

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Республиканское государственное предприятие
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН»
Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии»
(Филиал «ИРБЭ» РГП «НЯЦ РК»)

УДК 504.4.054:614.876:546.11.02.3

Сержанова Зарина Бейсембаевна

**ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТРИТИЯ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ
РАДИАЦИОННО-ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ СИП**

**Работа, представляемая на конференцию-конкурс НИОКР
молодых ученых и специалистов
Национального ядерного центра Республики Казахстан**

(прикладные исследования)

Руководитель: Ляхова О.Н., начальник отдела
РСМОС, PhD

г. Курчатов, 2020 г.

АВТОР

Сержанова Зарина Бейсембаевна

начальник группы экспериментальных исследований лаборатории экспериментальных исследований механизмов переноса

Филиала «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК»,

1990 года рождения,

Образование высшее (Семипалатинский государственный университет имени Шакарима в 2012 г.),

специальность – химическая технология неорганических веществ,
квалификация по диплому – химик-технолог,

Магистратура (Государственный университет имени Шакарима г. Семей в 2016 г.)

магистр естественных наук по специальности – химия,

работает в филиале «ИРБЭ» РГП «НЯЦ РК» с 2012 г.,
общий стаж работы 7,6 лет.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Начальник группы
экспериментальных исследований
ЛЭИМП ОРСМОС



13.04.2020 г З.Б. Сержанова

подпись, дата

Начальник отдела
разработки систем мониторинга
окружающей среды ИРБЭ



13.04.2020 г О.Н. Ляхова

подпись, дата

СЕРЖАНОВА З.Б

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТРИТИЯ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ РАДИАЦИОННО-ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ СИП

Работа, представляемая на конференцию-конкурс НИОКР молодых ученых и специалистов
Национального ядерного центра Республики Казахстан
от Филиала «ИРБЭ» РГП «НЯЦ РК»

071100, г. Курчатов, ул. Бейбит атом, 2,
тел. (7-722-51)3-34-13, 2-51
факс(7-722-51)3-28-06
E-mail: serzhanova@nnc.kz

РЕФЕРАТ

Конкурсная работа содержит 20 страниц, 11 иллюстраций, 8 таблиц, 18 источников.

ТРИТИЙ (^3H), ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ, ЭКОСИСТЕМА, СЕМИПАЛАТИНСКИЙ ИСПЫТЕЛЬНЫЙ ПОЛИГОН (СИП), ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ОБЪЕКТ, ХОЗЯЙСТВЕННЫЙ СУБЪЕКТ

Объект исследования: природные экосистемы в районе площади «Дегелен».

Цель работы: Изучение механизмов перераспределения ^3H по элементам природных компонентов на участках, находящихся в зоне влияния мест проведения ядерных испытаний.

Задачи исследований:

- Экспериментальные исследования уровня содержания и форм нахождения трития в компонентах природной среды на радиоактивно-загрязненных участках СИП (на примере пл. «Дегелен»);
- Оценка влияния радиоактивно-загрязненных участков СИП на прилегающие территории (на примере месторождения «Караджал»).

Методология исследований: сущность исследования заключалась в комплексном исследовании параметров перераспределения ^3H в компонентах природной среды на радиоактивно-загрязненном участке площадки «Дегелен» и прилегающей к ней территории. С этой целью, на исследуемых участках проводился сопряженный отбор и анализ проб: поверхностной воды, подрусловой воды, подземной воды, донных отложений, почвы, растений и воздуха.

Актуальность проблемы: ^3H в настоящее время является одним из основных радионуклидов, который до сих пор фиксируется в значимых количествах во всех объектах природной среды на СИП. Это касается не только радиоактивно-загрязненных участков, но и прилегающих к ним территорий. В ряде случаев, на таких объектах уровень содержания ^3H сравним с условиями при возникновении радиационной аварии. Учитывая, что на территории СИП располагаются объекты производственной и хозяйственной деятельности, которые зачастую находятся в зоне влияния радиоактивно-загрязненных участков полигона, а также высокую миграционную способность ^3H , под угрозой может оказаться не только природная среда, но и здоровье населения.

Новизна: впервые получены количественные данные, характеризующие уровень распространения ^3H на территориях, находящихся в зоне влияния радиоактивно-загрязненных участков СИП.

Практическая ценность: комплексная оценка распространения ^3H в зависимости от различных его форм нахождения в местах ведения производственной и хозяйственной деятельности позволит корректно осуществлять контроль за тритиевого загрязнения на таких территориях и объектах. Результаты проведенной работы будут учтены при разработке программы комплексного радиационного мониторинга СИП и прилегающих к нему территорий.

В результате работ: определены параметры перераспределения ^3H по компонентам природных экосистем, расположенных в зоне влияния площадки «Дегелен». А также показано влияние радиоактивно загрязненных участков СИП на объекты производственной и хозяйственной деятельности, расположенных на прилегающих к ним территориях.

Установлено, что на исследуемой территории основное влияние на перераспределения ^3H по объектам природных экосистем оказывают поверхностные и подземные воды.

Установлено, что на всех исследуемых участках существенно преобладает ^3H в легкодоступных формах, обладающих высокой миграционной способностью и биологической доступностью. Это обуславливает миграцию ^3H как по компонентам природной среды, так и его миграцию за пределы радиоактивно загрязненных участков. Данный факт подтверждается высоким содержанием ^3H в готовой продукции производственного предприятия и хозяйственного субъекта, расположенных вблизи исследуемой территории.

Личный вклад автора: непосредственное участие в планировании работ, разработке технических заданий на проведение полевых и лабораторных исследований. Проведение отбора проб, экспериментальных работ с почвой, сбор, анализ и обработка полученных данных, и подготовка отчетной документации.

Степень завершенности работы: конкурсная работа является завершенной. На основании полученных данных установлены основные параметры перераспределения ^3H по компонентам природной среды на участках исследования. Выявлено, что радиоактивно загрязненные участки СИП оказывают существенное влияние на близлежащие территории, в связи с чем, на них необходимо проводить регулярный контроль тритиевого загрязнения в объектах окружающей среды.

Публикации

1. Сержанова, З.Б. Оптимизация методов исследования тритиевого загрязнения почв с учетом особенностей Семипалатинского испытательного полигона / З. Б. Сержанова, А. К. Айдарханова, О. Н. Ляхова, Р.А. Койшыбаев // Вестник НЯЦ РК. -2018.-№4.-С. 49-53.

2. Сержанова З.Б. Изучение форм нахождения трития в почве в районе «Атомного» озера Семипалатинского испытательного полигона методом каскадной фильтрации / Матер. Междунар. симп. посвящ. 100-летию академика С.С. Шварца «Экология и эволюция: новые горизонты», 1-5 апреля 2019 г., г. Екатеринбург, Россия, с. 447-448.

3. Сержанова З.Б., Айдарханова А.К., Ляхова О.Н., Тимонова Л.В. Оценка методов исследования тритиевого загрязнения в почвах мест проведения ядерных испытаний / Матер. II Междунар. науч. форума «Ядерная наука и технологии», 24-27 июня 2019 г., Алматы, Казахстан, с. 184.

4. Сержанова З.Б., Айдарханова А.К., Ляхова О.Н., Тимонова Л.В. Формы нахождения трития в почве как фактор оценки влияния радиоактивно-загрязненных участков на прилегающие территории / Сб. докл. Междунар. молодежн. конф. «Современные проблемы радиобиологии, радиоэкологии и агроэкологии», 3-4 октября 2019 г., Обнинск, Россия, с. 202-204.

