

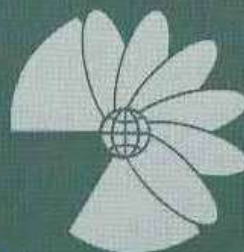
Э.Г. Батырбеков, А.О. Айдарханов,
В.А. Витюк, Н.В. Ларионова, М.А. Умаров

КОМПЛЕКСНОЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

2021



*30-летию закрытия
Семипалатинского
испытательного
полигона посвящается...*



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР
РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН
Г. КУРЧАТОВ

**КОМПЛЕКСНОЕ
РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ
ОБСЛЕДОВАНИЕ
СЕМИПАЛАТИНСКОГО
ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА**

**Э.Г. Батырбеков, А.О. Айдарханов, В.А. Витюк,
Н.В. Ларионова, М.А. Умаров**

г. Курчатов, 2021 г.

УДК 539.1 (035.3)
ББК 22.383
К 63

Рецензент: Санжарова Н.И. – чл.-корр. РАН, д.б.н., профессор

Коллектив авторов: *Э.Г. Батырбеков, А.О. Айдарханов, В.А. Витюк, Н.В. Ларионова, М.А. Умаров*

**Монография «Комплексное радиэкологическое обследование
Семипалатинского испытательного полигона»**

**К 63 Комплексное радиэкологическое обследование Семипалатинского
испытательного полигона:** монография / Э.Г. Батырбеков, А.О. Айдарханов,
В.А. Витюк и др. – Курчатов: Институт радиационной безопасности и экологии
РГП НЯЦ РК, 2021.– 340 с.

ISBN 978-601-7972-64-6

В монографии представлены результаты комплексного радиэкологического обследования территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона. Обследование проводилось специалистами Национального ядерного центра Республики Казахстан в период с 2008 по 2021 годы. Результаты данной работы позволили определить текущее радиационное состояние территории, выявить участки, представляющие опасность для человека и окружающей среды и участки, которые, потенциально, могут быть переданы в хозяйственный оборот. Книга рассчитана на специалистов в области радиэкологии, радиационной безопасности, охраны окружающей среды, а также на широкий круг читателей, интересующихся актуальными вопросами экологического состояния бывшего Семипалатинского испытательного полигона.

ISBN 978-601-7972-64-6

УДК 539.1 (035.3)
ББК 22.383

© Филиал «Институт радиационной
безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, 2021

ПРЕДИСЛОВИЕ

Первым шагом, заложившим основу будущей политики Казахстана по нераспространению оружия массового уничтожения, стало закрытие 30 лет назад, 29 августа 1991 года Указом Первого Президента Республики Казахстан Н.А. Назарбаева Семипалатинского испытательного ядерного полигона.

Это событие является знаковым не только для Казахстана, но и для всего мирового сообщества – перестал действовать крупнейший в мире ядерный полигон.

После принятия исторического решения, в наследие от прошлой эпохи Казахстану достался полигон со всей сложнейшей, огромной инфраструктурой. Что делать с этим непростым наследством? Не каждое государство смогло бы справиться с такой масштабной задачей. Руководство страны решило этот вопрос именно в русле своих миролюбивых инициатив. Был взят однозначный курс – использовать потенциал бывшего Семипалатинского испытательного полигона в мирных целях.

Сегодня мы с удовлетворением отмечаем, что благодаря широкомасштабной деятельности по ликвидации инфраструктуры и последствий испытаний ядерного оружия, конверсии бывшего военно-промышленного комплекса СИП на мирные цели, территория бывшего Семипалатинского испытательного ядерного полигона полностью очищена от последствий ядерной деятельности инфраструктуры военно-промышленного комплекса СССР и приведена в безопасное состояние. Принятые руководством Республики Казахстан меры по нераспространению ядерного оружия практически полностью исключили угрозу, которую мог создать для системы международных отношений неконтролируемый распад когда-то мощного советского ядерного оружейного комплекса.

Спустя 9 лет после закрытия СИП все штольни и скважины, которые предназначались для подземных взрывов ядерных заря-

дов, приведены в состояние, которое не позволит их использовать по назначению. Все работы по денуклеаризации полигона выполнены в рамках широкого международного сотрудничества нашей страны с США, Россией и другими странами. Этот уникальный опыт совместной работы по закрытию ядерного полигона, его дальнейшему исследованию и реабилитации остается единственным и до сих пор никем не превзойденным в мире.

