На правах рукописи

ПАНИЦКИЙ Андрей Васильевич

ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ НА ПЛОЩАДКЕ "ДЕГЕЛЕН" СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Специальность: 03.01.01 – радиобиология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Обнинск – 2013

Работа выполнена в филиале "Институт радиационной безопасности и экологии" Республиканского государственного предприятия "Национальный ядерный центр" Республики Казахстан, г. Курчатов

Научный руководитель:
Доктор биологических наук, профессор **Спиридонов Сергей Иннокентьевич**

Официальные оппоненты:
Сынзыныс Борис Иванович, доктор биологических наук, профессор, Обнинский институт атомной энергетики филиала государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования “Национальный исследовательский ядерный университет” Московского инженерно-физического института, профессор кафедры экологии
Цыгвинцев Павел Николаевич, кандидат биологических наук, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии, заведующий лабораторией

Ведущая организация: Республиканское унитарное научно-исследовательское предприятие "Институт радиологии" Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, г. Гомель

Защита состоится 26 декабря 2013 года в 11 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 006.068.01 при Всероссийском научно-исследовательском институте сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии по адресу: 249032, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, ГНУ ВНИИСХРАЭ Россельхозакадемии, к. 510.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГНУ ВНИИСХРАЭ Россельхозакадемии.

Отзывы на автореферат просим отправлять по адресу: 249032, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, ГНУ ВНИИСХРАЭ Россельхозакадемии, Диссертационный совет. Факс: (48439) 6-80-66.

Автореферат разослан 25 ноября 2013 г.

Учёный секретарь диссертационного совета, кандидат биологических наук — Шубина Ольга Андреевна

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. В период с 1949 г. по 1991 г. на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) проведено 456 воздушных, наземных и подземных ядерных взрывов. Подземные ядерные взрывы проводились на испытательных площадках "Балапан", "Сары-Узень" и "Дегелен".

Площадка "Дегелен" использовалась для проведения ядерных испытаний средней и малой мощности. Площадка расположена на одноименном горном массиве, который представляет собой куполовидное поднятие размером в диаметре 17-18 км. Общая площадь составляет ~250 км^2. Подземные ядерные испытания проводились в штольнях. Всего в период с 1961 по 1989 годы было проведено 209 ядерных испытаний в 181 штольне. Последнее испытание проведено 04.10.1989 года в штольне 169/2. Проведение подземных ядерных взрывов обусловило радиоактивное загрязнение полостей штолен. В результате внештатных ситуаций, загрязнению подвергались и припортальные участки штолен.

С 1996 по 1998 годы на площадке "Дегелен" были проведены работы по закрытию всех штолен с целью исключения возможности их повторного использования для ядерных испытаний. Несмотря на проведенные демилитаризационные мероприятия, на площадке "Дегелен" отмечаются радиоэкологические проблемы, связанные, в первую очередь, с выносом радионуклидов из полостей штолен на дневную поверхность с водотоками из штолен (Птицкая, 2003). В результате в природную среду поступило и продолжает поступать большое количество радиоактивных веществ, которые аккумулируются в почвенном покрове, включаясь в геохимические процессы и пищевые цепи.

Как правило, водотоки из штолен площадки "Дегелен" сопряжены с луговыми экосистемами, для которых характерны луговые почвы, богатые гумусом (до 18%), вследствие чего луговая растительность, произрастающая на ней, имеет высокую продуктивность (Магашева, 2013). Эти участки являются чрезвычайно привлекательными для сельскохозяйственных животных. В последние годы на территории, прилегающей к площадке "Дегелен", происходит развитие сельскохозяйственной деятельности. В настоящее время здесь насчитывается около 790 голов крупного рогатого скота, около 750 голов лошадей и около 5300 голов мелкого рогатого скота (МРС). И это не предел, так как ранее на этой территории насчитывалось более 350 тысяч голов МРС. Неоднократно фиксировались случаи выпаса сельскохозяйственных животных и заготовки растительного корма на территории площадки "Дегелен". Поэтому возникла необходимость в исследованиях, позволяющих оценить возможность производства сельскохозяйственной продукции на этих территориях.

Около 80 % от общего поголовья сельскохозяйственных животных, выпасаемых на территории, прилегающей к испытательной площадке "Дегелен", составляют овцы (Стрильчук, 2012). По этой причине, при выполнении исследований рассматривался, в первую очередь, именно этот вид сельскохозяйственных животных.

Для оценки возможности производства животноводческой продукции в условиях радиоактивного загрязнения территории необходима информация о пространственном распределении радионуклидов в пределах этой территории и источниках их дополнительного поступления. Оценочные расчеты базируются на данных, характеризующих содержание радионуклидов в объектах окружающей среды и компонентах рациона сельскохозяйственных животных (почва, растительность,

вода). В качестве показателей, отражающих интенсивность поступления радионуклидов в продукцию из этих компонентов, как правило, используются коэффициенты перехода (далее Кп). Необходимость проведения комплекса экспериментальных работ определила формулировку целей и задач исследования.

Цели исследования. Изучение закономерностей формирования радионуклидного загрязнения компонентов экосистем, сопряженных с радиоактивными водотоками из штолен испытательной площадки "Дегелен" и особенностей производства сельскохозяйственной продукции на этой площадке.

Задачи исследования. В ходе исследования задачи ставились по двум направлениям. Первое направление включало ряд научно-исследовательских задач, связанных с изучением закономерностей формирования радионуклидного загрязнения компонентов экосистем, сопряженных с радиоактивными водотоками из штолен испытательной площадки "Дегелен". В рамках второго направления накопленная радиоэкологическая информация использовалась для решения важной практической задачи – оценки возможности производства сельскохозяйственной продукции на бывшей испытательной площадке "Дегелен".

Таким образом, выделены основные задачи исследования:

1. Изучение особенностей радиоэкологического состояния компонентов экосистем, сопряженных с радиоактивными водотоками из штолен испытательной площадки "Дегелен".
2. Изучение закономерностей перехода искусственных радионуклидов в органы и ткани овец.
3. Оценка возможности производства сельскохозяйственной продукции на площадке "Дегелен".

Предмет и объект исследования. Объектами исследования являются луговые экосистемы, подвергающиеся загрязнению радионуклидами, содержащимися в водотоках из штолен площадки "Дегелен" СИП, а также сельскохозяйственные животные (овцы). Предметом исследования является изучение закономерностей миграции радионуклидов в системах "поверхностные воды – почвы – грунтовые воды" и "почва – корм – животное" на территории, прилегающей к площадке "Дегелен", а также особенностей производства сельскохозяйственной продукции на этой площадке.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Совокупность показателей, характеризующих радиоэкологическое состояние компонентов экосистем, сопряженных с радиоактивными водотоками из штолен испытательной площадки "Дегелен", и параметры миграции радионуклидов в компонентах этих экосистем.
2. Количественные характеристики перехода искусственных радионуклидов в органы и ткани овец, в том числе и трансурановых радионуклидов $^{239+240}Pu$ и ^{241}Am.
3. Результаты оценки возможности производства сельскохозяйственной продукции на площадке "Дегелен".

Научная новизна работы: В ходе исследований получены данные, характеризующие современное радиоэкологическое состояние компонентов луговых экосистем, сопряженных с радиоактивными водотоками из штолен площадки "Дегелен". Определен характер перераспределения радионуклидов в луговых почвах, поверхностной и подрусловой воде. Впервые в условиях радиоактивного загрязнения территории СИП проведены натурные эксперименты с сельскохозяйственными животными. Получены Кп техногенных радионуклидов, включая значения этих

показателей для радионуклидов трансуранового ряда ($^{239+240}$Pu и ^{241}Am) в ткани и органы овец при различных формах поступления радиоактивных веществ в организм. Впервые, на основании данных, характеризующих современное радиоэкологическое состояние компонентов луговых экосистем, сопряженных с радиоактивными водотоками из штолен испытательной площадки "Дегелен" и данных, характеризующих переход радионуклидов из рациона в продукцию овцеводства, проведена оценка возможного производства сельскохозяйственной продукции на площадке "Дегелен". Рассмотрены различные сценарии организации выпаса, позволяющие получить безопасную, с точки зрения соблюдения нормативов, продукцию по радиационным параметрам.

Теоретическая и практическая значение работы. Полученные в диссертационной работе количественные данные могут использоваться для параметризации миграционных и прогностических математических моделей. Закономерности накопления трансурановых радионуклидов $^{239+240}$Pu и ^{241}Am в сельскохозяйственной животноводческой продукции расширяют теоретические представления о миграции радионуклидов в системе почва –растения – сельскохозяйственные животные.

Результаты, полученные в ходе комплексных радиоэкологических исследований элементов экосистем, сопряженных с водотоками из штолен испытательной площадки "Дегелен", используются в оценке сложившейся радиационной ситуации на территориях, прилегающих к этой площадке, а также для прогноза ее дальнейшего изменения. Указанные территории являются перспективными с точки зрения их передачи в хозяйственный оборот, в связи с чем прогностические радиоэкологические оценки имеют большое научно-практическое значение. Современные количественные данные о содержании радионуклидов в природных средах (почвенно-растительном покрове, поверхностных и подземных водах, атмосферном воздухе) и информация о характере их перераспределения между этими средами необходима для выработки рекомендаций относительно использования этих территорий и подготовки пояснений, запрашиваемых государственными органами, а также для информирования общественности о современной радиационной обстановке на СИП.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертация выполнена в соответствии с П. 9 "Последствия ядерных катастроф. Синдром Чернобыля. Радиоэкология" Паспорта специальности 03.01.01 – Радиобиология.

