роста растений наблюдается такая же закономерность, как и для биологически важных элементов: с возрастом растений в их надземных органах увеличивается абсолютное количество радионуклидов и снижается содержание на единицу массы сухого вещества (Щеглов, 1998).

Радиационное воздействие на растительные организмы подробно рассмотрены в фундаментальном издании Д.М. Гродзинского «Радиобиология растений» (1989). Однако мало работ, связанных с проведением мониторинговых исследований по содержанию радионуклидов в древесных растениях, характерных для растительных сообществ городских экосистем.

Нами изучалось накопление и распределение радиоактивных элементов в древесных растениях: сосне обыкновенной (*P. Sylvestris* L.) и березе повислой (*B. Pendula* Roth), произрастающих в различных по уровню загрязнения районах г. Йошкар-Олы. Изученные виды являются типичными представителями городской флоры и широко используются в озеленении г. Йошкар-Олы. В данном разделе работы рассмотрены вопросы, связанные с аккумуляцией радионуклидов древесными растениями. При этом особое внимание уделялось специфике накопления радиоэлементов в отдельных органах (листьях или хвое, побегах и корнях), а также в растительном организме в целом.

### 3.3.1. Активность $^{40}\text{K}$ в древесных растениях

Калий является одним из важнейших элементов минерального питания растений, который участвует во многих процессах метаболизма. Наиболее доступными для растений являются легко растворимые соли калия, содержание которых в почве составляет всего около 1 % от общих запасов. В растительных организмах калий находится всегда в ионной форме. Калий определяет физико-химические свойства клетки, влияет на скорость протекания в ней биохимических реакций, играет важнейшую роль в поступлении воды в клетку и ее передвижении по растению. Кроме того, калий участвует в активном транспорте ассимилянтов к органам запаса и необходим для усвоения аммония. В присутствии калия повышается устойчивость растений к повреждающим факторам среды: пониженным температурам, сухости воздуха и почвы, заражению грибами и вирусами (Кузнецов, Дмитриева, 2006).

Калий имеет высокую биофильность (0,012). Концентрация радиокалия в объектах биосферы составляет 0,0118 % массы общего калия.

Исследованиями ряда ученых показано, что  $^{40}\text{K}$  в растениях накапливается в значительных количествах, особенно, в ассимилирующих органах. Более того, была замечена некоторая избирательность растений к аккумуляции  $^{40}\text{K}$  (по сравнению со стабильным изотопом  $^{39}\text{K}$ ) в период их интенсивного роста и развития.  $^{40}\text{K}$  совместно с другими изотопами в больших количествах поступают в растение и радиоактивный калий создает при этом внутреннее облучение растительного организма.

При рассмотрении вопросов содержания и накопления радионуклидов изучались различные виды растений. Следует отметить, что сосне обыкновенной по сравнению с другими древесными растениями посвящено наибольшее число публикаций в радиобиологической литературе. В ряде работ показано, что при радиационном поражении в вегетативной сфере сосны обыкновенной отмечен ряд нарушений: образование многочисленных морфологических изменений, угнетение прироста побегов, опадение хвои,



сокращение ее размеров, аномалии в заложении почек и т.д. (Мельник, Кизеев, 2006).

Определенный уровень загрязнения почв радионуклидами был обнаружен нами в различных районах г. Йошкар-Олы. Поэтому представляло интерес изучить содержание радионуклидов в древесных растениях, произраставших в районах с различным уровнем антропогенного загрязнения.

Как показали результаты проведенных исследований, содержание радиоактивного калия в органах сосны обыкновенной (табл. 4), выросшей в городских условиях характеризовалось более высоким уровнем данного изотопа в хвое. Хвоя деревьев является часто используемым объектом радиологического мониторинга качества среды. Отбирая хвою деревьев для анализа, необходимо знать о возможных различиях в концентрации элементов в ней в зависимости от возраста хвоинок, экологических особенностей произрастания деревьев и ряда других факторов (Черненко, 2002).

Максимальное содержание  $^{40}\text{K}$  в хвое сосны обыкновенной обнаружено в промышленной зоне – 615,6 Бк/кг, что больше в 2,3 и 3,5 раза соответственно в селитебной и лесопарковой зонах.