5. Сержанова, З.Б. Оценка влияния физико-химических факторов на процессы выщелачивания радионуклидов из грунта / А. М. Раимканова, А. К. Айдарханова, О. Н. Ляхова, З. Б. Сержанова // Радиохимия. -2019.-№5, Т.61.-С. 439-445.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ, УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СИМВОЛОВ, ЕДИНИЦ И ТЕРМИНОВ

СИП – Семипалатинский испытательный полигон
 ^3H – тритий
УА – удельная активность
РЗУ – радиоактивно загрязненные участки

ЖСС – жидкосцинтилляционный спектрометр
Бк/кг – Беккерель на килограмм
 β – бета
Кп – коэффициент накопления

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1 Объект исследования.....	7
2 Методология проведения исследования.....	9
2.1 Отбор проб.....	9
2.2 Лабораторные исследования.....	11
2.3 Проведение β -спектрометрических измерений	11
3 Результаты и обсуждения.....	11
3.1 Исследование уровня содержания трития в водной среде.....	11
3.2 Исследование форм нахождения трития в донных отложениях.....	12
3.3 Исследование форм нахождения трития в почве.....	13
3.4 Исследование форм нахождения трития в растительном покрове.....	15
3.5 Исследование форм нахождения трития в воздушном бассейне.....	16
3.6 Исследование форм нахождения трития в продукции флюоритового месторождения «Караджал».....	17
3.7 Теоретические расчеты ожидаемого уровня трития в продукции животноводства....	18
Выводы и заключение.....	19
Список использованных источников.....	20

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день для контроля тритиевого загрязнения экосистем, находящихся в зоне влияния крупных радиоактивно загрязненных участков (РЗУ) или предприятий атомной отрасли, исследователи ограничиваются изучением уровня содержания трития (^3H) в одном или нескольких природных объектах, вызывающих наибольшее опасение на данный конкретный момент времени [1, 2, 3]. В большинстве случаев в роли основного объекта исследования выступает воздух [1, 2] Изредка проводят исследования содержания ^3H в осадках [3], поверхностных и сточных водах [4, 5] и еще реже - в грунтовых водах [6]. Особую важность и интерес представляет изучение уровня и характера миграции ^3H с подземными водами, поскольку в результате этого процесса может произойти радиоактивное загрязнение источников питьевого водообеспечения и потеря геологической среды со всеми её ресурсами.

Для территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) вопрос распространения радиоактивных продуктов ПЯВ с потоками подземных вод за пределы испытательных зон до сих пор является актуальным. Наибольшее опасение в этом вопросе вызывает площадка «Дегелен». В первую очередь это связано с особенностями геологического строения и гидрогеологическими условиями горного массива Дегелен, которые определили механизм радиоактивного загрязнения подземных вод и условия дальнейшей миграции техногенных радионуклидов с водными потоками. Стоит отметить, что в подземных водах данной площадки зафиксирована самая высокая концентрация техногенных радионуклидов. Особенно это относится к ^3H , удельная активность которого в ряде водных объектов внутри площадки и за ее пределами существенно превышает допустимые значения для питьевой воды [7]. Концентрация ^3H в природных объектах может достигать нескольких сотен тысяч Бк/кг. Однако, учитывая его хорошую миграционную способность, масштабы распространения ^3H в окружающей среде могут значительно недооцениваться. Проблема связана не только с его высокой проникающей способностью, но и с трудностями извлечения из радиоактивно загрязненных жидкостей и газов. В этой связи чрезвычайно важным является не только правильно оценить уровень содержания ^3H в природных объектах, но и учесть все возможные параметры его перераспределения на исследуемой территории с целью выполнения корректной прогнозной оценки возможного тритиевого загрязнения.

Не исключено, что в обозримом будущем за пределами испытательной площадки «Дегелен» могут произойти существенные изменения радиозоологической обстановки. В первую очередь, в зону риска попадают участки, вблизи которых активно ведется производственная и хозяйственная деятельность. Данная проблема приобрела особую актуальность в настоящее время, когда на территории СИП активно ведется различная хозяйственная и производственная деятельность.

Целью работы являлось изучение механизмов перераспределения ^3H по элементам природных компонентов на участках, находящихся в зоне влияния мест проведения ядерных испытаний.

В качестве объекта исследований выбраны природные экосистемы в районе площади «Дегелен», в непосредственной близости к которым расположены объекты производственной и хозяйственной деятельности.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- экспериментальные исследования уровня содержания и форм нахождения трития в компонентах природной среды на радиоактивно-загрязненных участках СИП (на примере пл. «Дегелен»);
- оценка влияния радиоактивно-загрязненных участков СИП на прилегающие территории (на примере месторождения «Караджал»).

1 Объекты исследования

На территории СИП и некоторых участках, прилегающих к его испытательным площадкам, радиационная ситуация по уровню содержания ^3H схожа с условиями при возникновении аварий на предприятиях ядерного топливного цикла. Данную ситуацию усугубляет расположение в непосредственной близости к таким территориям объектов производственной и хозяйственной деятельности. Это может повлечь за собой угрозу не только природной среде, но и здоровью населения.

Испытательная площадка «Дегелен» расположена в южной части территории СИП, где проводились ПЯВ мощностью до 150 кт в горизонтальных горных штольнях [8]. Многолетние мониторинговые исследования показывают, что вынос радионуклидов водным путем из полостей ядерных взрывов продолжается и в настоящее время, так как некоторых штольнях присутствуют водопроявления. Всего штолен с водопроявлениями на площадке «Дегелен» от 8 до 12, их количество зависит от погодных условий в разные годы.

До недавнего времени считалось, что радиоактивное загрязнение объектов окружающей среды на площадке «Дегелен» сосредоточено в руслах водотоков штолен и ручьев, связанных с ними гидрологически, однако последние исследования показали, что существует вынос радионуклидов и за ее периметр. Основным механизмом переноса радионуклидов за пределы площадки «Дегелен» является их миграция по водным артериям – ручьям, гидрологически связанным со штольневыми водотоками, и выходящими далеко за пределы горного массива. Основные из них - ручьи Узынбулак, Байтлес, Токтакушык, Карабулак, Актыбай и несколько крупных ручьев без названия. Как правило, такие сезонные водотоки, зависят от уровня осадков и большую часть времени летнего сезона находятся в пересохшем состоянии. Таким образом, можно предположить, что наибольший вклад в загрязнение территории за границей площадки «Дегелен» дают грунтовые воды, которые, согласно гидрогеологическим картам местности, залегают на небольшой глубине, порядка 2-5 м, вдоль сухих русел основных ручьев. Достоверно известно, что основное загрязнение связано с радионуклидом ^3H , концентрации которого в грунтовых и поверхностных водах площадки достигают десятков кБк/кг, что значительно превышает допустимые уровни вмешательства (УВ).

Формирование радиационной обстановки на территории горного массива «Дегелен» в настоящее время не завершено, так как водопроявления из штолен носят не постоянный характер и могут появляться в разных штольнях и исчезать в зависимости от количества годовых осадков [8].

Для проведения комплексных исследований распространения ^3H по компонентам природной среды выбраны береговые зоны наиболее крупных водотоков площадки «Дегелен», характеризующиеся высоким содержанием ^3H в воде - ручьи Узынбулак, Байтлес, Токтакушык, Карабулак и Безымянный. Исследовательские участки располагались в месте выхода русла ручьев за пределы площадки, то есть в ее приграничной зоне.

Один из таких ручьев – ручей Карабулак, подпитываемый штольневыми водами, выходит за пределы площадки «Дегелен» и проходит через прилегающую территорию, где расположено флюоритовое месторождение «Караджал». Данное предприятие является одним из крупных производственных объектов, находящихся на территории полигона. По этой причине для оценки возможного влияния радиоактивно загрязненных участков полигона на прилегающие к ним территории для проведения исследований выбрана территория действующего месторождения флюоритовой руды «Караджал».