Наряду с выполнением работ по ликвидации инфраструктуры ядерных испытаний и решения вопросов нераспространения, была широко обозначена проблема радиационного загрязнения огромных территорий, занятых полигоном и прилегающих к нему. Было принято решение о проведении самых масштабных в истории Казахстана работ по обследованию СИП, а именно, комплексное экологическое обследование полигона. Обследование началось в 2008 году и завершилось в 2021 году. За это время обследовано более 18 000 квадратных километров полигона, выполнены десятки тысяч лабораторных анализов, проведена оценка радиационного состояния почвенного покрова, воздушной и водной среды СИП, животного и растительного мира. И самое главное, определены пути приведения в общее безопасное состояние земель полигона, с целью дальнейшего их использования в хозяйственном обороте страны.

В данной монографии представлена часть результатов масштабных работ на СИП, которая позволяет пролить свет на текущие проблемы и перспективы СИП, ставить перед собой новые задачи, нацеленные на дальнейшее улучшение ядерной и радиационной безопасности полигона и прилегающих к нему территорий.

**Батырбеков Эрлан,
Генеральный директор
Национального ядерного центра РК,
д. ф.-м. н., профессор, академик КазНАЕН**

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ	9
1.1 Общая информация.....	9
1.2 Краткая историческая справка.....	10
1.3 Хронология изучения последствий ядерных испытаний.....	14
1.4 Испытательные площадки.....	20
ГЛАВА 2. КОМПЛЕКСНОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА	41
2.1 Радионуклиды, формирующие текущую радиационную обстановку.....	41
2.2 Методология проведения комплексного экологического обследования полигона.....	47
2.3 Радиационное состояние почвенного покрова (поверхностный слой).....	53
2.4 Распределение радионуклидов по глубине почвенного профиля.....	64
2.5 Исследование форм нахождения искусственных радионуклидов в почвах.....	82
2.6 Радиационное состояние водной среды.....	88
2.7 Радиационное состояние атмосферного воздуха.....	104
2.8 Радиационное состояние растительного покрова.....	121
2.9 Радиационное состояние животного мира.....	137
2.10 Оценка радиационного состояния сельскохозяйственной продукции.....	149
2.11 Оценка дозовых нагрузок на население.....	168
2.12 Дополнительные исследования.....	180

ГЛАВА 3. РАДИАЦИОННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК	188
3.1 Методология обследования.....	188
3.2 Характеристика полученных результатов.....	191
ГЛАВА 4. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПОЛИГОНА	211
4.1 Радиационная обстановка на прилегающих территориях.....	211
4.2 Радиационный мониторинг.....	224
4.3 Прогноз развития радиационной обстановки на обследованных территориях.....	231
4.4 Реабилитация земель.....	250
4.5 Современное использование земель.....	256
4.6 Перспективы научного развития.....	261
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	275
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	279
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	294

ВВЕДЕНИЕ

Ядерные испытания, проводившиеся в течение 40 лет на военном полигоне СССР, расположенном в 130 км от Семипалатинска (Республика Казахстан), привели к масштабному радиоактивному загрязнению окружающей среды.

Загрязнению подверглась не только территория самого Семипалатинского испытательного полигона, площадь которого составляла 18311,4 км², но и территория за его пределами.

Несмотря на то, что с момента закрытия полигона в 1991 году прошло 30 лет, споры о реальных последствиях ядерных испытаний не утихают и в настоящее время. Существуют два крайних мнения: полигон представляет опасность для всего живого, в том числе и для человека, и, земли полигона можно рационально использовать, в том числе для проживания и ведения хозяйственной деятельности. Кроме этого, тема Семипалатинского полигона время от времени становится объектом недобросовестных спекуляций.

Очевидно, что это происходит от недостаточности достоверной информации о современной радиационной обстановке на полигоне. Зачастую серьезные выводы делаются на основе ограниченного числа данных. Результаты, полученные для определенного участка полигона, распространяются на весь полигон, без учета всех аспектов, влияющих на распределение радиоактивности в объектах окружающей среды.

В течение 14 лет, начиная с 2008 по 2021 год, сотрудники Национального ядерного центра Республики Казахстан, поэтапно проводили комплексную оценку радиоэкологических последствий ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном полигоне.