Личный вклад соискателя заключается в проведении радиоэкологических исследований, постановке натурных экспериментов с сельскохозяйственными животными, включая планирование работ, организацию экспедиционных работ, отбор проб окружающей среды (почва, растения), проведение оценки возможного содержания радионуклидов в продукции овцеводства при ее производстве на площадке "Дегелен", обработку, обобщение и анализ полученных данных.

Апробация и реализация результатов диссертации. Основные результаты работы доложены и обсуждены на международных научно практических конференциях и круглых столах, в том числе: международная конференция "Environmental radioactivity" (Рим, 2010); международное совещание "Technical Working Group Meeting on the environmental assessment for long term monitoring and remediation in and around Fukushima" (Tokyo, 2012); IV международная научная конференция "Современные проблемы загрязнения почв", МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва, 2013); V всемирный конгресс инжиниринга и технологий – WCET-2012 "Наука и технологии: шаг в будущее" (Алматы, 2012); VII, VIII IX международные

конференции "Ядерная и радиационная физика" (Алматы, 2009, 2011, 2013); III международная конференция "Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие и проблемы нераспространения" (Курчатов, 2008); V Международная научно-практическая конференция "Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие и перспективы развития" (Курчатов, 2012); Международная конференция "Актуальные вопросы мирного использования атомной энергии" (Алматы, 2012) и другие.

Результаты исследования были использованы при выполнении работ по следующим программам: научно-техническая программа 0346 "Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан", этап 01.01.01. "Исследование экосистем, подверженных влиянию радиоактивно-загрязненных водотоков", республиканская бюджетная программа "Обеспечение радиационной безопасности на территории РК" (мероприятие 1 "Обеспечение безопасности бывшего СИП") и др.

Публикация работ. По материалам диссертации опубликовано 15 печатных работ, в том числе 1 статья в рецензируемых журналах из списка изданий, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 6-ти глав, заключения, выводов, списка литературы из 140 наименований, изложена на 146 страницах, включает 34 рисунка и 65 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ "ДЕГЕЛЕН"

В главе приведены основные характеристики испытательной площадки "Дегелен".

В первом разделе дана природно-географическая характеристика испытательной площадки "Дегелен". В частности, в разделе приведено административное и географическое положение исследуемой территории, дано описание рельефа горного массива Дегелен с окрестностями, охарактеризована гидрографическая сеть горного массива. Описан гидрологический режим, почвенно-растительный покров и фауна.

Во втором разделе главы дана краткая характеристика ядерных испытаний, проведенных на площадке "Дегелен", и радиационных эффектов, сопровождавших испытания. Также охарактеризованы основные разрушающие факторы и описаны последствия испытаний связанные с образованием новых форм рельефа и образованием нового типа подземных вод.

В третьем разделе главы приводится радиоэкологическая обстановка на площадке "Дегелен". Описываются основные пути формирования участков с повышенными концентрациями радионуклидов в объектах окружающей среды (почва, вода, растительность) и приводятся краткие характеристики радионуклидного загрязнения таких участков.

ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ИМЕЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В главе представлены результаты анализа имеющейся литературы по трем основным задачам исследования. Анализ материалов о радиоэкологической обстановке на площадке "Дегелен" показал, что с момента закрытия полигона был проведен большой объем радиоэкологических исследований (Птицкая, 2001, 2002, 2003). В результате исследований сформировано представление о характере распределения ^{137}Cs в почвах на рассматриваемой территории (от верховьев к низовьям ручьев). В то же время практически отсутствовали данные по другим

радионуклидам. Не рассматривались вопросы распространения радионуклидов в поперечном руслу направлении и вопросы перераспределения радионуклидов с удалением от источников выхода на дневную поверхность (штолен). Анализ изученности особенностей перехода искусственных радионуклидов в органы и ткани сельскохозяйственных животных показал, что переход радионуклидов Sr и Cs изучен достаточно хорошо, однако варьирование коэффициентов перехода происходит в широком диапазоне. Проведены единичные исследования по изучению перехода плутония и америция и отсутствуют данные по тритию. Большинство данных получено в лабораторных условиях, существенно отличающихся от естественных условий, либо на территориях, имеющих радионуклидные загрязнение природных сред в результате аварий на предприятиях ядерного топливного цикла. Эти факты обосновывают актуальность и необходимость проведения натурных экспериментов с сельскохозяйственными животными в условиях радиоактивного загрязнения испытательной площадки "Дегелен". Анализ литературных данных показал, что проведенные ранее работы, связанные, в той или иной степени, с оценкой возможного содержания радионуклидов (Соломатин 2010, Магашева 2007) в продукции животноводства при ее производстве на СИП, не затрагивали площадку "Дегелен". Кроме того, рассматривались, как правило, только основные долгоживущие, дозообразующие радионуклиды ^{90}Sr и ^{137}Cs.

ГЛАВА 3. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование закономерностей формирования радионуклидного загрязнения компонентов экосистемы

Основное загрязнение окружающей среды горного массива Дегелен происходит вследствие выноса радионуклидов из полостей штолен водотоками, поэтому наибольшее внимание было уделено детальным исследованиям радиоэкологического состояния луговых экосистем, сопряженных с водотоками из штолен. Объектом детальных исследований были выбраны экосистемы, сопряженные с водотоками, вытекающими из штольни № 176 в долине ручья Байтлес и из штольни № 177 в притоке долины ручья Узынбулак. На исследуемых территориях выбраны для изучения компоненты экосистем, подверженных влиянию радиационно-загрязненных водотоков – грунтовые и поверхностные воды, почвы, растительность. Особенностью данных экосистем является то, что их расположение исключает влияние других штолен на радиационную ситуацию.

В ходе исследования проведен комплекс полевых радиоэкологических исследований, направленных на выявление особенностей площадного перемещения радионуклидов в почвенном покрове в горизонтальном и вертикальном направлении, особенностей перемещения с водным потоком, характера перераспределения радионуклидов между средами (почва - поверхностные и подрусловые воды) и характера загрязнения радионулидами растительного покрова.

Проведение натурных экспериментов с сельскохозяйственными животными

Объекты исследований

В качестве исследуемых животных использовались овцы казахской курдючной грубошерстной породы ("Едильбаевская"). Все животные были схожие по клиническому состоянию и экстерьерно-конституциональным данным.

Схема проведения исследований

- Исследования проводились при различных сроках и условиях содержания животных:

- при поступлении с луговой растительностью (далее – кормом) и водой, на отдельных участках в районе штольни № 176 в условиях выпаса;
- при поступлении с кормом в условиях стойлового содержания, в районе штольни № 177;
- при поступлении с водой в условиях стойлового содержания, в районе штольни № 177;
- при поступлении с кормом, водой и почвой в условиях стойлового содержания, в районе штольни № 177.

ГЛАВА 4. ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ЭКОСИСТЕМ, СОПРЯЖЕННЫХ С ВОДОТОКАМИ ИЗ ШТОЛЕН НА ПЛОЩАДКЕ "ДЕГЕЛЕН"

В данной главе приведены результаты исследований формирования радионуклидного загрязнения компонентов экосистем, сопряженных с водотоками из штолен на площадке "Дегелен".

Характер площадного распределение γ- и β-излучающих радионуклидов

Проведены исследования площадного распределение γ- и β-излучающих радионуклидов, на основании чего определен характер перераспределения γ- и β-излучающих радионуклидов в луговых почвах, сопряженных с руслом водотоков из штолен. Если принять во внимание, что основным γ-излучающим радионуклидом является ^{137}Cs, а β-излучающим – ^{90}Sr, то отношение загрязнения β- частицами к МЭД может говорить об отношении содержания ^{90}Sr к содержанию ^{137}Cs. Распределение отношения значений плотности потока β- злучения к МЭД показывает, что в начале водотока из штольни № 176 основным загрязнителем дневной поверхности являются γ-излучающие радионуклиды. Далее происходит уменьшение их содержания по отношению к β-излучающим радионуклидам. То же распределение наблюдается от центра русла ручья к берегам. В экосистеме, сопряженной с водотоком штольни № 177 на всем протяжении, основными загрязнителями являются β-излучающие радионуклиды. По полученным отношениям можно сделать вывод о том, что начале водотока штольни № 176 преобладает радионуклид ^{137}Cs, дающий основной вклад в γ-излучение, а к концу водотока преобладает ^{90}Sr – основной β-излучатель. В экосистеме штольни № 177 на всем протяжении преобладает ^{90}Sr.

Характер распределения радионуклидов в почвах

Исследование характера распределения радионуклидов в почвах вдоль русел исследуемых водотоков показало, что максимальные концентрации радионуклидов в поверхностном слое почвенного покрова изучаемых экосистем приурочены к зоне выхода водотока из навала обломочного материала. Концентрации ^{137}Cs в почвах русел водотоков штолен № 176 и № 177 снижаются на 3 порядка от максимального содержания в верховьях в 1300 м и 665 м от порталов штолен, соответственно. Концентрация $^{239+240}$Pu в почвах русла водотока штольни № 177 снижается на 3 порядка в 300 м от портала штольни. В почвах экосистемы штольни № 176 содержание ^{90}Sr снижается до практически фоновых значений в 2-х км от портала (^{137}Cs – 70 Бк/кг, ^{90}Sr – 50 Бк/кг). Снижение концентрации ^{90}Sr в русле водотока штольни № 177 происходит медленно и в 650 м снижается на 1 порядок от максимального содержания. На рис. 2 представлены кривые распределения относительных концентраций радионуклидов в почвах русла водотоков штольни № 177 и № 176, выраженные в долях от максимальных значений.

Кривая, характеризующая распределение ^{241}Am, практически полностью

повторяет кривую, описывающую распределение $^{239+240}Pu$. Обращает на себя внимание плавный характер уменьшения удельной активности $^{239+240}Pu$ и ^{241}Am по сравнению с ^{137}Cs. Установлен рейтинг снижения миграционных способностей радионуклидов: $^{90}Sr > {}^{239+240}Pu \geq {}^{241}Am > {}^{137}Cs$.