Месторождение «Караджал» расположено на расстоянии всего чуть более 1000 м от северной границы площадки «Дегелен». Проектная глубина карьера – 70 м, его осушение осуществляется способом открытого водоотлива. Карьерные воды, образующиеся за счет ливневых, талых вод, а также за счет притока подземных вод, скапливаются в специально обустроенном водосборнике – зумпфе, объем которого – 630 м³, глубина – 5 м. Для откачки воды из зумпфа используется насосная установка. Откачиваемая вода по трубопроводу

выдается на поверхность и сбрасывается в пруд-отстойник УГ-0, образованный естественной впадиной в рельефе.

Осветление воды от взвешенных частиц, согласно проекту, составляет 98 %. Далее вода из пруда-отстойника самотеком поступает на рельеф местности (высохшее русло ручья Карабулак). При дальнейшем движении воды по руслу, примерно в 500 м к северу, на пересечении русла р. Карабулак с дорогой, вода задерживается во впадине рельефа, образуя водоем УГ-1, фактически выполняющий функции пруда-испарителя, хотя формально прудом-испарителем водоем УГ-1 считаться не может, так как находится за границами земельного отвода.

Инфраструктура рудника включает: карьер, породный отвал, промежуточный склад руды, площадку для усреднения руды, склад забалансовых руд, сортировочную установку, склад материала для подшихтовки, склад товарной руды, технологические автодороги, вахтовый поселок с жилым комплексом, мастерскую, стоянку автотранспорта, АЗС со складом ГСМ, баню [9].

Участки исследования представлены на рисунке (Рисунок 1).

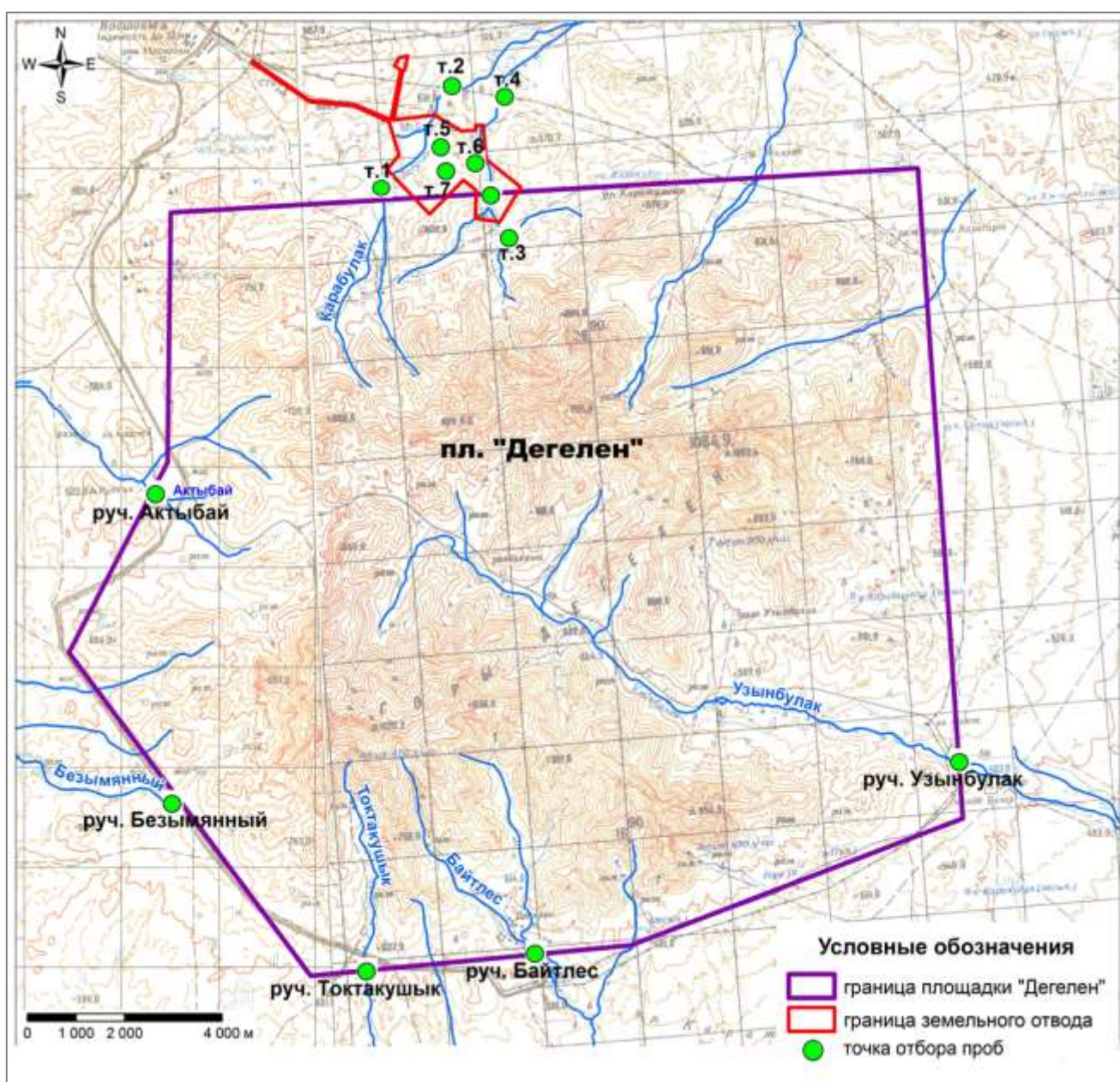


Рисунок 1 – Участки исследования

2 Методология проведения исследования

Методология исследования заключалась в комплексном изучении уровня и форм нахождения ^3H в компонентах природной среды на радиоактивно-загрязненных участках площадки «Дегелен» и прилегающей к ней территории производственного объекта, на примере месторождения «Караджал». С этой целью, на исследуемых участках проводился сопряженный отбор и анализ проб и их лабораторные анализы.

2.1 Отбор проб

На всех участках исследования проведен отбор проб воды, растений, донных отложений, почвы, атмосферного и почвенного воздуха, а также пробы руды (продукция месторождения «Караджал»). Отбор проб сопровождался радиометрическими измерениями на каждом исследовательском участке.

Для оценки перераспределения ^3H в вертикальном направлении между водными горизонтами на экспериментальных участках произведен отбор проб поверхностной, подрусловой и подземной воды. Отбор проб воды представлен на рисунке (Рисунок 2).



Рисунок 2 – Отбор проб воды

Отбор проб почвы и донных отложений проводился в прибрежной зоне ручья точно, согласно [10]. При отборе проб почвы и донных отложений одним из важных условий являлся минимальный контакт образца с внешней средой с целью исключения обмена ^3H с воздухом. По этой причине все отобранные пробы герметично упаковывались сразу после отбора, все проводимые манипуляции в ходе подготовки проб к анализу осуществлялись при минимальной выдержке проб на открытом воздухе.

В месте отбора почвы производился смешанный отбор проб растительности. В качестве основных исследуемых видов рассмотрены растения, характеризующие различные источники ^3H – гигрофиты (тростник (*Phragmites australis*)), произрастающие в зоне поверхностного водотока, фреатофиты (ива (*Salix triandra*)), использующие в качестве источника влаги в основном грунтовые воды и луговые виды (солонечник (*Galatella biflora*)) произрастающие в местах периодического дополнительного увлажнения (Рисунок 3).



Рисунок 3 – Отбор проб донных отложений и растений

Для оценки уровня содержания ^3H в воздушной среде, проводился отбор и анализ проб атмосферного воздуха с использованием коллектора трития OS-1700 (Рисунок 4). В пределах месторождения «Караджал» отбор проб воздуха производился в местах постоянного и временного пребывания персонала и на участке выхода подземных вод, установленном согласно инфраструктуре рудника.