Максимальное содержание  $^{40}\text{K}$  в хвое сосны обыкновенной обнаружено в промышленной зоне – 615,6 Бк/кг, что больше в 2,3 и 3,5 раза соответственно в селитебной и лесопарковой зонах.

Активность радиоактивного калия в побегах сосны обыкновенной так же имело наибольшее значение в промышленной зоне – 505,9 Бк/кг, это значение приблизительно в 2-3 раза больше результатов селитебной и лесопарковой зон.

Наблюдается тенденция увеличения содержания исследуемого радионуклида в корнях сосны обыкновенной от лесопарковой (106,5 Бк/кг) до промышленной (376,2 Бк/кг) зоны.

Таблица 4

Содержание  $^{40}\text{K}$  в органах сосны обыкновенной и березы повислой, Бк/кг

Зона	Территория исследования	Органы растений	Сосна обыкновенная	Береза повислая
Лесопарковая	ООПТ «Сосновая роща»	хвоя/листья	173,5 ± 8,7	195,2 ± 9,8
		побеги	113,4 ± 5,7	154,3 ± 7,7
		корни	106,5 ± 5,3	98,5 ± 4,9
	Парк им. XXX-летия ВЛКСМ	хвоя/листья	147,3 ± 7,4	140,4 ± 7,1
		побеги	108,7 ± 5,4	91,3 ± 4,6
		корни	105,9 ± 5,3	83,1 ± 4,2
Селитебная	Ул. Осипенко	хвоя/листья	201,4 ± 10,1	250,4 ± 12,5
		побеги	122,3 ± 6,1	148,3 ± 7,4
		корни	85,4 ± 4,2	95,1 ± 4,7
	Ул. Некрасова	хвоя/листья	216,1 ± 10,8	374,1 ± 18,7
		побеги	150,8 ± 7,5	285,2 ± 14,2
		корни	94,9 ± 4,7	188,1 ± 9,4
	Микрорайон «Нагорный»	хвоя/листья	262,2 ± 13,1	410,9 ± 20,5
		побеги	161,3 ± 8,1	315,1 ± 15,7
		корни	99,8 ± 4,9	204,2 ± 10,2
Промышленная	ОАО «ОКТБ Кристалл»	хвоя/листья	593,1 ± 29,6	313,1 ± 15,6
		побеги	486,2 ± 24,3	218,3 ± 10,9
		корни	328,2 ± 16,4	194,2 ± 9,7
	ОАО «ММЗ»	хвоя/листья	615,6 ± 30,7	375,9 ± 18,8
		побеги	505,9 ± 25,3	225,8 ± 11,3
		корни	376,2 ± 18,8	202,2 ± 10,1

Аналогичные результаты были получены в работах А.Н. Кизеев (2009). Содержание  $^{40}\text{K}$  в хвое сосны обыкновенной, произрастающей в районах Мурманской области, приуроченных к зонам действия крупных предприятий цветной металлургии и атомной энергетики, находилось в пределах 420–460 Бк/кг. В более ранней работе Н.А. Мельника и А.Н. Кизеева (2006)

отмечалось, что другое хвойное растение – ель сибирская, произраставшая в Мурманской области, характеризуется тем, что в хвое содержание радиоактивного калия было на порядок выше, чем у сосны обыкновенной и составило от 2500 до 4800 Бк/кг.

Наряду с хвойными растениями в озеленении г. Йошкар-Олы широко используются лиственные древесные растения. Нами была проведена радиологическая оценка такого растения как береза повислая. Как показали результаты работы надземные органы (листья) березы повислой, характеризовались более высоким уровнем содержания  $^{40}\text{K}$  по сравнению с другими исследуемыми органами (побеги, корни) растения в среднем на 40–60 % во всех районах исследований (табл. 4). При этом у особей березы повислой, произраставших в условиях городской среды в селитебной и промышленной зонах, содержание данного изотопа было почти в 2–3 раза выше, чем в лесопарковой зоне.

Сравнивая активность  $^{40}\text{K}$  в различных органах растения, следует отметить, что наиболее высокие показатели отмечались в листьях березы повислой в каждой из экологически разных зон г. Йошкар-Олы. Так, содержание  $^{40}\text{K}$  в листьях березы повислой в лесопарковой и селитебной зонах было в 1,3–2, а промышленной зоне – в 1,7–1,8 раза выше, чем в побегах и корнях.