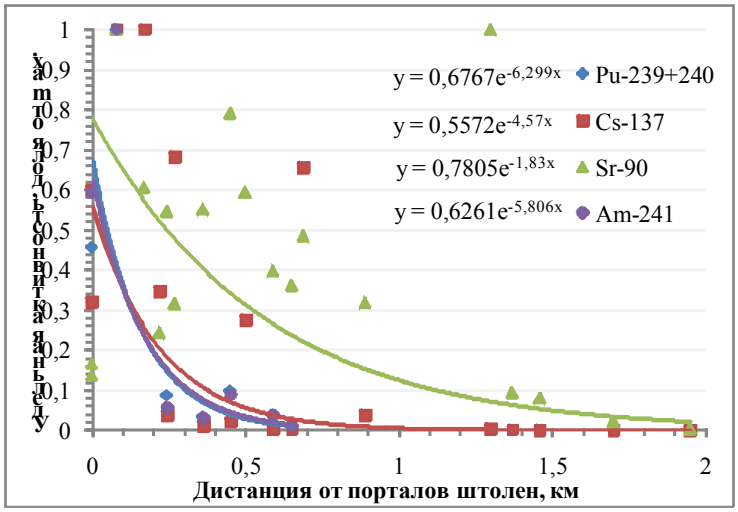
Такое обобщение результатов исследований водотоков штолен с водопроявлениями позволяет прогнозировать поведение радионуклидов в луговых почвах других аналогичных по генезису, экосистем горного массива Дегелен. На основании анализа графической информации, характеризующей миграцию радионуклидов в горизонтальном направлении, можно прогнозировать, что в течение ближайшего временного периода ^{137}Cs не будет распространяться дальше 1,5 км от места его выхода на дневную поверхность, а ^{90}Sr – не далее 2 км.

Распределение радионуклидов перпендикулярно руслам водотоков зависит от потока поверхностных и грунтовых вод, которые являются источниками радиоактивного загрязнения. Наибольшая зона распространения в экосистемах водотоков характерна для ^{90}Sr в силу его высокой подвижности и растворимости. Интенсивность распространения этого радионуклида обусловлена как поверхностными водами, так и грунтовым потоком (рис. 1).

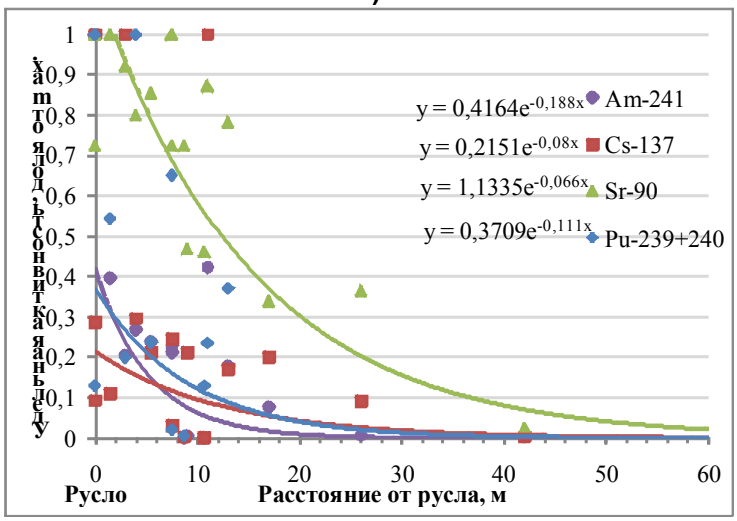
Распределения значений удельной активности $^{239+240}Pu$ и ^{241}Am в почвах центрального русла с удалением от портала штольни имеют схожий характер. Анализ особенностей распределений этих радионуклидов в направлении, перпендикулярном руслам водотоков, показывает наличие некоторых изменений в отношениях $^{239+240}Pu$ и ^{241}Am на разных отрезках с удалением от центра русла (рис. 2).

Вертикальное распределение радионуклидов в луговых почвах, в целом подчиняется общепринятым закономерностям, выявленным и на территории СИП. Отмечается снижение содержания радионуклидов по глубине почвенного профиля. Наибольшее проникновение в нижележащие слои почвы характерно для ^{90}Sr, менее значительно распространяется ^{137}Cs, наименее подвижны по вертикали в почво-грунтах - $^{239+240}Pu$ и ^{241}Am. В то же время существуют особенности вертикальной миграции радионуклидов на различных участках в зависимости от местоположения относительно водоисточников.

Вертикальное распределение основных техногенных радионуклидов в водонасыщенной почвенно-грунтовой толще центральной части экосистемы водотока штольни №177 подтверждает наибольшее распространение ^{90}Sr. Высокая удельная активность $^{239+240}Pu$ в почвах водонасыщенной почвенно-грунтовой толщи отмечается до глубины 90 см (>1000 Бк/кг). Такая высокая подвижность $^{239+240}Pu$ объясняется, как и в случае с горизонтальным распространением, тем, что в штольневых водах штольни №177 до 50-60% $^{239+240}Pu$ находится в ионной форме (Дубасов, 2010). На глубине от 100 до 120 см отмечаются концентрации ^{241}Am, превышающие 100 Бк/кг.



а)



б)

Рис. 1. Распределение радионуклидов в почве экосистем, сопряженных с водотоками из штолен: а – распределение вдоль русла с удалением от портала штолен; б – распределение от центра русла в поперечном направлении

Характерные особенности радиоактивного загрязнения поверхностных вод экосистем, сопряженных с водотоками из штолен

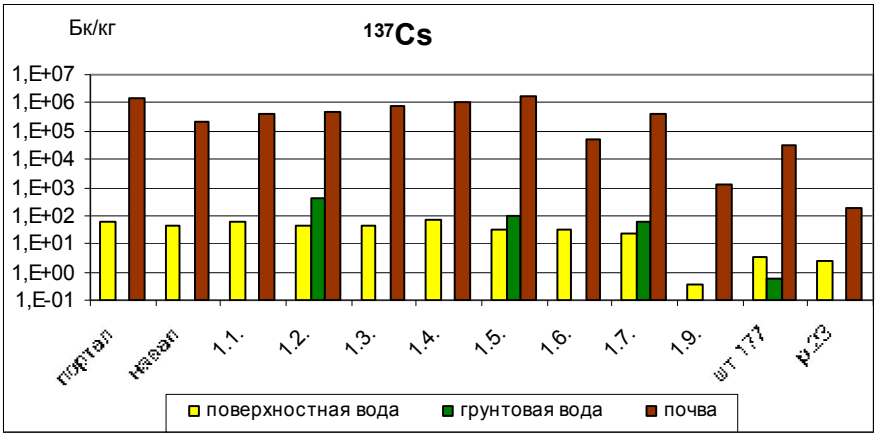
Концентрация техногенных радионуклидов с удалением от портала штолен закономерно снижается. Концентрации $^{239+240}$Pu и ^{137}Cs в воде водотоков с удалением от портала уменьшаются в большей степени, по сравнению с концентрациями ^{90}Sr и ^{3}H. Так, в воде водотока штольни № 177 концентрация $^{239+240}$Pu и ^{137}Cs близка к нижним пределам измерения аппаратуры уже в 250 метрах от портала, в то время как концентрация ^{90}Sr снижается незначительно. В воде водотока штольни № 176 содержание ^{137}Cs (близкое к нижним пределам измерения аппаратуры) отмечается на большем расстоянии от портала – 1250 м.

Отмечена зависимость концентрации радионуклидов в воде водотока при выходе на дневную поверхность от дебита. Концентрация ^{90}Sr в воде обоих водотоков при увеличении дебита снижается, но для штольни № 176 эта зависимость сильнее. Так, для этой штольни коэффициент корреляции между дебитом водотока и концентрацией Sr составил r = -0,76, а для штольни № 177 r = -0,42. Зависимость концентрации ^{137}Cs от дебита на каждом исследованном водотоке проявляется по-разному. На штольне № 176 явно выраженной зависимости концентрации ^{137}Cs от дебита не наблюдается (r = 0,04), тогда, как на штольне № 177 проявляется прямая

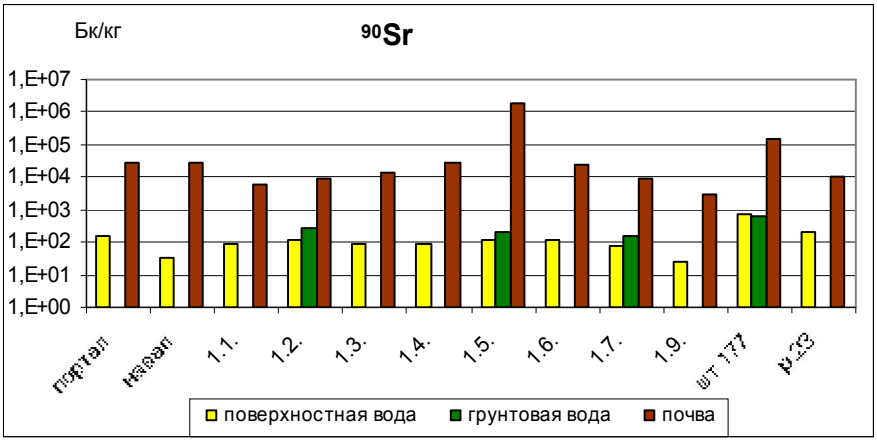
зависимость, то есть с увеличением расхода воды увеличивается содержание ^{137}Cs (r = 0,88), как и $^{239+240}Pu$ (r = 0,87). Такие противоречивые зависимости концентрации от дебита на исследуемых объектах могут быть результатом различных гидрогеологических особенностей исследуемых объектов. Вода из штольни № 176 в районе портала имеет одну точку выхода, представляющую собой отвод из полости штольни. Выход воды из штольни № 177 происходит не из одного места, так как здесь дренируется вся подошва сопки, в которой заложена штольня. Поэтому при увеличении дебита, в данном случае, может быть дополнительное поступление ^{137}Cs и $^{239+240}Pu$ с неконтролируемыми выходами воды.