Рисунок 4 – Отбор проб воздуха с помощью коллектора трития

Для оценки уровня содержания ^3H в продукции флюоритового месторождения «Караджал» проводился отбор руды с нескольких партий, отгруженных в разное время (Рисунок 5).



Рисунок 5 – Отбор проб руды с отвала

2.2 Лабораторные исследования

Во всех отобранных пробах проведены лабораторные анализы на исследование содержания ^3H . Подготовка проб воды для определения его концентрации проводилась согласно [11].

Определение содержания ^3H в растениях проводилось в свободной воде (НТО), выделенной посредством специальной установки [12], и в органической составляющей (ОСТ), полученной с использованием Sample Oxidizer.

Определение удельной активности ^3H в почве заключалось в определении содержания ^3H в свободной воде (НТО) почв и определении содержания связанного (прочносвязанного) ^3H . Выделение форм нахождения ^3H в почве, содержащихся в свободной воде, проводилось методом дистилляции при различных температурах, соответствующих извлечению каждой из форм. Выделение связанных формы ^3H проводилось методом двустадийного автоклавного разложения с предварительной экстракцией органически связанного ^3H .

Для оценки воздушной среды проводился анализ объемной активности ^3H , содержащегося в атмосферном и почвенном воздухе в двух формах – в виде окисленных соединений ^3H (НТО) и в виде газообразных соединений ^3H ($T_{\text{газ}}$). Подготовка проб проводилась согласно [11].

2.3 Проведение β -спектрометрических измерений

Подготовка образцов для измерений удельной активности ^3H проводилась в соответствии с аттестованной методикой [11]. К аликвоте образца, объемом 3 мл, добавляли сцинтилляционную жидкость и измеряли на жидко-сцинтилляционном спектрометре TriCarb 2900 TR.

Для образцов почвы и донных отложений расчет удельной активности ^3H производился на массу (кг) исходной пробы с учетом образовавшегося объема дистиллята.

3 Результаты и обсуждения

3.1 Исследование уровня содержания ^3H в водной среде

Результаты по уровню содержания ^3H в водной среде на экспериментальных участках представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Содержание ^3H в водной среде

№	Место отбора	Точка отбора	Удельная активность ^3H в воде, Бк/кг		
			поверхностная	подрусловая	подземная
1	пл. «Дегелен»	руч. Актыбай	34 500 ± 3 500	37 300 ± 3 500	39 000 ± 4 000
2		руч. Безымянный	21 500 ± 2 000	29 700 ± 3 000	35 000 ± 3 500
3		руч. Токтакушык	67 500 ± 7 000	72 500 ± 7 000	78 000 ± 8 000
4		руч. Байтлес	60 500 ± 6 000	65 800 ± 6 500	71 000 ± 7 000
5		руч. Узынбулак	44 500 ± 4 500	47 000 ± 4 500	51 000 ± 5 000
6		руч. Карабулак	36 000 ± 3 000	40 000 ± 4 000	46 000 ± 4 500
7	месторождение «Караджал»	т.1	7 600 ± 750	8 000 ± 800	10 000 ± 1 000
8		т.2	21 000 ± 2 000	21 000 ± 2 000	*
9		т.3	35 000 ± 3 500	41 000 ± 4 000	46 000 ± 4 500
10		т.4	4 500 ± 450	4 800 ± 500	5 500 ± 500
11		т.5	-	-	22 000 ± 2 000
12		т.6	-	-	30 400 ± 3 000
13		т.7	-	-	31 700 ± 3 000

- отбор проб не производился по причине отсутствия поверхностного водотока

* отбор проб не производился по причине отсутствия подземной воды

Согласно результатам исследования, удельная активность ^3H в водах основных ручьев площадки «Дегелен» в районе приграничной зоны составила от 21 000 Бк/кг до 78 000 Бк/кг.

Концентрация ^3H в водах, развитых в пределах прилегающей территории, в районе месторождения «Караджал», составила от 4 500 Бк/кг до 46 000 Бк/кг. Установлено, что распределение ^3H между водными горизонтами имеет неравномерный характер. Отмечается понижение концентрации ^3H в ряду подземные < подрусловые < поверхностные воды. Такая вертикальная миграция ^3H показывает, что основным источником формирования тритиевого загрязнения на данных участках являются подземные воды. Помимо этого, данный факт свидетельствует о том, что в русле исследуемых водотоков существует устойчивый водообмен между поверхностными и подземными водами. В результате этого происходит перераспределение ^3H в горизонтальном и вертикальном направлении между всеми водными горизонтами, что графически представлено на рисунке (Рисунок 6).

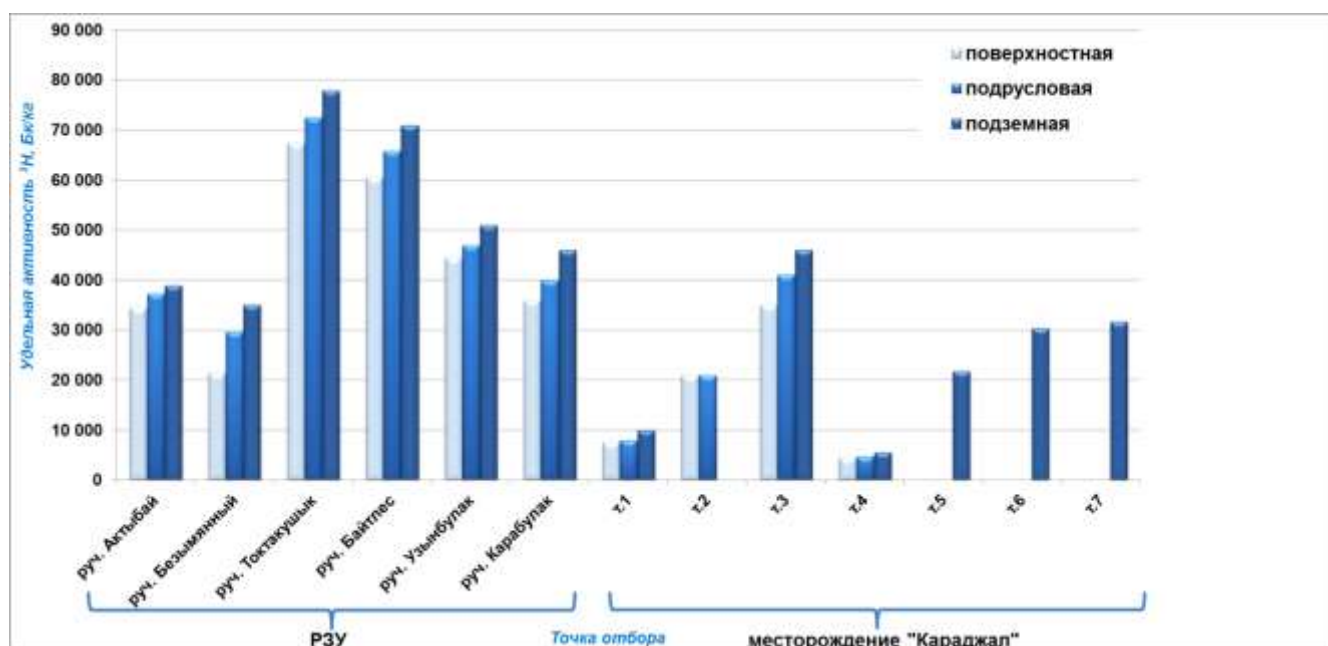


Рисунок 6 – Распределение ^3H в водной среде

Анализ полученных данных показал, что концентрация ^3H в воде на РЗУ пл. «Дегелен» от 2,5 до 10 раз превышает уровень вмешательства (УВ) для данного радионуклида [13]. Концентрация ^3H в воде, превышающая УВ до 6 раз для данного радионуклида, сосредоточена в эпицентральной части рудника по направлению среднего водотока ручья Карабулак.