Известно (Добровольский, 2006), что вегетативная масса растений более насыщена калием, чем генеративные органы. Большая часть калия в растениях находится в ионной форме. Он легко выщелачивается из листьев, теряющих во время дождей до 50% элемента, среднее его содержание в золе растений составляет 15%.

Результаты нашей работы подтверждают исследования, проведенные другими авторами, что радиоактивные элементы поступают в растения в основном двумя путями: 1) непосредственное загрязнение надземных частей растений находящимися в воздухе радиоактивными частицами; 2) поступление в растения из почвы через корни.

### 3.3.2. Активность $^{226}\text{Ra}$ в древесных растениях

Изучение содержания другого природного радионуклида  $^{226}\text{Ra}$  в древесных растениях показало (табл. 5), что у сосны обыкновенной, произрастающей в селитебной и промышленной зонах г. Йошкар-Олы, отмечается следующая закономерность: в хвое содержание радиоактивного радия было выше, чем в побегах и корнях. Результаты статистически достоверны.

Так, в промышленном районе города содержание  $^{226}\text{Ra}$  в хвое сосны обыкновенной было почти в 2 раза больше, чем в корнях. По накоплению данного радионуклида различными органами сосны обыкновенной, произраставшей в лесопарковой зоне г. Йошкар-Олы, не выявлено статистически значимых отличий.

В работах (Мельник, Кизеев, 2006) показано, что содержание  $^{226}\text{Ra}$  в зависимости от потенциальных источников загрязнения окружающей среды находилось в пределах от 5 до 200 Бк/кг в хвое сосны обыкновенной и до 300 Бк/кг в хвое ели сибирской.

Максимальное содержание  $^{226}\text{Ra}$  в хвое сосны обыкновенной обнаружено в промышленной зоне – 85,2 Бк/кг, что больше в 1,2 и 1,3 раза соответственно в селитебной и лесопарковой зонах.

Содержание радиоактивного радия в побегах сосны обыкновенной так же имело наибольшее значение в промышленной зоне – 74,3 Бк/кг, это значение приблизительно в 1,1-1,3 раза больше результатов селитебной и лесопарковой зон.

Наблюдается тенденция увеличения содержания исследуемого радионуклида в корнях сосны обыкновенной от лесопарковой (52,1 Бк/кг) до промышленной (66,1 Бк/кг) зоны.

Что касается изученных нами лиственных древесных растений (табл. 5), у березы повислой, наблюдалась примерно такая же картина изменения содержания радия, как и у сосны обыкновенной. При этом усредненные значения у березы повислой года имели следующие средние значения:

лесопарковая зона – 65; селитебная зона – 66; промышленная зона города – 75 Бк/кг, что в 1-1,2 раза больше по сравнению с данными по березе повислой.

Таблица 5

Содержание  $^{226}\text{Ra}$  в органах сосны обыкновенной и березы повислой, Бк/кг

Зона	Территория исследования	Органы растений	Сосна обыкновенная	Береза повислая
Лесопарковая	ООПТ «Сосновая роща»	хвоя/листья	59,3 ± 3,1	72,3 ± 3,6
		побеги	56,5 ± 2,8	64,5 ± 3,2
		корни	51,1 ± 2,6	57,7 ± 2,9
	Парк им. XXX-летия ВЛКСМ	хвоя/листья	64,5 ± 3,2	64,3 ± 3,2
		побеги	57,3 ± 2,9	58,7 ± 2,9
		корни	52,1 ± 2,6	53,2 ± 2,7
Селитебная	Ул. Осипенко	хвоя/листья	54,3 ± 2,7	67,6 ± 3,3
		побеги	47,6 ± 2,3	59,3 ± 2,9
		корни	39,5 ± 1,9	48,5 ± 2,4
	Ул. Некрасова	хвоя/листья	66,2 ± 3,3	70,1 ± 3,5
		побеги	54,2 ± 2,7	61,9 ± 3,1
		корни	40,2 ± 2,1	57,8 ± 2,9
	Микрорайон «Нагорный»	хвоя/листья	74,1 ± 3,7	77,9 ± 3,9
		побеги	67,2 ± 3,3	69,1 ± 3,4
		корни	59,3 ± 2,8	62,1 ± 3,1
Промышленная	ОАО «ОКТЬ Кристалл»	хвоя/листья	78,1 ± 3,9	79,2 ± 3,9
		побеги	56,3 ± 2,8	65,2 ± 3,2
		корни	42,1 ± 2,1	45,2 ± 2,2
	ОАО «ММЗ»	хвоя/листья	85,2 ± 4,2	87,2 ± 4,3
		побеги	74,3 ± 3,7	78,9 ± 3,9
		корни	66,1 ± 3,3	70,2 ± 3,5