Характер перераспределения радионуклидов в системе поверхностные воды – грунтовые воды – почва

Соотношение содержания радионуклидов в различных средах, но в одном месте отбора, показывает, что наименьшие значения концентраций радионуклидов отмечаются в поверхностных водах (^{137}Cs - от 0,41 до 68 Бк/кг, ^{90}Sr – от 9 до 155 Бк/кг), несколько большие значения - в грунтовых водах (^{137}Cs – от 57 до 480 Бк/кг, ^{90}Sr – от 155 до 270 Бк/кг) и максимальные значения - в поверхностных горизонтах почв (^{137}Cs от $5{,}1\times10^4$ до $1{,}4\times10^6$ Бк/кг, ^{90}Sr – от 9×10^3 до $2{,}6\times10^4$ Бк/кг) (рис. 2).



а)



б)

Рис. 2. Содержание радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвах, в поверхностных и грунтовых водах экосистемы водотока штольни № 176

Результаты сопряженного анализа показывают различные величины содержания радионуклидов в поверхностных, грунтовых водах и почвах, что говорит о сорбции их почвой, с одной стороны, и о неравновесности их состояния в системе, с другой.

На основании полученных данных, характеризующих удельные активности

радионуклидов в компонентах экосистем водотоков из штолен, рассчитаны отношения удельной активности радионуклидов в воде водотока к удельной активности в почве (рис. 2). Анализ отношений удельных активностей ^{137}Cs в этих средах, полученных вдоль водотока штольни № 176 от портала до места слияния с правым притоком р. Байтлес, показал, что большинство значений лежат в пределах 2-х порядков – $n\times10^{-4}$ и $n\times10^{-5}$. Полученные значения отношений удельных активностей ^{90}Sr находятся в пределах одного порядка – $n\times10^{-3}$ (8 из 11 случаев).

Радионуклидное загрязнение растительного покрова долин ручьев площадки "Дегелен"

Уровни радиоактивного загрязнения растений для выбранных исследовательских площадок варьируют в довольно широком диапазоне. Наибольшие концентрации в районе штольни № 177 характерны для радионуклида ^{90}Sr при диапазоне значений $3{,}9\times10^{3}$-$2{,}7\times10^{4}$. Содержание ^{137}Cs в некоторых растениях оказалось ниже предела обнаружения, и изменялось в пределах $0{,}03\times10^{3}$-$8{,}7\times10^{4}$ Бк/кг. Значения удельной активности ^{241}Am в растениях минимальны (до 4±1 Бк/кг) и зачастую количественно не определены. Удельная активность радионуклида $^{239+240}Pu$ изменялась в пределах 2,0-90 Бк/кг.

ГЛАВА 5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПЕРЕХОДА ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ОРГАНЫ И ТКАНИ ОВЕЦ В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПЛОЩАДКИ "ДЕГЕЛЕН"

В главе представлены результаты натурных экспериментов с овцами проведенных на участках с радионуклидным загрязнением компонентов природной среды (почвы, воды, растений) площадки "Дегелен".

Оценка поступления радионуклидов в организм экспериментальных животных

В ходе исследований проводилась оценка поступления радионуклидов в организм экспериментальных животных, посредством контроля содержания радионуклидов в компонентах рациона (почве, воде, растениях воздухе).

Установлено, что при выпасе животных на загрязненных радионуклидами участках в районе штольни № 176 основная роль в поступлении ^{137}Cs и ^{90}Sr в организм изучаемых животных принадлежит корму. В поступлении ^{3}H основную роль играет вода.

При стойловом содержании в районе штольни № 176 вклад компонентов рациона определялся условиями эксперимента.

Исследование закономерностей перехода и распределения искусственных радионуклидов в органы и ткани овец

Согласно схемам проведения исследования, животные после снятия с эксперимента и выдержки без корма и воды в течение 12 часов были забиты методом обескровливания (всего 28 голов овец).

Для оценки содержания радионуклидов ^{90}Sr, ^{137}Cs, ^{3}H, $^{239+240}Pu$, ^{241}Am в отобранных биологических пробах определены удельные активности радионуклидов в органах и тканях. В качестве характеристики перехода радионуклидов из внешней среды в животноводческую продукцию использовался коэффициент перехода (Кп), который по определению МАГАТЭ рассчитывается как отношение удельной активности органа или ткани (Бк/кг) к суммарному количеству радионуклида, поступившего в течение дня в организм животного (Бк/сут).

Исследование особенностей перехода ^{90}Sr в организм овец

Как и следовало ожидать, по результатам исследования наибольшие концентрации ^{90}Sr зафиксированы в костной ткани. Необходимо отметить, что шерсть является также основным депо для ^{90}Sr, как и костная ткань. Активность этого радионуклида в других органах относительно костной ткани - на 2-3 порядка меньше. Наибольшие удельные активности ^{90}Sr зафиксированы в легких, далее наблюдается убывание в ряду: почки ≥семенники ≥печень ≥селезенка ≥сердце ≥мышечная ткань. Такая схема распределения удельной активности ^{90}Sr в органах и тканях встречается у большинства экспериментальных животных и не зависит от вида и срока поступления радионуклида. Установлено, что независимо от времени и вида поступления, распределение ^{90}Sr в органах, относительно удельной активности в шерсти, имеет определенную зависимость, что дает возможность прогнозирования содержания ^{90}Sr в "мягких" органах по удельной активности в шерстной ткани. Похожую оценку содержания ^{90}Sr в органах также можно сделать по другим органам (например, по печени).

Динамика коэффициентов перехода ^{90}Sr в мышечную ткань овец групп Б.1 и Б.2, которых кормили растительностью с различных участков испытательной площадки "Дегелен" показывает, что равновесное состояние достигается в течение короткого времени после поступления, разброс Кп незначительный. Похожая динамика установлена также для легких, селезенки и семенников.

Результаты анализа данных показали, что переход ^{90}Sr в органы и ткани животных, содержащихся на территориях, прилегающих к различным штольням, не имеет особых различий. Значения Кп в равновесном состоянии - одинаковы или близки к общему среднему значению.

Относительная концентрация ^{90}Sr в "мягких" органах и тканях для животных группы Б.2, на порядок меньше, по сравнению с относительной концентрацией в "мягких" органах и тканях для животных группы Б.3. Следовательно, с водой ^{90}Sr переходит в значительно большей степени.

Кп ^{90}Sr в костную ткань овец, поступившего со штольневой водой, выше, приблизительно на один порядок, чем ^{90}Sr, поступившего с кормом. При поступлении ^{90}Sr в организм животных с водой и кормом вместе, Кп ^{90}Sr в костную ткань близок к средним отдельным значениям. Необходимо также отметить, что в выбранные периоды эксперимента, не было установлено равновесного состояния ^{90}Sr в костной ткани овец. Диапазоны Кп ^{90}Sr и их средние значения представлены в таблице (табл. 1).

Таблица 1. Диапазоны значений коэффициенты перехода 90Sr из компонентов рациона в ткани и органы овец

Вид органа, ткани	Кп ^{90}Sr из компонентов рациона в ткани и органы овец								
	при поступлении с кормом			при поступлении с водой			При поступлении с кормом и водой (выпас)		
	min	max	am	min	max	am	min	max	am
Сердце	$1,5\times10^{-4}$	$3,8\times10^{-4}$	$2,3\times10^{-4}$	$9,8\times10^{-4}$	$2,9\times10^{-3}$	$1,9\times10^{-3}$	$1,8\times10^{-4}$	$4,7\times10^{-4}$	$3,4\times10^{-4}$
Почки	$2,5\times10^{-4}$	$7,0\times10^{-4}$	$4,5\times10^{-4}$	$8,9\times10^{-4}$	$3,8\times10^{-3}$	$2,1\times10^{-3}$	$2,7\times10^{-4}$	$8,4\times10^{-4}$	$4,9\times10^{-4}$
Лёгкое	$2,9\times10^{-4}$	$9,9\times10^{-4}$	$5,4\times10^{-4}$	$1,1\times10^{-3}$	$3,6\times10^{-3}$	$2,0\times10^{-3}$	$2,7\times10^{-4}$	$1,3\times10^{-3}$	$6,1\times10^{-4}$
Печень	$8,3\times10^{-5}$	$3,7\times10^{-4}$	$2,4\times10^{-4}$	$4,4\times10^{-4}$	$1,3\times10^{-3}$	$8,9\times10^{-4}$	$1,4\times10^{-4}$	$4,3\times10^{-4}$	$2,7\times10^{-4}$
Мышцы	$1,0\times10^{-4}$	$2,7\times10^{-4}$	$1,8\times10^{-4}$	$4,7\times10^{-4}$	$5,0\times10^{-4}$	$4,8\times10^{-4}$	$2,0\times10^{-4}$	$2,5\times10^{-4}$	$2,3\times10^{-4}$
Кости	$2,8\times10^{-2}$	$1,1\times10^{-1}$	$6,2\times10^{-2}$	$1,7\times10^{-1}$	1,6	$4,9\times10^{-1}$	$8,3\times10^{-2}$	$5,2\times10^{-1}$	$3,2\times10^{-1}$
Шерсть	$8,3\times10^{-4}$	$1,3\times10^{-2}$	$5,3\times10^{-3}$	$2,2\times10^{-2}$	$1,8\times10^{-1}$	$7,7\times10^{-2}$	$4,3\times10^{-3}$	$3,8\times10^{-2}$	$1,3\times10^{-2}$
N животных	5			5			6		

Исследование особенностей перехода ^{137}Cs в организм овец

Динамика изменения Кп ^{137}Cs в мышечную ткань, сердце, почки и печень овец групп Б.1. и Б.2., которых кормили растительностью с различных штолен испытательной площадки "Дегелен", показала, что в условиях длительного ежедневного поступления ^{137}Cs в организм овец с различными компонентами окружающей среды концентрация ^{137}Cs в органах увеличивается до определенной величины. При длительном поступлении (20 суток и более), несмотря на продолжающееся поступление изотопа, наступает динамическое равновесие между накоплением и выведением его, в результате чего дальнейшего увеличения содержания ^{137}Cs в органах не происходит. Похожая динамика Кп установлена также для легких, селезенки и семенников.