3.2 Исследование форм нахождения трития в донных отложениях

Полученные данные по распределению форм нахождения ^3H в донных отложениях исследуемых участков представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Содержание ^3H в различных формах нахождения в донных отложениях

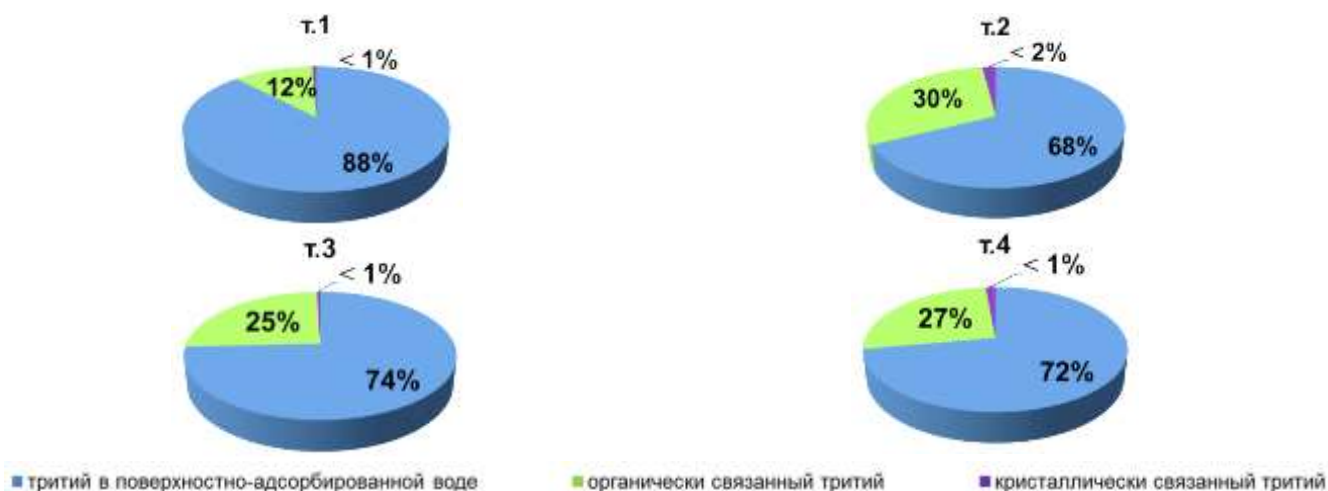
№	Место отбора	Точка отбора	Удельная активность ^3H , Бк/кг		
			^3H в поверхностно-адсорбированной воде	Органически связанный ^3H	Кристаллически связанный ^3H
1	пл. «Дегелен»	руч. Актыбай	12000 ± 1200	2200 ± 220	< 120
2		руч. Безымянный	9000 ± 900	1200 ± 120	< 120
3		руч. Токтакушык	26000 ± 2500	7200 ± 700	< 120
4		руч. Байтлес	17500 ± 1800	4100 ± 400	< 120
5		руч. Узынбулак	15700 ± 1600	1600 ± 160	< 120
6		руч. Карабулак	14000 ± 1400	4500 ± 450	< 120
7	месторождение	т.1	19000 ± 1900	2500 ± 2500	< 120

№	Место отбора	Точка отбора	Удельная активность ^3H , Бк/кг		
			^3H в поверхностно-адсорбированной воде	Органически связанный ^3H	Кристаллически связанный ^3H
8	«Караджал»	т.2	4000 ± 400	1800 ± 180	< 120
9		т.3	20000 ± 2000	6800 ± 700	< 120
10		т.4	6000 ± 600	2200 ± 220	< 120

Процентное содержание форм нахождения ^3H в донных отложениях графически представлено на рисунке (Рисунок 7).



а) донные отложения РЗУ пл. «Дегелен»



б) донные отложения, отобранные в районе месторождения «Караджал»

Рисунок 7 – Формы нахождения ^3H в почве

3.3 Исследование форм нахождения трития в почве

Поймы ручьев горного массива Дегелен представлены луговыми почвами. В их формировании активное участие принимают грунтовые воды, залегающие на небольшой глубине. Кроме того, они могут испытывать поверхностное увлажнение за счет затопления тальми и дождевыми водами. Своеобразие состава луговых почв определяется режимом увлажнения, степенью минерализации грунтовых вод, особенностями почвообразующих пород. Но для всех луговых почв характерно формирование мощного гумусового горизонта с высоким содержанием перегноя [14].

Результаты по распределению форм нахождения ^3H в почвах исследуемых участков представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Концентрация ^3H в различных формах нахождения в почве

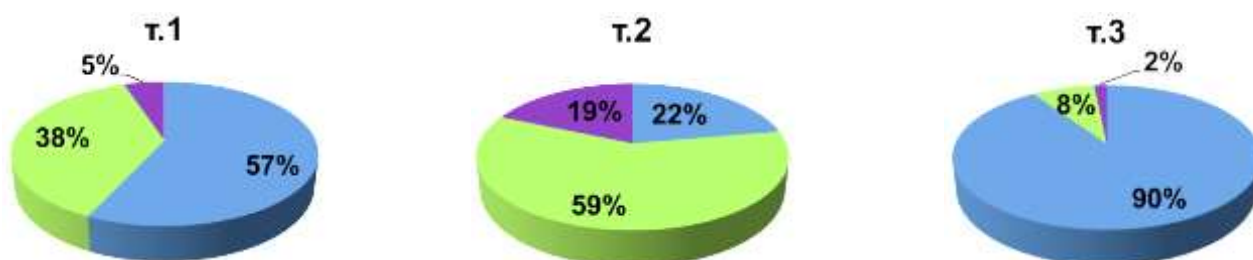
№	Место отбора	Точка отбора	Удельная активность ^3H , Бк/кг			
			^3H в поверхностно-адсорбированной воде	^3H в межслоевой воде	Органически и связанный ^3H	Кристаллически и связанный ^3H
1	пл. «Дегелен»	руч. Актыбай	2000 ± 200	-	1300 ± 130	< 120
2		руч. Безымянный	2300 ± 200	420 ± 120	1050 ± 120	200 ± 120
3		руч. Токтакушык	6800 ± 70	-	4000 ± 400	< 120
4		руч. Байтлес	10300 ± 100	-	4100 ± 400	< 120
5		руч. Узынбулак	2200 ± 200	-	1700 ± 170	< 120
6		руч. Карабулак	3000 ± 300	-	4000 ± 400	270 ± 120
7	месторождение «Караджал»	т.1	3000 ± 300	-	2000 ± 200	270 ± 120
8		т.2	1800 ± 180	-	4800 ± 500	1500 ± 150
9		т.3	11000 ± 1000	-	960 ± 95	190 ± 120
10		т.4	4500 ± 450	-	880 ± 90	630 ± 120
11		т.5	29000 ± 3000	-	-	415 ± 120
12		т.6	3300 ± 300	-	-	560 ± 120
13		т.7	3800 ± 400	-	2000 ± 200	2300 ± 230