Содержание  $^{226}\text{Ra}$  в органах древесных растений, произрастающих на территории г. Йошкар-Ола, было в среднем в 3-4 раза выше, чем в почве, на которой произрастали данные растения.

Результаты нашей работы показали, что содержание природных радионуклидов в древесных растениях можно расположить в следующий убывающий ряд:  $^{40}\text{K} \rightarrow ^{226}\text{Ra}$ . В основном, наиболее высокое содержание природных радионуклидов из исследуемых органов растений было характерно для листьев (хвои), затем – побеги, а менее всего накапливалось радиоэлементов в корнях.

### 3.3.3. Активность $^{137}\text{Cs}$ в древесных растениях

Радиоактивные изотопы цезия относятся к группе радионуклидов, интенсивно поступающих в растения и в значительной степени накапливающихся в них. Накопление  $^{137}\text{Cs}$  растениями зависит от типа и свойств почв и изменяется в среднем в 20-30 раз. В порядке снижения поступления радио-цезия в растения из почвы можно расположить в следующей последовательности: дерново-подзолистые, красноземы, лугово-карбонатные, черноземы и сероземы.

Цезий-137 – один из основных радионуклидов среди продуктов деления в глобальных радиоактивных выпадениях. Он обуславливает около 40 % всей ожидаемой эффективной эквивалентной дозы облучения населения Земного шара, формируемой всеми радионуклидами (Моисеев, 1985).

Максимальное поглощение  $^{137}\text{Cs}$  растениями наблюдается при значениях рН, близких к нейтральным показателям. Поступление  $^{137}\text{Cs}$  в растения определяется прочностью его закрепления в гранулометрических фракциях. Наиболее прочно связывают  $^{137}\text{Cs}$  и резко снижают накопление радионуклида в растениях илистые фракции почвы.

В результате проведенной работы, у древесных растений в накоплении  $^{137}\text{Cs}$ , проявлялась следующая картина (табл. 6). С учетом распределения данного радионуклида по степени уменьшения содержания в органах сосны

обыкновенной, можно построить убывающий ряд: хвоя → побеги → корни. В разных районах г. Йошкар-Олы содержание в хвое сосны обыкновенной  $^{137}\text{Cs}$  было примерно на 25 % выше, чем в побегах на других территориях исследования.

Исследованиями Н.А. Мельника и А.Н. Кизеева (2006) показано, что содержание цезия-137 в хвое сосны обыкновенной находилось в пределах от 15 до 50 Бк/кг, а в хвое ели сибирской оно колебалось в значительно большем интервале – от 6 до 80 Бк/кг. При этом повышенные концентрации  $^{137}\text{Cs}$  были обнаружены в хвое исследуемых видов вблизи комбината «Североникель».

Изучение сосны обыкновенной, произрастающей в г. Йошкар-Оле, показало, что в органах исследуемого вида отмечается достаточно высокое содержание  $^{137}\text{Cs}$ . Это особенно заметно в промышленной (58,9 Бк/кг) зоне, что в 1,1 раз больше чем в селитебной и 1,3 – лесопарковой зоне.

Изучение содержания цезия-137 по результатам исследования в органах березы повислой, произрастающей в г. Йошкар-Оле, показало, что в листьях исследуемого вида содержание радиоактивного цезия было почти в 2-3 раза выше, чем в побегах и корнях во всех местах обитания. Однако максимальные значения характерны для листьев и корней селитебной зоны, а максимальные значения в побегах характерны для лесопарковой зоны.