Отсутствуют явные различия Кп ^{137}Cs в мышечную ткань овец при содержании животных на шт. № 176 и шт. № 177. Некоторые расхождения Кп объясняются допустимыми ошибками при учете поступления. Хотя у животных группы Б.1. в рационе кроме загрязненного корма была и загрязненная вода, считаем, что данный фактор не имел значительного влияния, так как доля загрязненной воды в рационе составляла менее 0,01 % от среднесуточного поступления. Это позволяет сравнивать полученные значения перехода ^{137}Cs в органы и ткани овец групп Б.1. и Б.2. Необходимо отметить, что, несмотря на существенные различия суточного поступления концентрации ^{137}Cs в организм животных (5×10^4 раза) при содержании на различных штольнях, Кп оказались практически одинаковыми или близкими.

Исследования показали, что переход ^{137}Cs в органы овец при поступлении с водой может быть больше до двух раз, чем при поступлении с кормом. Диапазоны значений Кп и их средние значения представлены в таблице (табл. 2).

Таблица 2. Диапазоны значений коэффициенты перехода ^{137}Cs из компонентов рациона в ткани и органы овец

Вид органа, ткани	Кп ^{137}Cs из компонентов рациона в ткани и органы овец								
	при поступлении с кормом			при поступлении с водой			При поступлении с кормом и водой (выпас)		
	min	max	am	min	max	am	min	max	am
Сердце	$1,1\times10^{-2}$	$2,0\times10^{-1}$	$8,4\times10^{-2}$	$2,7\times10^{-2}$	$4,4\times10^{-1}$	$1,8\times10^{-1}$	$6,1\times10^{-3}$	$1,4\times10^{-1}$	$5,2\times10^{-2}$
Почки	$2,2\times10^{-2}$	$3,5\times10^{-1}$	$1,3\times10^{-1}$	$6,3\times10^{-2}$	$8,9\times10^{-1}$	$3,5\times10^{-1}$	$1,1\times10^{-2}$	$2,6\times10^{-1}$	$9,0\times10^{-2}$
Лёгкое	$5,7\times10^{-3}$	$1,2\times10^{-1}$	$4,6\times10^{-2}$	$3,9\times10^{-2}$	$2,2\times10^{-1}$	$1,0\times10^{-1}$	$5,6\times10^{-3}$	$1,2\times10^{-1}$	$4,3\times10^{-2}$
Печень	$1,3\times10^{-2}$	$2,2\times10^{-1}$	$8,8\times10^{-2}$	$3,4\times10^{-2}$	$2,8\times10^{-1}$	$1,2\times10^{-1}$	$5,6\times10^{-3}$	$1,3\times10^{-1}$	$4,8\times10^{-2}$
Мясо	$1,0\times10^{-2}$	$1,4\times10^{-1}$	$7,0\times10^{-2}$	$4,9\times10^{-2}$	$1,7\times10^{-1}$	$9,6\times10^{-2}$	$1,8\times10^{-2}$	$2,4\times10^{-1}$	$1,0\times10^{-1}$
Кости	$1,0\times10^{-2}$	$1,2\times10^{-1}$	$6,5\times10^{-2}$	$2,5\times10^{-2}$	$2,9\times10^{-1}$	$1,6\times10^{-1}$	$6,7\times10^{-3}$	$1,5\times10^{-1}$	$5,9\times10^{-2}$
Семенники	$1,1\times10^{-2}$	$1,9\times10^{-1}$	$6,3\times10^{-2}$	$1,9\times10^{-2}$	$2,4\times10^{-1}$	$1,1\times10^{-1}$	-	-	-
Селезёнка	$1,7\times10^{-2}$	$1,9\times10^{-1}$	$6,7\times10^{-2}$	$5,6\times10^{-2}$	$5,6\times10^{-2}$	$5,6\times10^{-2}$	-	-	-
Шерсть	$1,6\times10^{-3}$	$7,6\times10^{-1}$	$4,6\times10^{-3}$	$5,2\times10^{-3}$	$1,1\times10^{-2}$	$8,3\times10^{-3}$	$1,6\times10^{-3}$	$7,6\times10^{-3}$	$4,6\times10^{-3}$
N животных	5			5			6		

Исследование особенностей перехода ^{3}H в организм овец

Установлено, что поступление ^{3}H в органы со свободной водой растений и водой проходит более интенсивно и очень быстро наступает динамическое равновесие между количеством поступившего ^{3}H и количеством выведенного. После чего увеличения ^{3}H в органах не происходит.

Установлено, что биологическая доступность ^{3}H, поступившего со свободной водой растений, больше, чем ^{3}H, поступившего с водой. Аналогичные результаты были получены на лабораторных животных, которым длительное время давали загрязненную ^{3}H пищу или тритиевую воду (Z. Pietrzak-Flis, 1981). Возможно, это

связанно с тем, что в организме происходит интенсивное накопление органически связанного трития, поступившего в значительном количестве с кормом. Диапазон значений Кп ^{3}H при разных формах его поступления в организм животных представлен в табл. 3.

Таблица 3. Коэффициенты перехода ^{3}H из компонентов рациона в ткани и органы овец

Вид органа, ткани	Кп ^{3}H из компонентов рациона в ткани и органы овец								
	при поступлении с кормом			при поступлении с водой			При поступлении с кормом и водой		
	min	max	am	min	max	am	min	max	am
Сердце	0,11	0,35	0,18	0,06	0,12	0,09	0,16	0,36	0,25
Почки	0,13	0,21	0,16	0,06	0,11	0,09	0,19	0,3	0,25
Лёгкое	0,09	0,17	0,13	0,07	0,12	0,09	0,18	0,31	0,26
Печень	0,08	0,22	0,14	0,06	0,1	0,08	0,17	0,32	0,25
Мышцы	0,09	0,15	0,12	0,06	0,12	0,09	0,20	0,34	0,26
Кости	0,01	0,05	0,03	0,002	0,01	0,006	0,05	0,11	0,06
Семенники	0,08	0,19	0,13	0,06	0,12	0,09	-	-	-
Селезёнка	0,10	0,33	0,19	0,05	0,11	0,08	-	-	-
N животных	6			5			5		

Исследование особенностей перехода $^{239+240}Pu$ в организм овец

Результаты эксперимента показали, что в условиях длительного ежедневного поступления $^{239+240}Pu$ в организм овец с различными компонентами окружающей среды, концентрация $^{239+240}Pu$ в органах не увеличивается и процесс накопления не зависит от сроков поступления. Лишь в печени отмечена положительная динамика накопления, где в более ранние сроки переход $^{239+240}Pu$ проходит интенсивнее, с последующим снижением темпа его накопления до равновесного состояния.

Диапазон коэффициентов перехода $^{239+240}Pu$, полученных в ходе исследований, и их средние значения представлены в табл. 4.

Таблица 4. Коэффициенты перехода 239+240Pu в ткани и органы экспериментальных животных

Органы и ткани	При поступлении с кормом и водой, $\times 10^{-3}$				При поступлении с кормом, водой и почвой, $\times 10^{-3}$			
	max	min	N	сред.	max	min	N	сред.
Сердце	0,55		1	0,55	0,05	0,02	3	0,03
Печень	3,49	0,19	3	1,85	2,18	0,13	5	0,97
Почки	1,86	1,33	2	1,59	0,21	0,07	5	0,16
Легкие	0,59	0,28	3	0,38	0,06	0,03	4	0,04
Селезенка	1,63		1	1,63	0,39	0,11	3	0,20
Мышцы	0,16	0,07	4	0,11	0,02	0,004	5	0,01
Кости	-	-	-	-	0,50	0,13	5	0,20
Кожа	2,57	0,74	5	1,48	0,38	0,10	5	0,28
Шерсть	12,3	1,86	5	8,02	3,30	1,98	5	2,86

Видно, что критическим органом при оценке возможного поступления $^{239+240}Pu$ с продукцией овцеводства является печень, это необходимо учитывать при регламентировании содержания данного радионуклида в суточном рационе овец.

В ходе проведения исследований общую активность тканей и органов животных группы Б.2 рассчитывали следующим образом:

$$A_{орган} = C_{корм} \times Кп_{корм} + C_{почва} \times Кп_{почва} \qquad (1)$$

где $A_{орган}$ – активность радионуклида в органе или ткани; $C_{корм}$ – среднесуточное поступление с рационом; $Кп_{корм}$ – коэффициент перехода из корма; $C_{почва}$ –

среднесуточное поступление с почвой; $Кп_{почва}$ – коэффициент перехода из почвы.

Опираясь на уравнение (1), используя полученные в ходе исследования данные, можно рассчитать Кп из почвы в ткани и органы животных по следующему отношению:

$$Кп_{почва} = \frac{A_{орган} - К_{орг.} \times Кп_{корм.}}{C_{почва}} \qquad (2)$$

Полученные таким образом оценочные Кп из почвы в ткани и органы животных группы Б.2., на 1-2 порядка меньше средних Кп радионуклидов из корма и воды, что необходимо учитывать при проведении оценки возможных концентраций радионуклидов в сельскохозяйственной продукции при ее получении на радиоактивно-загрязненной территории.