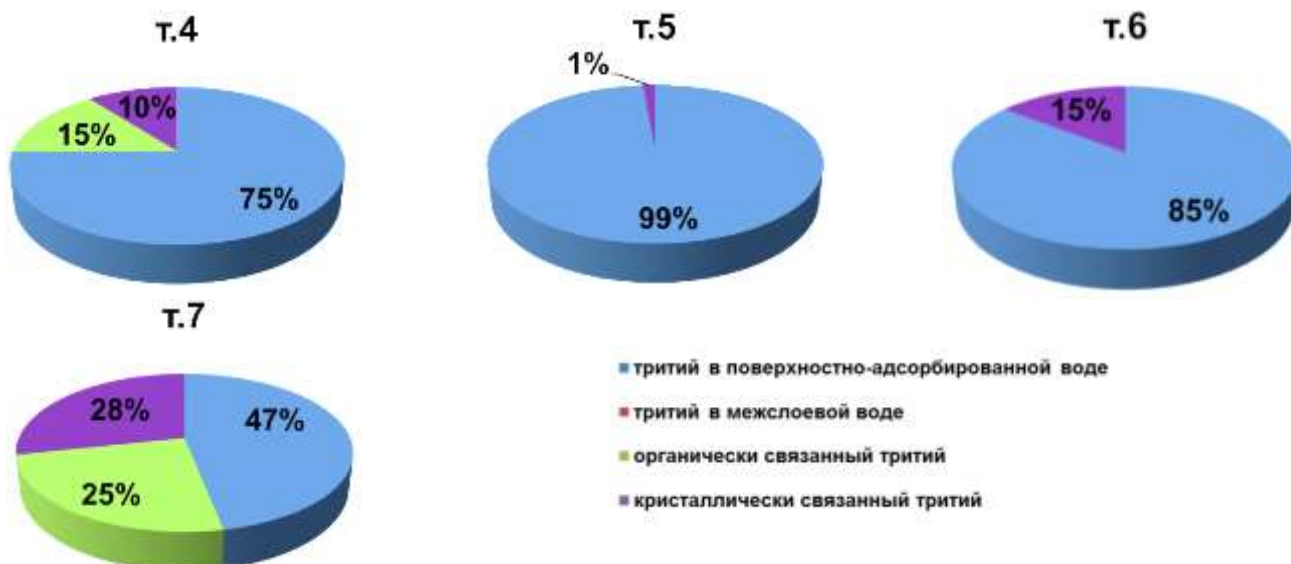
- наличие данной формы ^3H не отмечается

Процентное содержание форм нахождения ^3H в почве графически представлено на рисунке (Рисунок 8).



а) почвы РЗУ пл. «Дегелен»





б) почвы в районе месторождения «Караджал»
Рисунок 8 – Формы нахождения ^3H в почве

3.4 Исследование форм нахождения трития в растительном покрове

Присутствие ^3H в растительном покрове площадки «Дегелен» обусловлено его наличием в поверхностных и подземных водах на данной территории. В долинах ручьев и межсочных понижениях уровень залегания грунтовых вод неглубок, поэтому ^3H , в основном, присутствует в растительности, произрастающей в экосистемах равнин и межсочных понижениях в пределах площадки «Дегелен» [8].

Результаты исследования уровня содержания и форм нахождения ^3H в растительности, произрастающей в береговой зоне ручьев, представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Содержание ^3H в растительном покрове

№	Место отбора	Точка отбора	Удельная активность ^3H , Бк/кг	
			^3H в свободной воде	органически связанный ^3H
1	пл. «Дегелен»	руч. Актыбай	28000 ± 3000	7500 ± 750
2		руч. Безымянный	26000 ± 2500	5800 ± 600
3		руч. Токтакушук	23000 ± 2300	10000 ± 1000
4		руч. Байтлес	27000 ± 2700	5600 ± 5500
5		руч. Узунбулак	41000 ± 4000	6000 ± 600
6		руч. Карабулак	28000 ± 3000	8300 ± 800
7	месторождение «Караджал»	т.1	14000 ± 1400	5100 ± 500
8		т.2	4100 ± 400	755 ± 70
9		т.3	16800 ± 1700	4300 ± 40
10		т.4	4000 ± 400	1900 ± 190
11		т.5	125 ± 13	< 7
12		т.6	-	-
13		т.7	13600 ± 1400	2700 ± 270

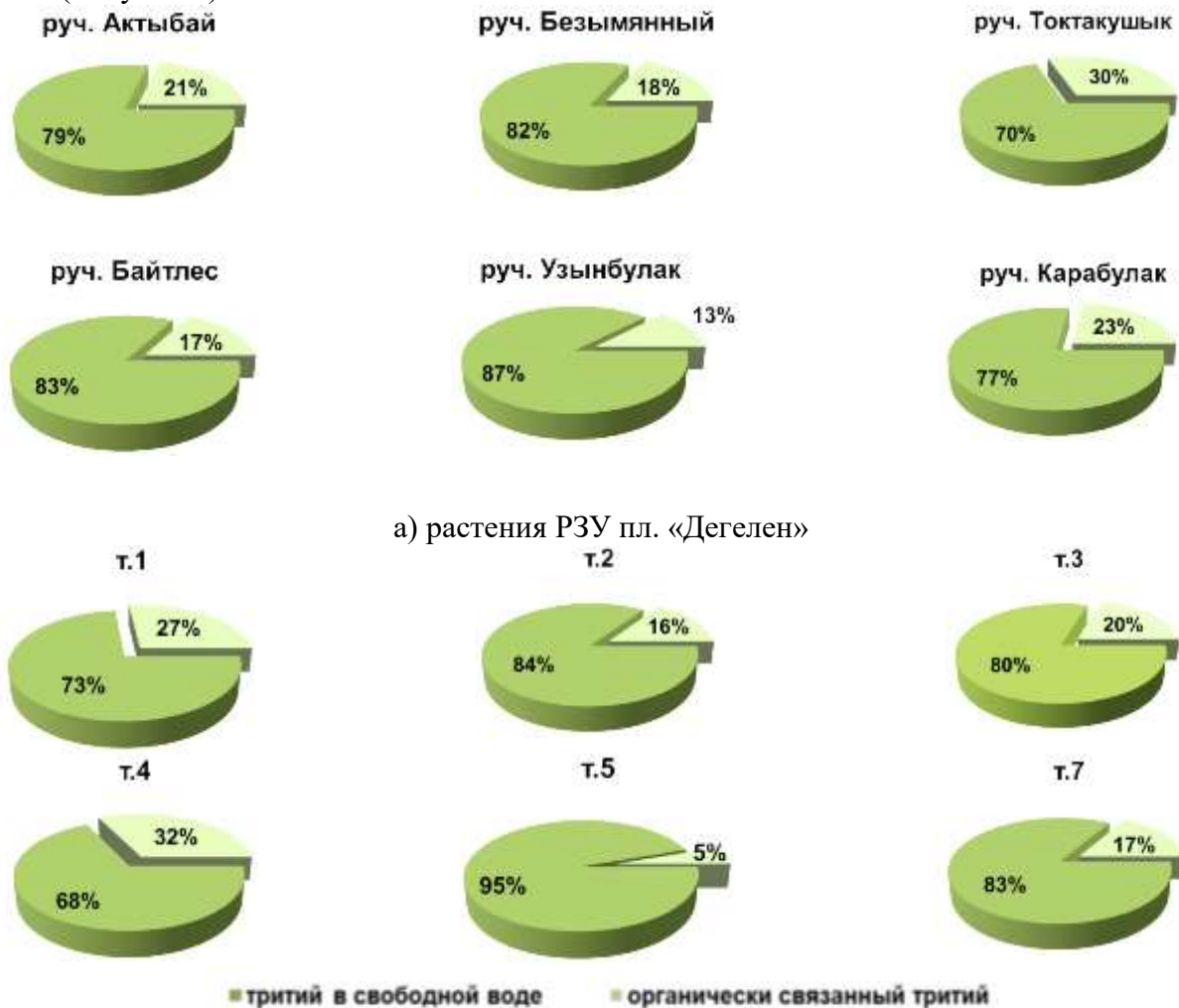
- на данном участке наличие растительности не отмечалось

В результате исследований установлено, что как на РЗУ, так и территории месторождения «Караджал» активность ^3H в свободной воде растений стремится к равновесию

с удельной активностью радионуклида в водной среде, и в большинстве случаев существенно превышает УВ по содержанию данного радионуклида, который составляет 7600 Бк/кг.