Что касается лиственных древесных растений (табл. 6), по результатам исследования, в органах березы повислой содержание  $^{137}\text{Cs}$  находилось в пределах от 15 до 40,2 Бк/кг. По содержанию радио-цезия у березы повислой можно построить следующий убывающий ряд: листья → корни → побеги. По сравнению с сосной обыкновенной у березы повислой наблюдалась четко выраженная тенденция – уменьшение количества  $^{137}\text{Cs}$  в побегах по сравнению с корнями. Эта закономерность характерна для всех районов исследований г. Йошкар-Олы.

В работах некоторых ученых показано, что содержание цезия-137 варьировало от 2,0 до 26,6 Бк/кг. Известно, что в зависимости от биологических особенностей растений накопление  $^{137}\text{Cs}$  изменяется в 10 раз.

Таблица 6

Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в органах сосны обыкновенной и березы повислой, Бк/кг

Зона	Территория исследования	Органы растений	Сосна обыкновенная	Береза повислая
Лесопарковая	ООПТ «Сосновая роща»	хвоя/листья	$47,4 \pm 2,5$	$33,4 \pm 1,7$
		побеги	$41,1 \pm 2,1$	$26,4 \pm 1,3$
		корни	$37,2 \pm 1,9$	$28,3 \pm 1,4$
	Парк им. XXX-летия ВЛКСМ	хвоя/листья	$40,5 \pm 2,1$	$28,3 \pm 1,4$
		побеги	$29,4 \pm 1,5$	$16,3 \pm 0,8$
		корни	$27,4 \pm 1,4$	$26,5 \pm 1,3$
Селитебная	Ул. Осипенко	хвоя/листья	$38,5 \pm 1,9$	$36,3 \pm 1,8$
		побеги	$26,3 \pm 1,3$	$21,5 \pm 1,1$
		корни	$21,6 \pm 1,1$	$26,2 \pm 1,3$
	Ул. Некрасова	хвоя/листья	$42,6 \pm 2,1$	$40,2 \pm 2,1$
		побеги	$31,8 \pm 1,6$	$15,9 \pm 0,8$
		корни	$28,9 \pm 1,4$	$27,8 \pm 1,4$
	Микрорайон «Нагорный»	хвоя/листья	$52,7 \pm 2,6$	$42,9 \pm 2,1$
		побеги	$48,6 \pm 2,5$	$25,1 \pm 1,2$
		корни	$42,8 \pm 2,2$	$37,2 \pm 1,8$
Промышленная	ОАО «ОКТБ Кристалл»	хвоя/листья	$47,6 \pm 2,4$	$20,1 \pm 1,1$
		побеги	$37,2 \pm 1,8$	$16,3 \pm 0,8$
		корни	$31,1 \pm 1,5$	$20,2 \pm 1,1$
	ОАО «ММЗ»	хвоя/листья	$58,9 \pm 2,9$	$22,7 \pm 1,1$
		побеги	$50,8 \pm 2,6$	$25,7 \pm 1,3$
		корни	$46,9 \pm 2,4$	$23,7 \pm 1,2$

Одной из возможностей уточнить механизмы поступления радионуклидов в растения и получить более надежную информацию может



служить привлечение материалов по биологическому круговороту радионуклидов и расчет коэффициентов накопления и перемещения. Поскольку важнейшими компонентами наземных экосистем являются почва и растительный покров, перераспределение радио-цезия между ними является процессом, определяющим скорость круговорота  $^{137}\text{Cs}$  в экосистеме.

Особенности биогеохимических циклов определяются, прежде всего, свойствами той среды, в которую радионуклиды попали, а миграция радионуклидов – влиянием абиотических (механических, физических, химических) и биотических (биологические процессы обмена) факторов.

Результаты нашего исследования показали, что из важнейших долгоживущих продуктов деления радионуклидов через корневые системы в надземную часть древесных растений в наибольших количествах поступал  $^{137}\text{Cs}$ . Он вносит основной вклад в удельную радиоактивность растений.

#### *3.3.4. Активность $^{90}\text{Sr}$ в древесных растениях*

Значительная часть  $^{90}\text{Sr}$  в выпадениях (до 85 %) находится в катионной форме и способна к быстрому обмену с окружающей средой. Этим и объясняется его распространение в окружающей среде. Стронций-90 является одним из наиболее важных для радиоэкологии радионуклидов. Кроме того, у  $^{90}\text{Sr}$  значительный период полураспада, высокий выход в акте деления (2-6 %), высокая растворимость и скорость миграции (Василенко, 2002).