Исследование особенностей перехода ^{241}Am в организм овец

В большинстве случаев удельная активность ^{241}Am в органах и мышечной ткани была ниже предела обнаружения. Не установлено какого-либо органа, депонирующего ^{241}Am, что связано с низкими концентрациями радионуклида, поступившего в организм. Анализ результатов показывает, что зафиксированные количественные значения связаны с погрешностью аппаратуры. Таким образом, имеющиеся данные позволяют дать лишь оценку максимально возможных Кп ^{241}Am в органы и ткани овец.

Таблица 5. Оценочные коэффициенты перехода ^{241}Am в органы и ткани овец

Органы и ткани	При поступлении с кормом и водой, $\times 10^{-3}$		При поступлении с кормом, водой и почвой, $\times 10^{-3}$	
	Кп	Всего значений	Кп	Всего значений
Сердце	<54,8	5	<9,3	5
Печень	<69,1	4	<9,6	5
Почки	данных нет	-	<9,8	4
Легкие	<38,1	5	<7,7	5
Селезенка	<88,1	4	<11,6	5
Мышечная ткань	<38,1	5	<5,7	5
Костная ткань	<63,3	5	<8,6	5

ГЛАВА 6. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ НА БЫВШЕЙ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ "ДЕГЕЛЕН"

Выбор интегральных показателей для оценки возможности производства сельскохозяйственной продукции на площадке "Дегелен"

В низкогорном массиве Дегелен можно выделить два вида территорий, различающихся по пригодности к ведению хозяйственной деятельности. Первый вид - непригодная для ведения сельского хозяйства территория (техногенной нарушенности). Второй вид – пригодная для ведения сельского хозяйства территория.

На основе информации о природных характеристиках этой территории, пригодной для ведения сельского хозяйства, выделена условная экосистема, в параметры которой заложены площадные характеристики выделенных территорий и радиоэкологические характеристики луговых экосистем, полученные в ходе исследований, результаты которых представлены в главе 4.

В пределах условной экосистемы выделено 3 зоны, с присущими им природными и радиоэкологическими характеристиками (табл. 6).

Таблица 6. Характеристика зон условной экосистемы

Выделенные зоны		S, га	S, %	Биомасса, кг/кв. м	% корма за пастбищный период
Возможная для выпаса территория		~28000	100	-	-
Склоны (Зона I)		~24000	85,8	0,05	59,2
Межсопочные равнины	Долины ручьев (Зона II)	~3600	12,9	0,21	37,1
	Экосистемы, сопряженные с водотоками из штолен (Зона III)	~360	1,3	0,21	3,7

Решено рассмотреть наиболее вероятный сценарий выпаса – комбинированный во всех выделенных зонах. Процент потребляемого корма с каждой зоны в течении суток рассчитывался из площадного распределения зон и продуктивности растительного покрова в каждой зоне (табл. 6).

Радиационные характеристики компонентов природной среды (компонентов рациона) выделенных зон представлены в табл. 7.

Таблица 7. Радиационные характеристики компонентов природной среды выделенных зон

Зоны выпаса		Компонент природной среды	УА радионуклидов				
			^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}Pu$	^{241}Am	^{3}H
			Бк/кг				Бк/кг,
Склоны	Зона I	Почва	30	20	1	0,2	-
		Растение	3*	20	0,005	0,0006	-
Долины ручьев	Зона II	Почва	30	20	1	0,2	-
		Растение	3	20	0,005	0,0006	$1,0\times10^5$
		Вода	5,6	12,2	0,07	-	$1,0\times10^5$
Экосистемы водотоков	Зона III	Почва	$4,3\times10^3$	$1,1\times10^4$	12,6	6,58	-
		Растение	$4,2\times10^3$	$1,1\times10^4$	0,06	0,02	$2,9\times10^5$
		Вода	65,8	$4,6\times10^2$	0,28	-	$2,8\times10^5$
*Используемые Кн: ^{137}Cs – 0,1, ^{90}Sr – 1, $^{239+240}Pu$ – 0,005, ^{241}Am – 0,003							

Выбор коэффициентов перехода

Для проведения оценки возможного содержания радионуклидов в продукции овцеводства решено использовать наиболее консервативные Кп, полученные в ходе натурных экспериментов в условиях радиоактивного загрязнения площадки "Дегелен". Поэтому для расчетов выбраны максимальные Кп, полученные за период проведения эксперимента (глава 5).

В ходе натурных экспериментов в условиях радионуклидного загрязнения испытательной площадки "Дегелен" не проводились исследования перехода радионуклидов в молоко овец. По этой причине значения Кп радионуклидов в молоко овец взяты из литературных данных.

Анализ материалов МАГАТЭ, в которых собрана наиболее полная база Кп радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию, показал, что данные по этому показателю являются немногочисленными и фрагментарными. По трансурановому элементу Am результаты не приводятся ни в материалах МАГАТЭ, ни в других источниках, однако встречаются данные по Кп этого радионуклида в козье молоко. Поскольку домашние козы довольно близки к овцам по физиологическим данным, использованы значения Кп, приведенные в материалах МАГАТЭ, для этого вида сельскохозяйственных животных (табл. 8).

Таблица 8. Принятые коэффициенты перехода радионуклидов в овечье молоко

Радионуклид	Кп	Радионуклид	Кп
Am*	$1,0\times10^{-5}$	Pu	$1,0\times10^{-4}$
Cs	$3,2\times10^{-1}$	Sr	$4,0\times10^{-2}$
*- для козьего молока			

Оценка содержания радионуклидов в животноводческой продукции

При прогнозе концентрации радионуклидов в продукции животноводства учитывается их концентрация в рационе и Кп из рациона в продукцию. Прогноз содержания радионуклидов в продуктах животноводства ($C_{прод}$) рассчитывали по формуле:

$$C_{прод} = C_{рац} \times Кп\,, \qquad (3)$$

где $C_{рац}$ – активность радионуклидов суточного рациона, Бк;

Кп – коэффициент перехода радионуклида из рациона в 1 л (кг) продукции.

Среднесуточное поступление с рационом складывается из следующих показателей – поступление радионуклидов с растительным кормом, поступление с частицами почвы на растениях и поступление с заглатываемой почвой с поверхности земли.

Оценка поступления радионуклидов в организм экспериментальных животных

Для расчета поступления радионуклидов с частицами почвы на растительном корме (пылью) выполнено экспериментальное определение количества почвенных частиц на растениях. Для этого проведены смывы с основных доминантных степных растений (19 смывов). Средние значения количества почвенных частиц с килограмма сухой массы растений для разных видов растительности различны: для типчака – 10,1 г, полыни – 11,6 г, житняка – 6,2 г, ковыля – 5,1 г. В итоге было принято среднее значение рассматриваемого показателя для разнотравья – 8,1 г/кг, рассчитанное по всем имеющимся значениям.

Расчет суточного поступления радионуклидов с почвой, заглатываемой животными при выпасе, проведен исходя из того, что за пастбищный период МРС может потреблять до 75 кг почвы (Алексахин, 1982, Корнеев, 1987). Таким образом, при выпасе суточное поступление почвы для МРС составит ~ 0,22 кг.

Для учета возможного перемещения овец между выделенными зонами принимаем, что количество потребленного корма в сутки с каждой зоны в процентном отношении от общего потребления будет соответствовать процентному соотношению площадей зон условной экосистемы с учетом продуктивности растительного корма на выделенных зонах. Таким образом, количество потребляемого корма в сутки с I, II и III зон составит 59,2%, 37,1% и 3,7 % от общего суточного потребления соответственно (табл. 6). Наличием постоянного водотока характеризуются только зона III. В зависимости от сезона наблюдаются водопроявления в зоне II . Поэтому потребление воды возможно только в этих зонах. При учете, что взрослая овца весом 50-60 кг поедает 2,5 кг сухой растительности и выпивает около 1 литра воды рассчитано поступление радионуклидов с растительным кормом, с пылью на растениях, с почвой, с водой. Общее ожидаемое среднесуточное поступление составило для ^{137}Cs – 59,8 Бк, ^{90}Sr – $1,2\times10^{3}$ Бк, $^{239+240}Pu$ – $1,2\times10^{-1}$ Бк, ^{241}Am – $1,1\times10^{-1}$ Бк и ^{3}H – $2,0\times10^{5}$ Бк.

Оценка возможного содержания радионуклидов в продукции овцеводства при бесконтрольном выпасе в пределах горного массива "Дегелен"

Прогноз возможного содержания ^{241}Am и $^{239+240}Pu$ в продукции овцеводства при

выпасе на исследуемой территории. Содержание радионуклидов $^{239+240}Pu$ и ^{241}Am в пищевых продуктах не нормируется, однако, ввиду того, что согласно приложению 3 ГН СЭТОРБ РК предел годового поступления с пищей для населения на порядок меньше, чем аналогичная величина для ^{90}Sr ($^{239+240}Pu$ –2,4×10^{3} Бк/год, ^{241}Am – 2,7×10^{3} Бк/год, ^{90}Sr – 1,3×10^{4} Бк/год) и с учетом их большой радиотоксичности, можно предположить, что допустимые уровни по ним будут на порядок меньше, чем по ^{90}Sr. ДУА ^{90}Sr в мясе, согласно приложению 5 ГН СЭТОРБ РК, составляет 50 Бк/кг, в молоке – 25 Бк/кг. Следовательно, ДУА $^{239+240}Pu$ и ^{241}Am в мясе и молоке может составлять 5 и 2,5 Бк/кг.