Содержание органически связанного ^3H на всех участках в среднем в 2-3 раза меньше, чем в свободной воде растений. Но не смотря на это на некоторых участках содержание ^3H превышает УВ и это настораживает, поскольку влияние ОСТ на живой организм существеннее.

Процентное содержание форм нахождения ^3H в растениях графически представлено на рисунке (Рисунок 9).



б) растения в районе месторождения «Караджал»
Рисунок 9 – Формы нахождения ^3H в растениях

3.5 Исследование форм нахождения трития в воздушном бассейне

В результате оценки воздушной среды на исследовательских участках выявлено, что объемная активность ^3H в воздушной среде незначительна, максимальное содержание зафиксировано в пределах площадки «Дегелен». Полученные данные представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Содержание ^3H в воздушном бассейне

№	Место отбора	Точка отбора	Объемная активность ^3H , Бк/кг	
			НТО	Т _{газ}
1	пл. «Дегелен»	руч. Актыбай	$5,8 \pm 0,6$	$1,3 \pm 0,1$
2		руч. Безымянный	$1,7 \pm 0,2$	$1,3 \pm 0,1$
3		руч. Токтакушык	$8,2 \pm 0,8$	$1,5 \pm 0,1$
4		руч. Байтлес	70 ± 7	$1,5 \pm 0,1$
5		руч. Узынбулак	$19 \pm 1,9$	$1,4 \pm 0,1$
6		руч. Карабулак	99 ± 10	$1,7 \pm 0,2$

№	Место отбора	Точка отбора	Объемная активность ^3H , Бк/кг	
			НТО	T _{газ}
7	месторождение «Караджал»	т.3	10 ± 1	$2,5 \pm 0,2$
8		промышленная зона	$1 \pm 0,1$	$< 0,1$
9		столовая	$1 \pm 0,1$	$< 0,1$
10		баня	$1 \pm 0,1$	$< 0,1$
11		ЗУМПФ	$2 \pm 0,2$	$< 0,1$
12		УГ-1	$8 \pm 0,8$	$< 0,1$
13		УГ-0	$14 \pm 1,4$	$< 0,1$

Сравнение объемной активности ^3H в воздушном бассейне по различным формам нахождения графически представлено на рисунке 10.

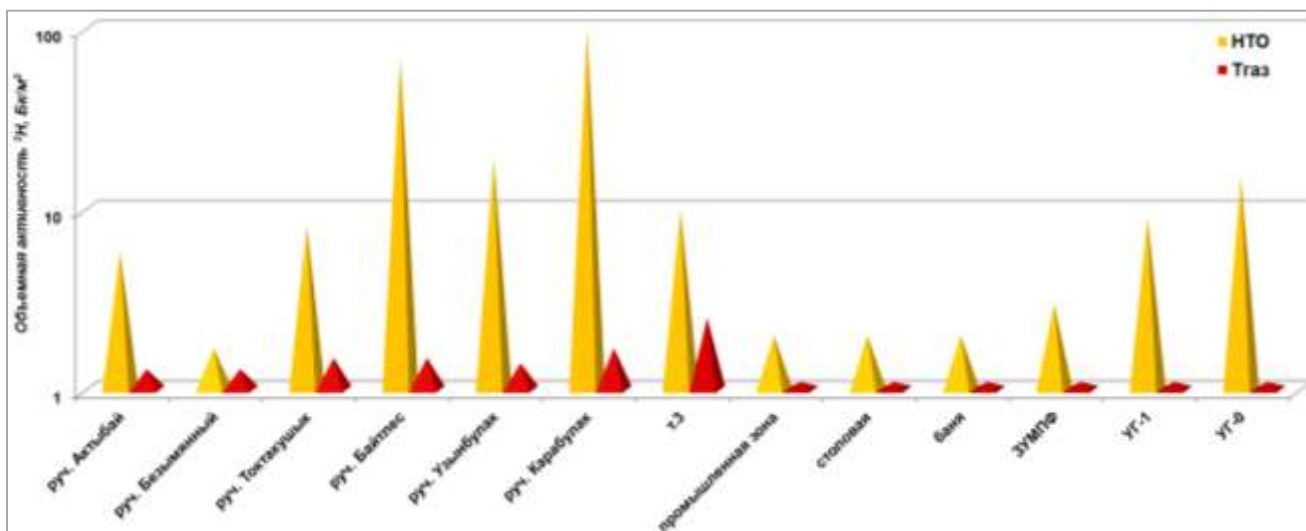


Рисунок 10 – Формы нахождения ^3H в воздушной среде

3.6 Исследование форм нахождения трития в продукции флюоритового месторождения «Караджал»

Полученные результаты по уровню содержания и формам нахождения ^3H в продукции месторождения (руде) представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Содержание ^3H в руде

№	Проба	Удельная активность ^3H , Бк/кг	
		^3H в свободной воде	Кристаллически связанный ^3H
1	Руда 1	9300 ± 900	300 ± 120
2	Руда 2	3400 ± 350	1400 ± 140
3	Руда 3	200 ± 200	< 120

Процентное содержание графически представлено на рисунке 11.



Рисунок 11 – Формы нахождения ^3H в руде

Анализ полученных данных показал, что в руде месторождения «Караджал» в некоторых образцах ^3H фиксируется в значимых количествах, превышающих УВ для данного радионуклида.

При изучении форм нахождения ^3H установлено, что его содержание отмечается не только в свободной воде, но и в связанной форме. Присутствие ^3H в свободной воде объяснимо с учетом пути его поступления на территорию рудника – подпитка подземных вод, поступающих с мест РЗУ площадки «Дегелен».

Известно, что флюоритовая руда обладает хрупкой кристаллической решеткой и весьма тонко реагирует на радиационное облучение [15]. Свободная вода, содержащаяся в руде в значительном количестве, конденсируясь, внедряется в кристаллическую решетку, образуя при этом конденсационный ^3H . Это одна из форм кристаллически связанного ^3H [16-17].

Присутствие ^3H в значимых количествах в свободной воде, содержащейся в руде, настораживает, особенно если учесть объемы ее добычи. Для примера, в таблице 7 приведен расчет содержания ^3H в одной партии продукции месторождения.

Таблица 7 - Содержание ^3H в одной партии руды

№	Условия поступления		Абсолютная активность ^3H в 1 партии
1	Вес 1 партии руды	5 000 кг	<i>21 500 000 Бк</i>
2	Средняя УА в свободной воде руды (согласно табл.5)	4 300 Бк/кг	

3.7 Теоретические расчеты ожидаемого уровня трития в продукции животноводства

В пределах площадки «Дегелен», в непосредственной близости от поверхностных водотоков, расположено несколько хозяйственных субъектов, используемых для постоянного и временного проживания людей и ведения пастбищного скотоводства.

Анализ полученных данных показал, что при выпасе животных в районе поверхностных водотоков, возможно поступление повышенных концентрации ^3H в продукцию животноводства. Согласно [18] для контроля качества получаемой на этой территории продукции, достаточно проведение теоретических расчетов с учетом того, что основным источником поступления ^3H в организм животных являются загрязненные ^3H корм (растения) и водопой (поверхностная вода).

Для подтверждения факта влияния РЗУ на хозяйственный субъект представлена прогнозная консервативная оценка ожидаемого содержания ^3H в продукции животноводства (мясе и молоке), полученная на основе теоретических расчетов согласно [18] (Таблица 8).