Анализ литературных данных показывает, что имеются существенные различия между видами растений по их способности концентрировать радионуклиды. При прочих равных условиях наиболее эффективными накопителями стронция-90 являются зернобобовые и бобовые травы, затем корнеплоды; в меньшей степени радионуклиды накапливают зерновые и кормовые злаки (Федоров, 1988).

Таблица 7

Содержание  $^{90}\text{Sr}$  в органах сосны обыкновенной и березы повислой, Бк/кг

Зона	Территория исследования	Органы растений	Сосна обыкновенная	Береза повислая
Лесопарковая	ООПТ «Сосновая роща»	хвоя/листья	$39,3 \pm 1,9$	$17,8 \pm 0,9$
		побеги	$32,1 \pm 1,6$	$15,3 \pm 0,8$
		корни	$27,2 \pm 1,4$	$13,2 \pm 0,6$
	Парк им. XXX-летия ВЛКСМ	хвоя/листья	$31,7 \pm 1,6$	$14,4 \pm 0,7$
		побеги	$26,6 \pm 1,3$	$11,3 \pm 0,6$
		корни	$25,8 \pm 1,3$	$10,2 \pm 0,5$
Селитебная	Ул. Осипенко	хвоя/листья	$54,3 \pm 5,7$	$37,5 \pm 1,8$
		побеги	$46,1 \pm 2,3$	$24,7 \pm 1,2$
		корни	$30,2 \pm 1,5$	$20,1 \pm 0,9$
	Ул. Некрасова	хвоя/листья	$60,2 \pm 3,1$	$41,7 \pm 2,1$
		побеги	$37,9 \pm 1,9$	$36,2 \pm 1,8$
		корни	$27,1 \pm 1,3$	$27,9 \pm 1,4$
	Микрорайон «Нагорный»	хвоя/листья	$65,8 \pm 3,3$	$47,1 \pm 2,3$
		побеги	$55,2 \pm 2,7$	$38,8 \pm 1,9$
		корни	$47,9 \pm 2,4$	$31,8 \pm 1,6$
Промышленная	ОАО «ОКТБ Кристалл»	хвоя/листья	$37,3 \pm 1,8$	$20,2 \pm 1,1$
		побеги	$32,7 \pm 1,6$	$16,3 \pm 0,8$
		корни	$26,2 \pm 1,3$	$14,2 \pm 0,7$
	ОАО «ММЗ»	хвоя/листья	$45,8 \pm 2,3$	$26,9 \pm 1,3$
		побеги	$36,9 \pm 1,8$	$17,9 \pm 0,9$
		корни	$30,7 \pm 1,5$	$15,8 \pm 0,8$

По результатам работы (табл. 7), накопление  $^{90}\text{Sr}$  в органах древесных растений имело тенденцию к снижению от листьев (хвои) к корням во всех районах исследований. В хвое сосны обыкновенной усредненное содержание радио-стронция изменялось по районам исследований следующим образом: самое большое количество  $^{90}\text{Sr}$  было обнаружено в селитебной зоне города

(ул. Некрасова – 60,2 Бк/кг и микрорайон «Нагорный» – 65,8 Бк/кг); затем более низкое – в промышленном районе (ОАО «ОКТБ Кристалл» – 37,3 Бк/кг и ОАО «ММЗ» – 45,8 Бк/кг), а минимальное – в лесопарковой зоне (Парк им. XXX-летия ВЛКСМ – 31,7 Бк/кг и ООПТ «Сосновая роща» – 39,3 Бк/кг).

У лиственных древесных растений наблюдалась следующая картина. Как видно из таблицы 15, самое низкое содержание  $^{90}\text{Sr}$  было характерно для березы повислой, произрастающей в лесопарковой зоне города (ООПТ «Сосновая роща» – 14,4 Бк/кг и Парк им. XXX-летия ВЛКСМ – 17,8 Бк/кг). Достаточно высокими показателями характеризовались ассимилирующие органы березы повислой, произрастающей в селитебной зоне г. Йошкар-Олы (ул. Некрасова – 41,7 Бк/кг и микрорайон «Нагорный» – 47,1 Бк/кг). Наблюдались статистически значимые отличия в содержании стронция в различных органах березы повислой.