Данная работа является единственным на сегодняшний день полномасштабным исследованием всех объектов окружающей среды на полигоне, включая почвенный покров, атмосферный

воздух, поверхностные и подземные воды, растительный и животный мир. Работа полностью посвящена изучению современного радиационного состояния полигона и оценке степени опасности проживания и ведения хозяйственной деятельности на нем. При проведении комплексного экологического обследования применялись самые современные методы и оборудование, используемые в области радиоэкологии. Все оборудование включено в Государственный кадастр средств измерений и имеет метрологическую поверку. Достоверность полученных результатов обеспечивалась действующей системой менеджмента качества и системой экологического менеджмента (ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO 19011-2011), а также имеющимся аттестатом № KZ.T.07.2142. в системе аккредитации Республики Казахстан на соответствие требованиям ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий».

Результаты работ получили признание специалистов Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), которые в рамках проекта KAZ9016 «Supporting the Transfer of the Former Semipalatinsk Test Site Land for Economic Use» (Научно-техническая поддержка работ по передаче земель бывшего Семипалатинского испытательного полигона в хозяйственное пользование), высоко оценили степень полноты исследований, достоверности результатов, уместности выводов и рекомендаций, и дали соответствующее заключение.

В настоящей монографии представлены результаты изучения радиационного состояния всех объектов окружающей среды на территории Семипалатинского испытательного полигона. Выполнена оценка возможного содержания искусственных радионуклидов в животноводческой и растениеводческой продукции, при условии ее производства на полигоне, т.е. при условии проживания на нем. Выполнен расчет доз облучения, которые может получить человек, проживая в той или иной точке Семипалатинского испытательного полигона.

ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ

1.1 Общая информация

Семипалатинский испытательный полигон (СИП) располагается на стыке трех областей Республики Казахстан.

Площадь полигона равна 18 311,4 км², из них, Восточно-Казахстанская область занимает 54 % от общей площади полигона, Павлодарская – 39 % и Карагандинская – 7 %.

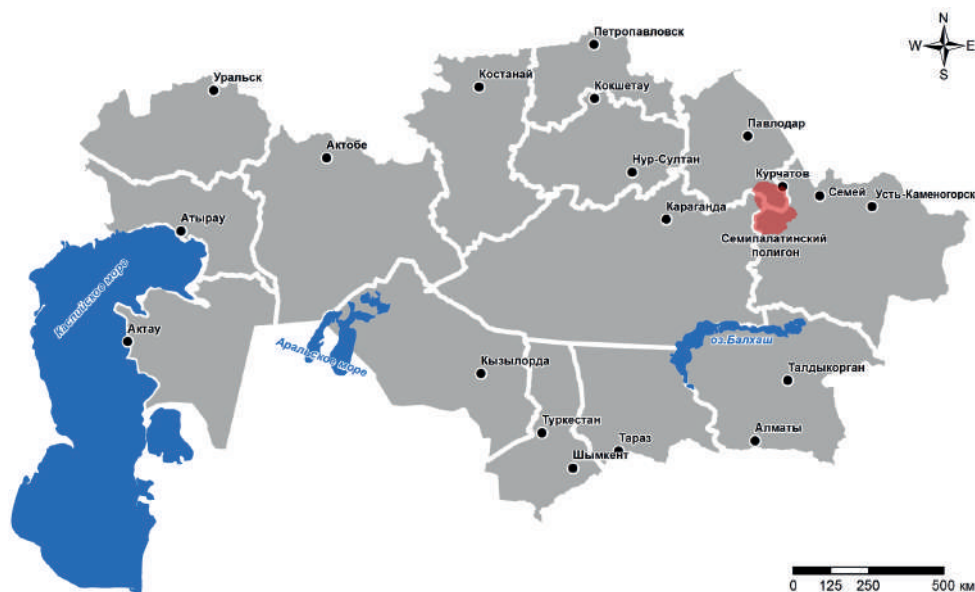


Рисунок 1.1. Расположение Семипалатинского испытательного полигона на карте Казахстана

Ближайшим к полигону крупным населенным пунктом является город Курчатов Восточно-Казахстанской области (около 10 тысяч жителей), который расположен практически на границе СИП. Город Семей (бывший Семипалатинск, от названия которого происходит общепринятое название полигона) находится в 130 км восточнее полигона.