Таблица 8 – Ожидаемое содержание ^3H в продукции животноводства на участке р. Шаган

№	Тип образца	Условия поступления	Коэффициент перехода	Ожидаемая удельная активность ^3H , Бк/кг
1	Молоко	при поступлении с луговой растительностью	0,4	11 600 ± 1 100
2		при поступлении с водой	0,027	1 200 ± 120
3	Мясо	при поступлении с луговой растительностью	0,15	4 350 ± 440
4		при поступлении с водой	0,11	4 800 ± 480

при УА (^3H) в поверхностной воде 44 000 Бк/кг (сред. знач. согласно таблице 1);

УА (^3H) в растениях 29 000 Бк/кг (сред. знач. согласно таблице 3)

Таким образом, можно с уверенностью сказать, что повышение уровня концентрации ^3H в подземных водах данного участка повлечет за собой увеличение концентрации ^3H в других компонентах природной среды вследствие процессов перераспределения.

ВЫВОДЫ

1. Проведены экспериментальные исследования уровня содержания и форм нахождения ^3H в компонентах природной среды на радиоактивно-загрязненных участках площадки «Дегелен». Установлено, что перераспределению ^3H на исследуемом участке способствуют поверхностные воды, источником загрязнения которых являются штольневые водотоки, вытекающие с площадки Дегелен.

Выявлено, что в компонентах природной среды площадки «Дегелен» ^3H содержится в различных формах нахождения во всех исследованных природных объектах и существенно преобладает в формах, содержащихся в свободной воде. Данные формы ^3H обладают высокой миграционной способностью и биологической доступностью, что способствует миграции ^3H далеко за пределы испытательной площадки, в том числе на территорию флюоритового месторождения «Караджал». Численные значения удельной активности ^3H зафиксированы во всех исследуемых компонентах природной среды месторождения.

2. Оценено влияние радиоактивно-загрязненных участков СИП на прилегающие территории, в частности на территорию месторождения «Караджал». На основе полученных данных установлено, что ^3H мигрирует как между компонентами природной среды, так и на большие расстояния от площадки «Дегелен» на прилегающие к ней участки, что в свою очередь оказывает негативное влияние на участки производственной деятельности, расположенные на сопряженных территориях.

Помимо этого, полученные результаты свидетельствуют, что при выпасе животных вблизи РЗУ возможно поступление повышенных концентраций ^3H в продукцию животноводства – молоко и мясо, которые являются основным продуктом потребления местного населения.

Учитывая полученные в данной работе результаты, можно с уверенностью сказать, что повышение уровня концентрации ^3H в подземных водах данного участка повлечет за собой увеличение концентрации ^3H в других компонентах природной среды вследствие процессов перераспределения.

Таким образом, на примере Семипалатинского испытательного полигона установлено, что радиоактивно загрязненные участки, отличающиеся повышенным содержанием ^3H в компонентах природной среды, могут оказывать негативное влияние на хозяйственные субъекты, расположенные на прилегающих к ним территориях, и как результат гарантировать миграцию ^3H по биологической цепочке, включая человека.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом установлено, что распространение ^3H на исследовательских участках в районе площадки «Дегелен» объясняется преобладанием ^3H в легкодоступных формах, обладающих высокой миграционной способностью и биологической доступностью.

В заключении хотелось бы отметить, что радиоактивно загрязненные участки СИП могут оказывать существенное негативное влияние на радиационную обстановку прилегающих к ним территорий, вследствие чего необходимо проводить регулярный радиационный контроль тритиевого загрязнения в зоне их влияния. В большей степени, это касается участков, где фиксируется высокое содержание ^3H в природных компонентах. В первую очередь необходимо контролировать содержание ^3H в поверхностной воде, а на участке ведения хозяйственной деятельности - содержание ^3H в растительности и продукции животноводства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Harris, J.** Tritium recapture behavior at a nuclear power reactor due to airborne releases / J. Harris, D. Miller // Health Physics. – 2008. – Vol. 95(2). – P. 203–212.
2. **McDougall, N.** Annual summary and assessment of environmental radiological data for 2006 / N. McDougall // B-REP-03419-0007. - Bruce Power, 2007.
3. **Murphy, C.** Environmental transport and cycling of tritium in the vicinity of atmospheric release / C. Murphy, M.M. Pendergast // Behavior of tritium in the environment : IAEA-SM-232/74. – Vienna : IAEA;1979. – P. 361-372.
4. **Butler, G.** Experience with dilution rate factors from the AECL reactor stack / G. Butler, P. Barry // Canadian Report AECL-1518. - 1962. – 112 p.
5. **Borromeo, J.** Results of Radiological Environmental Monitoring Programs / J. Borromeo // Report N-REP.03481-1006-R00 : Ontario Power Generation. - 2007.
6. **Николин, О. А.** Тритий в водных экосистемах Уральского региона : автореф. дис. канд. биол. наук : 03.00.16 / О.А. Николин. – Пермь, 2008. – 22 с.
7. **Субботин, С.Б.** Подземная миграция искусственных радионуклидов за пределы горного массива Дегелен / С.Б. Субботин, С.Н. Лукашенко, В.В. Каширский // Актуальные вопросы радиэкологии Казахстана [Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2007-2009 гг.] / под рук. Лукашенко С.Н. – Вып. 2. – Павлодар: Дом печати, 2010. – с.103-157.
8. **Лукашенко, С.Н.** Радиэкологическое обоснование возвращения территорий Семипалатинского испытательного полигона в хозяйственное использование: фундаментальные и прикладные аспекты: автореферат док. биол. наук: 03.00.01 / Лукашенко Сергей Николаевич. - Обнинск, 2016.- 47 с.
9. Материалы комплексного экологического обследования месторождения "Караджал" / Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК (ИРБЭ НЯЦ РК), рук. С.Н. Лукашенко, А.О. Айдарханов– Курчатова: ИРБЭ НЯЦ РК, 2014. – 95с.
10. СТ РК 1289-2004. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов, 2004. – 44 с.
11. Качество воды – определение активности трития, соответствующей данной концентрации – жидкостной метод сцинтилляционного счета. Международный стандарт ISO 9698:2010 (E). – Введ.1989-12-01.– Москва: ВЦП НТЛИД, 1990. – 17 с.
12. Установка для извлечения воды из образцов / С.Н. Лукашенко, Н.В. Ларионова, В.П. Зарембо; инновационный патент РК № 29721, 15.04.2015, бюл. № 4.
13. Гигиенические нормативы "Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности": утв. приказом министра национальной экономики Республики Казахстан от 27 февраля 2015 г., № 155.
14. **Магашева, Р.Ю.** Характеристика почвенно-растительного покрова испытательной площадки «Дегелен» / Р.Ю. Магашева, Б.М. Султанова, А.В. Паницкий // Актуальные вопросы радиэкологии Казахстана [Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011-2012 г.] / Под рук. Лукашенко С.Н. – Павлодар: Дом печати, 2013. – Т.2. - Вып. 4. – С. 287-310. - ISBN 978-601-7112-74-5.
15. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Флюорит>
16. **Serzhanova, Z.B.** Researching of tritium speciation in soils of “Balapan” site / Z.B. Serzhanova, A.K. Aidarkhanova, S.N. Lukashenko, O.N. Lyakhova, L.V. Timonova, A.M. Raimkanova // Journal of Environmental Radioactivity. – 2018. - № 192. – P. 621-627.
17. Ляхова О.Н. Тритий как индикатор мест проведения ядерных испытаний // Вестн. НЯЦ РК. 2011. Вып. № 3. - С. 125–129.
18. **Байгазинов, Ж.А.** Исследование параметров перехода $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^3H в организм некоторых видов сельскохозяйственных животных и птиц в условиях Семипалатинского испытательного полигона: автореферат канд. биол. наук : 03.01.01 – Обнинск, 2016. – 22 с