В итоге, можно отметить, что различия в поступлении и содержании радиоактивных изотопов стронция обусловлены биологическими особенностями древесных (лиственных и хвойных) видов. Стронций-90 может длительно (около 10 лет) оставаться в обменной форме, в связи с этим радио-стронций хорошо усваивается растениями.

Известно, что время, в течение которого выпавший радионуклид становится доступным для корней дерева, в лиственных лесах меньше, чем в хвойных. Так, 50 % выпавшего  $^{90}\text{Sr}$  будет доступно для корневого усвоения в березовом лесу через 4-5 лет, а в сосновом – через 8-9 лет, что связано со скоростью самоочищения крон и минерализации подстилки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При сравнении уровня радиационного фона по различным районам города можно построить следующий возрастающий ряд: лесопарковая → промышленная → селитебная.

Полученные данные сравнили с нормами СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)», а так же с результатами исследований федерального бюджетного учреждения здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Марий Эл». Территория исследуемых участков характеризуется величиной мощности экспозиционной дозы на открытой местности от 0,06 до 0,13 мкЗв/ч, что не превышает естественного фона.

В целом, можно отметить, что почвы городских экосистем разного уровня и степени урбанизации: лесопарковые, селитебные и промышленные территории существенно различаются. В лесопарках свойства почв близки к таковым на территориях, не подверженных значительным антропогенным изменениям. В селитебных зонах преобладают нарушенные почвы (урбаноземы), в промышленных зонах – почвы деградированы.

Отмечается, что аккумуляция радионуклидов растениями находится в зависимости от изменения почвенных условий и может колебаться в несколько раз. Результаты исследований показали, что поступление радионуклидов в органы сосны обыкновенной в зависимости от изменения почвенных характеристик может колебаться в широких пределах. Разница в содержании продуктов распада в различных органах сосны обыкновенной достигает 1,5-4 раз.

Одной из важнейших проблем радиэкологии является выяснение механизмов переноса радионуклидов по отдельным звеньям природных экосистем, начиная от источника радиоактивного загрязнения (например, атмосферные выпадения после радиационной аварии) и заканчивая конечным звеном. Биogeоценозы – очень эффективные аккумуляторы атмосферной и почвенной радиоактивности и переносчики радионуклидов через древесную

растительность (крона, листья, ствол, корни и др.). Биогеоценозы – одни из самых радиочувствительных природных сообществ.

Содержание природных и техногенных радионуклидов неоднородно на разных исследуемых территориях города Йошкар-Олы, а, следовательно, количество радионуклидов существенно варьирует в древесных растениях (специфика вида) произрастающих на исследуемых территориях. Результаты наших исследований по активности радионуклидов в городских экосистемах показали, что по мере возрастания уровня загрязнения среды, увеличивается содержание радионуклидов в органах растений.

Таким образом, различные уровни накопления радионуклидов природного и техногенного происхождения лиственными и хвойными растениями в значительной мере обусловлены поступлением их из атмосферного воздуха, а также из почвы. Обнаруженные радионуклиды распределяются по видам растительных объектов следующим образом: наибольшее их количество обнаружено в хвое (листьях), а наименьшее в корнях, а для некоторых видов растений – в побегах, что указывает на различную степень их накопления. Результаты, полученные в условиях города Йошкар-Олы, согласуются с результатами, полученными другими исследователями на незагрязненных территориях. При этом сосна обыкновенная характеризовалась меньшей устойчивостью к воздействию радиационного фактора по сравнению с березой повислой.