В табл. 9 приведены возможные удельные активности радионуклидов ^{241}Am и $^{239+240}Pu$ в продукции овцеводства, при условии выпаса на всей территории условной экосистемы.

Таблица 9. Прогнозируемые величины удельной активности ^{241}Am и $^{239+240}Pu$

Вид продукции	Прогнозируемая концентрация, Бк/кг					
	с кормом		с почвой (пыль на растениях+почва)		общая УА	
	^{241}Am	$^{239+240}Pu$	^{241}Am	$^{239+240}Pu$	^{241}Am	$^{239+240}Pu$
сердце	1,8×10^{-6}	4,9×10^{-5}	9,7×10^{-4}	1,7×10^{-5}	9,7×10^{-4}	1,3×10^{-4}
печень	2,3×10^{-6}	3,1×10^{-4}	1,0×10^{-3}	1,6×10^{-5}	1,0×10^{-3}	6,6×10^{-4}
почки	1,8×10^{-6}	1,7×10^{-4}	1,0×10^{-3}	1,8×10^{-6}	1,0×10^{-3}	3,4×10^{-4}
легкие	1,3×10^{-6}	5,2×10^{-5}	8,0×10^{-4}	6,1×10^{-7}	8,0×10^{-4}	1,1×10^{-4}
селезенка	2,9×10^{-6}	1,4×10^{-5}	1,3×10^{-3}	3,0×10^{-6}	1,2×10^{-3}	3,5×10^{-5}
мясо	1,3×10^{-6}	1,4×10^{-6}	5,9×10^{-4}	1,5×10^{-7}	6,0×10^{-4}	3,2×10^{-6}
молоко	3,3×10^{-8}	8,9×10^{-6}	1,0×10^{-6}	3,0×10^{-6}	1,1×10^{-6}	2,4×10^{-5}

Приведенные результаты показывают, что ожидаемые удельные активности этих радионуклидов не превышают их возможных ДУА.

Прогноз возможного содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs в продукции овцеводства при выпасе на исследуемой территории. Далее, используя полученные данные возможного поступления радионуклидов и выбранные Кп радионуклидов в продукцию овцеводства, рассчитаны ожидаемые удельные активности радионуклидов в этой продукции. В табл. 10 приведена прогнозируемая удельная активность радионуклида ^{90}Sr и ^{137}Cs в продукции овцеводства, при условии выпаса на всей территории условной экосистемы.

Таблица 10. Прогнозируемые величины удельной активности ^{90}Sr и ^{137}Cs

Вид продукции	Прогнозируемая концентрация ^{90}Sr и ^{137}Cs, Бк/кг; прогнозируемая УА ^{3}H, Бк/л свободной воды тканей и органов								
	с кормом (растения+пыль на растениях+почва)			с водой			общая УА		
	^{90}Sr	^{137}Cs	^{3}H	^{90}Sr	^{137}Cs	^{3}H	^{90}Sr	^{137}Cs	^{3}H
Сердце	0,57	10,8	4,3×10^{4}	4,4×10^{-2}	2,63	1,2×10^{4}	0,6	13,4	5,5×10^{4}
Почки	1,02	18,8	3,6×10^{4}	5,7×10^{-2}	5,32	1,1×10^{4}	1,1	24,2	4,7×10^{4}
Лёгкое	1,57	6,5	3,7×10^{4}	5,4×10^{-2}	1,32	1,2×10^{4}	1,6	7,8	4,9×10^{4}
Печень	0,5	11,8	3,8×10^{4}	2,0×10^{-2}	1,67	1,0×10^{4}	0,5	13,5	4,8×10^{4}
Мясо	0,3	12,9	4,1×10^{4}	7,5×10^{-3}	1,02	1,2×10^{4}	0,3	13,9	5,3×10^{4}
Кости	629,4	8,1	1,3×10^{4}	24,1	1,73	1,0×10^{3}	653,5	9,8	1,4×10^{4}
Шерсть	45,0	40,9	-	2,7	0,07	-	48,7	41,0	-
Молоко	48,4	17,2	-	6,0×10^{-1}	1,91	-	49,0	19,1	-

Анализ результатов показывает, что удельная активность ^{137}Cs в тканях и органах

не будет превышать допустимые удельные активности этого радионуклида как в мягких тканях и органах, так и в костной ткани. Удельная активность ^{90}Sr в мясе овец и субпродуктах не превышает допустимых значений, которые согласно приложению 5 ГН СЭТОРБ РК составляют 50 Бк/кг. Ожидаются превышения допустимых уровней содержания ^{90}Sr в молоке и костях (ПДК в костях 200 Бк/кг).

УА радионуклида ^{3}H не нормируется в сельскохозяйственной продукции. Прогнозируемые удельные активности радионуклида ^{3}H в продукции овцеводства имеют достаточно высокие значения. Однако если опираться на предел годового поступления (ПГП) ^{3}H с пищей для населения, который согласно ГН СЭТОРБ РК составляет $2{,}1\times10^{7}$ Бк/год, и если учесть, что согласно продуктовой корзины население региона употребляет в год около 40 кг мяса на взрослого человека, то видно, что годовое поступление ^{3}H с мясом не превысит ПГП и составит $2{,}1\times10^{6}$ Бк/год. Вклад в формирование удельной активности радионуклида ^{3}H в продукции овцеводства в одинаковой степени вносят растительность и вода зоны 2. При выпасе на склонах поступления трития не ожидается.

Таким образом, из-за ожидаемого превышения содержания радионуклидов ^{3}H и ^{90}Sr в отдельных видах продукции целесообразно рассмотреть способы, позволяющие снизить эти величины.

Оценка возможного содержания радионуклидов в продукции овцеводства при контролируемом выпасе в пределах горного массива "Дегелен"

При бесконтрольном выпасе овец в пределах площадки "Дегелен" по содержанию основных долгоживущих техногенных радионуклидов ^{137}Cs, $^{239+240}Pu$ и ^{241}Am продукция будет соответствовать предъявляемым требованиям. Поэтому в данном разделе основное внимание будет уделено радионуклидам ^{90}Sr и ^{3}H. Основную долю в поступление радионуклида ^{3}H вносит растительный корм и вода с зон II и III. Поэтому в данном разделе рассмотрим два сценария возможной организации выпаса:

- Сценарий 1 – при выпасе исключительно в зоне I (склоны) и поении животных в зоне II.

- Сценарий 2 – при бесконтрольном выпасе во всех зонах, но с запретом поения овец в пределах площадки "Дегелен".

В табл. 11 представлены значения суточного поступления радионуклида ^{3}H при различных сценариях организации выпаса:

Таблица 11. Результаты расчета возможного поступления ^{3}H в организм овец при различных сценариях выпаса

Зона выпаса	Суточное поступление радионуклида ^{3}H в организм 1 животного, Бк	
	сценарий 1 (с водой)	сценарий 2 (с кормом)
I	0	0
II	$1{,}0\times10^{5}$	$1{,}0\times10^{5}$
III	0	$1{,}7\times10^{3}$
общее	$1{,}0\times10^{5}$	$1{,}0\times10^{5}$

На основании полученных данных о возможном поступлении радионуклидов в продукцию овцеводства при различных сценариях организации выпаса рассчитаны возможные значения удельной активности радионуклида ^{3}H в продукции овцеводства (табл. 12).

Таблица 12. Прогнозируемая УА ^{3}H в продукции овцеводства при различных сценариях выпаса

Вид органа, ткани	Прогнозируемая концентрация ^{3}H, Бк/л свободной воды тканей и органов	
	сценарий 1 (с водой)	сценарий 2 (с кормом)
сердце	$1,2\times10^{4}$	$4,3\times10^{4}$
почки	$1,1\times10^{4}$	$3,6\times10^{4}$
лёгкое	$1,2\times10^{4}$	$3,7\times10^{4}$
печень	$1,0\times10^{4}$	$3,8\times10^{4}$
мясо	$1,2\times10^{4}$	$4,1\times10^{4}$

Результаты, приведенные в табл. 12, показывают, что при организации выпаса овец по обоим сценариям ожидаемые значения удельной активности радионуклида ^{3}H в продукции овцеводства снизились, но в пределах тех же порядков величин, и остались на достаточно высоких уровнях. Таким образом, единственной действенной мерой по снижению поступления радионуклида ^{3}H в организм сельскохозяйственных животных, при их выпасе на площадке "Дегелен", может быть запрет доступа животных к луговой растительности русел ручьев и запрет потребления воды в пределах площадки "Дегелен".

Основную долю ^{90}Sr животные будут потреблять с растениями, произрастающими в зоне III. Поэтому целесообразно исключить пастьбу животных в этой зоне. Ожидаемое поступление ^{90}Sr при запрете пастьбы в экосистемах, сопряженных с радиоактивными водотоками составит 69,9 Бк/кг, а его ожидаемая удельная активность в молоке составит 2,8 Бк/л и в костях – 52,6 Бк/кг. И это притом, что расчет велся без запрета потребления воды в зоне III.

Таким образом, при правильной организации пастьбы овец в пределах площадки "Дегелен" возможно получать безопасную в радиационном отношении продукцию.

ВЫВОДЫ

1. Закономерности распределения ^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{241}Am и $^{239+240}Pu$ в системе “поверхностные воды – почвы – грунтовые воды” на территории, прилегающей к площадке “Дегелен”, определяются направленностью общего водного стока от верховьев к низовьям. Наличие этих радионуклидов в долинах является следствием, прежде всего, постоянного водопроявления из ряда штолен, расположенных в верхней части горного массива. Установлено, что ^{241}Am и $^{239+240}Pu$ интенсивно мигрируют в водных системах, что подтверждается данными по их распределению как поперек русла водного потока, так и по его глубине. ^{90}Sr, как наиболее растворимый и подвижный радионуклид, способен распространяться с поверхностными и грунтовыми водами в пределах рыхлых отложений всей долины. Основное количество ^{137}Cs, выносимого водой из котловых полостей штолен, остается вблизи порталов.