В ходе исследования было показано распределение радиологических элементов в органах лиственных и древесных растений, произрастающих в антропогенно измененной среде в столице Республики Марий Эл г. Йошкар-Ола. Несмотря на вариабельность, максимальные значения рассматриваемых радиологических характеристик не выходили за пределы природного фона. Однако поскольку хвойные деревья отличаются высокой радиочувствительностью, можно предположить, что даже незначительные дозы ионизирующего излучения способны оказать влияние на физиолого-биохимическое состояние рассматриваемых растений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Василенко И.Я. Стронций радиоактивный / И.Я. Василенко, О.И. Василенко // Энергия. – 2002. № 4 – 236 с.
2. Гродзинский Д.М. Естественная радиоактивность растений и почв / Д.М. Гродзинский // Киев: Наукова Думка, 1965. – 120 с.
3. Гродзинский, Д.М. Радиобиология растений / Д.М. Гродзинский // Киев: Наукова Думка, 1989. – 300 с.
4. Добровольский, Г.В. Экология почв. Учение об экологических функциях почв: учеб / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин // М.: Наука, 2006. – 364 с.
5. Егорова И.А. Особенности накопления радионуклидов в растениях Северо-Западного Алтая / И.А. Егорова, Ю.В. Кислицина, А.В. Пузанов // Вестн. Алтайского гос. аграрного ун-та, № 11 (61), 2009. – с. 32-39.
6. Ежегодный доклад о состоянии окружающей среды Республики Марий Эл за 2012 / Министерство сельского хозяйства, продовольствия и природопользования Республики Марий Эл. – Йошкар-Ола, 2013. – 220 с.
7. Искра А.А. Естественные радионуклиды в биосфере / А.А. Искра, В.Г. Бахуров // М.: Энергоиздат, 1981. – 123 с.
8. Кузнецов В.В. Физиология растений: учеб. / В.В. Кузнецов, Г.В. Дмитриева // М.: Высш. шк., 2006. – 742 с.
9. Кизеев А.Н. Влияние промышленных эмиссий предприятий Кольского полуострова на ассимиляционный аппарат сосны / А.Н. Кизеев, В.К. Жиров, А.Н. Никанов // Экология человека. – 2009. – № 1. – с. 9–14.
10. Лещенова Т.Н. Определение фонового содержания радионуклидов и тяжелых металлов в почве / Т.Н. Лещенова, Ю.Н. Зозуль // Атомная энергия. – 2006. – Т. 100, вып. 3. – с. 231–236.
11. Мартинович Б.С. Видоспецифичность аккумуляции  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  различными древесными породами / Б.С. Мартинович, В.К. Власов, Ю.А. Сапожников // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. – 2000. – № 2. – с. 23–26.
12. Влияние радиационных факторов на эколого-физиологические характеристики хвои сосны обыкновенной / Н.А. Мельник, А.Н. Кизеев, В.И. Костюк // Устойчивость экосистем и проблема сохранения биоразнообразия на Севере. Т. 2: Интродукция и озеленение. Почвоведение. Физиология растений: материалы междунар. науч. конф., посвящ. 75-летию Полярно-альпийского бот. сада - ин-та Кольского НЦ РАН. – Кировск, 2006. – с. 245–249.

13. Моисеев А.А. Цезий – 137. Окружающая среда. Человек / А.А. Моисеев // М.: Энергоатомиздат, 1985. – 120 с.
14. Программа «SPTR» руководство оператора, 2012. – 43 с.
15. Экология: экологический мониторинг лесных экосистем / Е.М. Романов, О.М. Малюта, Д.Е. Конаков и др. // учебн. пособие, Йошкар-Ола: МарГТУ, 2008. – 236 с.
16. Сапожников Ю.А. Радиоактивность окружающей среды. Теория и практика / Ю.А. Сапожников, Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков. – М.: БИОНОМ, 2006. – 286 с.
17. Ситников Г.А. Радиоэкологическое изучение территории Республики Марий Эл / Г.А. Ситников, В.А. Леухин, А.Р. Сазонов // Вестн. Марийского гос. ун-та. – Йошкар-Ола, 2007. – № 1(2). – с. 118–121.
18. Федорец Н.Г. Методика изучения почв урбанизированных территорий / Н.Г. Федорец, М.В. Медведева // Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. – 84 с.
19. Федоров Е.А. Действие ионизирующей радиации на биоценоз / Е.А. Федоров, Д.А. Криволицкий, Ф.А. Тихомиров // М.: Наука, 1988. – 240 с.
20. Черненькова Т.В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение / Т.В. Черненькова // М.: Наука, 2002. – 191 с.
21. Щеглов А.И. Коэффициенты перехода радионуклидов в структурные части древесных лесов СНГ / А.И. Щеглов // Аграрная наука. – 1998. – № 11–12. – с. 26–27.
22. Экологический мониторинг. Методы биологического и физико-химического мониторинга: учеб. пособие / под ред. Д.Б. Гелашвили // Н. Новгород: ННГУ, 2000. – Ч. IV. – 427 с.