2. На основе анализа накопленных экспериментальных данных установлено, что, несмотря на постоянный вынос радионуклидов с водой из штолен площадки “Дегелен” на дневную поверхность, экстремально высоких концентраций в компонентах окружающей среды не наблюдается. Отношения максимальных удельных активностей радионуклидов в воде и почве приустьевых площадок штолен в настоящее время не превышают следующих порядков величин: для ^{90}Sr – $n\times10^{-3}$, для ^{137}Cs – $n\times10^{-5}$, для ^{241}Am – $n\times10^{-4}$ и для $^{239+240}Pu$ – $n\times10^{-6}$.

3. Показано, что направленность миграции радионуклидов в почвогрунтах долин обусловлена своеобразием геоморфологических условий. Расстояние, на которое перемещаются радионуклиды, зависит их от исходного содержания в штольневой

воде, уклонов рельефа и расходов водного потока. Немаловажную роль в распределении радиоактивных элементов играют химические их особенности, в частности формы нахождения радионуклидов в штольневой воде, а также процессы их взаимодействия с почвами и грунтами.

4. Получены коэффициенты перехода ^{90}Sr, ^{137}Cs, ^{241}Am, $^{239+240}Pu$ и ^{3}H в продукцию овцеводства для разных путей поступления этих радионуклидов (с водой, почвой и растительным кормом). Установлено, что Кп ^{90}Sr и ^{137}Cs из воды в 2 раза выше, чем из растительного корма, а Кп ^{3}H, поступающего в организм животных с водой, - в 2 раза ниже. Коэффициенты перехода $^{239+240}Pu$ из почвы в ткани и органы овец на 1-2 порядка меньше средних Кп этих радионуклидов, поступающих с кормом и водой. Установленные значения миграционных параметров представляют собой базовую информацию для проведения оценок накопления радионуклидов в продукции животноводства при ее получении на радиоактивно загрязненной территории.

5. Установлено, что шерстная ткань является основной тканью, депонирующей $^{239+240}Pu$, что дает возможность контроля присутствия в продукции овцеводства по наличию этих радионуклидов в шерсти. Анализ распределения $^{239+240}Pu$ по внутренним тканям и органам овец показывает, что наибольшее количество этих радионуклидов накапливается в печени и костях. Концентрации $^{239+240}Pu$ в других органах овец - в 2–3 раза меньше. В условиях длительного ежедневного поступления $^{239+240}Pu$ в организм овец концентрация $^{239+240}Pu$ в коже, шерсти, сердце, почках, легких, селезенке и мышечной ткани приходит к равновесному состоянию, в то же время наблюдается накопление этих радионуклидов в печени.

6. Сделан вывод о том, что на территории испытательной площадки "Дегелен" возможен выпас сельскохозяйственных животных при условии исключения потребления воды животными в пределах площадки "Дегелен" и растений в экосистемах, сопряженных с радиоактивными ручьями из штолен. Также возможна заготовка растительного корма на склонах горного массива и межсопочных понижениях, не связанных с радиоактивными водотоками. При бесконтрольном выпасе в пределах рассматриваемой площадки содержание ^{137}Cs, $^{239+240}Pu$ и ^{241}Am не будет превышать допустимых значений. Основную опасность, с точки зрения ведения животноводства, будет представлять ^{3}H, накапливающийся в мягких органах и тканях сельскохозяйственных животных. Ожидаются превышения допустимых уровней содержания ^{90}Sr в молоке и костях. Трансурановые элементы ($^{239+240}Pu$ и ^{241}Am) будут представлять наименьшую опасность для ведения животноводства вследствие низкой интенсивности их миграции по трофической цепи "почва – корм – животное".

СПИСОК РАБОТ ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Паницкий, А.В. Характер перераспределения радионуклидов в системе вода – почва в экосистемах, сопряженных с радиоактивно-загрязненными водотоками из штолен, на испытательной площадке "Дегелен" Семипалатинского испытательного полигона / А.В Паницкий, С.Н. Лукашенко // Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра. Радиация и риск. – 2013. - № 4. – С 75-82.

В журналах, сборниках статей и материалов конференций:

2. Магашева, Р.Ю. Особенности распределения радионуклидов в луговых почвах экосистемы водотока штольни № 176 площадки "Дегелен" / Р.Ю. Магашева, А.В. Паницкий, А.М. Кабдыракова / Семипалатинский испытательный полигон.

Радиационное наследие и проблемы нераспространения: тезисы III международной конференции (г. Курчатов, 6-8 октября 2008 г). - Курчатов. - С. 77-79
3. Магашева, Р.Ю. Особенности распределения радионуклидов в луговых почвах экосистемы водотока штольни № 176 площадки "Дегелен" / Р.Ю. Магашева, А.В. Паницкий, А.М. Кабдыракова // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. - № 3 (14). - 2010 г. - С. 158-164
4. Магашева, Р.Ю. Характеристика радиоактивного загрязнения почвенного покрова СИП / Р.Ю. Магашева, А.В. Паницкий, А.М. Кабдыракова // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. - № 3 (14). - 2010 г. - С. 54-64
5. Паницкий, А.В. Характерные особенности радиоэкологического состояния экосистем водотоков из штолен горного массива Дегелен / А.В. Паницкий, Р.Ю. Магашева, С.Н. Лукашенко // Вестник НЯЦ РК. - Курчатов, 2010. - Вып. 2. - С. 93-102
6. Ларионова, Н.В. Изучение параметров накопление искусственных радионуклидов растениями лугового биогеоценоза / Н.В.Ларионова, С.Н. Лукашенко, А.М. Кабдыракова, Р.Ю. Магашева, А.В. Паницкий, Ж.А. Байгазинов. // Вестник НЯЦ РК. - Курчатов, 2008. - Вып. 3. – С.33 -38.
7. Паницкий, А.В. Характер радионуклидного загрязнения компонентов природной среды экосистем штольневых водотоков испытательной площадки "Дегелен" / А.В. Паницкий, Р.Ю. Магашева, С.Н. Лукашенко, Н.В. Ларионова, О.Н. Ляхова / Ядерная и радиационная физика: материалы 7-й международной конференции (Алматы, 8-11 сентября 2009) - Алматы, 2009. - С. 202
8. Паницкий, А.В. Характерные особенности радиоактивного загрязнения компонентов природной среды экосистем водотоков штолен горного массива Дегелен / А.В. Паницкий, Р.Ю. Магашева, С.Н. Лукашенко // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана: Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2007 – 2009гг. ; под ред. Лукашенко С.Н. – Вып. 2. – Павлодар: Дом печати, 2010. – С. 57-102.: ил.- Библиогр.: - ISBN 978-601-7112-28-8.
9. Паницкий, А.В. Трансурановые элементы в организме сельскохозяйственных животных при их разведении в условиях испытательной площадки "Дегелен" / А.В. Паницкий, Ж.А. Байгазинов, С.Н. Лукашенко, А.П. Коваль // Вестник НЯЦ РК. - Курчатов, 2011. - Вып. 3. - С. 129-133
10. Паницкий, А.В. Экспериментальная оценка поступления радионуклидов в организме сельскохозяйственных животных, выпасаемых на радиационно-загрязненной территории площадки "Дегелен" / А.В. Паницкий, Ж.А. Байгазинов, С.Н. Лукашенко, Н.В. Ястребкова // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. - № 3 (14). - 2010 г. - С. 145-152
11. Байгазинов, Ж.А. Экспериментальное исследование особенностей перехода искусственных радионуклидов в органы и ткани овец в условиях СИП / Ж.А. Байгазинов, А.В. Паницкий, С.Н. Лукашенко, И.Ю. Силачев, С.А. Келлер, С.С. Каратаев, А.Р. Иванова // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана: Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2007 – 2009 гг.; под ред. Лукашенко С.Н. – Вып. 2. – Павлодар: Дом печати, 2010. – С. 301-320.: ил.- Библиогр.: с. 224-231. - ISBN 978-601-7112-28-8.
12. Паницкий, А.В. Исследование возможности производства сельскохозяйственной продукции в условиях радиоактивного загрязнения в результате проведения подземных ядерных испытаний на площадке "Дегелен Семипалатинского испытательного полигона / А.В. Паницкий, С.Н. Лукашенко, С.И.

Спиридонов // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана: Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011-2012 г.; под ред. Лукашенко С.Н. – Павлодар: Дом печати, 2013. – Т.2. - Вып. 4. – С. 259-285. - ISBN 978-601-7112-74-5.
13. Паницкий, А.В. Исследование возможности производства сельскохозяйственной продукции в условиях радиоактивного загрязнения площадки "Дегелен" СИП / Паницкий А.В., Лукашенко С.Н. / WCET-2012 "Наука и технологии: шаг в будущее": тезисы V всемирного конгресса инжиниринга и технологий (Алматы, 1-2 июня 2012). - Алматы: Государственный технический университет им. К. Сатпаева, 2012.
14. Panitskiy, A.V. Specific characteristics of radioactive contamination of environmental ecosystem components of the tunnel watercourses in Degelen mountains of Semipalatinsk test site / A.V. Panitskiy, R. Yu. Magasheva and S.N. Lukashenko // Book of Abstracts "Environmental radioactivity". - Rome 25th-27th October, 2010.
15. Panitskiy A.V. Experimental study of features of artificial radionuclides transition to organs and tissue of sheep under SNTS conditions / A.V. Panitskiy, Zh. A. Baigazinov and S.N. Lukashenko // Book of Abstracts "Environmental radioactivity". - Rome 25th-27th October, 2010.