1.2 Краткая историческая справка

Об истории СИП написано немало книг казахстанскими и российскими специалистами, в которых достаточно подробно представлены исторические сведения, факты, комментарии о полигоне. Наиболее актуальные и полные сведения о современном радиэкологическом состоянии, инфраструктуре СИП и научных исследованиях проводимых на его территории в настоящее время приведены в трехтомной монографии «Проведение комплекса научно-технических и инженерных работ по приведению бывшего Семипалатинского испытательного полигона в безопасное состояние», созданной коллективом ученых Национального ядерного центра Республики Казахстан под руководством Первого Президента Н.А. Назарбаева и изданной в 2016 году [1]. Первичные история и деятельность полигона подробно описываются в книге «Семипалатинский полигон. Обеспечение общей и радиационной безопасности ядерных испытаний», написанной группой специалистов Министерства здравоохранения Российской Федерации, Министерства Российской Федерации по атомной энергии, Министерства обороны Российской Федерации и Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды под руководством профессора В.А. Логачева в 1997 году, книге «Ядерные испытания СССР», подготовленной группой специалистов под руководством профессора В.Н. Михайлова в 1997 году, книге полковника в отставке, кандидата технических наук И.А. Акчурина «Семипалатинский ядерный полигон. Создание, становление, деятельность», изданной в 2007 году [2, 3, 4].

Поэтому, в данной монографии кратко повторяются лишь основные вехи истории СИП.

20 августа 1945 года Постановлением Государственного Комитета Обороны созданы Специальный комитет и Первое главное управление, наделенные чрезвычайными полномочиями по

руководству всеми работами по созданию атомной бомбы. Главой Специального комитета стал Л.П. Берия [5].

Разработка первого отечественного атомного заряда велась в рамках комплексной программы «Атомный проект СССР», руководителем которой был советский физик, Академик АН СССР И.В. Курчатов (1949-1955 годы).

14 ноября 1946 года Постановлением Совета Министров СССР принято решение о сооружении специального полигона, для испытаний атомной бомбы, названного «Горная станция Первого главного управления». Первый начальник Горной сейсмической станции – генерал-лейтенант артиллерии П.М. Рожанович (1947-1948 годы) [4].

Первым научным руководителем полигона был назначен заместитель директора Института химической физики АН СССР, геофизик М.А. Садовский (1947-1968 годы) [4].

На этапе рассмотрения потенциальных вариантов месторасположения полигон именовался Горной сейсмической станцией («Объект-905»)[6]. Данное название использовалось до 21 августа 1947 года, когда полигон, постановлением ЦК ВКП(б), передан в ведомство Министерства обороны СССР и стал именоваться В 1948 году полигон был переименован в «Учебный полигон № 2 Министерства вооруженных сил СССР», условное название – войсковая часть № 52605 [7]. 12.05.1970 года полигон вновь изменил свое название и стал называться Центральным научно-исследовательским испытательным полигоном № 2 (ГосЦНИИП-2) и просуществовал в данном статусе до момента закрытия 29.08.1991 году [1, 8].

1 июня 1948 года первые подразделения полигона (войсковая часть № 52605) начали передислокацию в район сосредоточения, а уже в июле 1949 года работы по подготовке к испытаниям на полигоне были закончены.

Уникальная экспериментально-испытательная база, позволяющая проводить широкомасштабные ядерные испытания,

включала в себя следующие основные элементы: административно-жилую зону (площадка М); Опытное поле (площадка П) с прилегающими к нему технологической площадкой, командным пунктом автоматики Опытного поля (площадка Н) и жилым городком испытателей (площадка Ш); базовый аэродром в пригороде Семипалатинска, Жана-Семей (площадка А).

Конструкторская и технологическая разработка ядерного заряда возлагалась на специалистов конструкторского бюро под руководством академика АН СССР Ю.Б. Харитона. 26 августа 1949 года Ю.Б. Харитон представил И.В. Курчатову акты о готовности всех узлов изделия к опыту. И.В. Курчатов, в соответствии с личным распоряжением Л.П. Берии, установил дату проведения испытания – 29 августа 1949 года на испытательной площадке «Опытное поле», тем самым запустив последующий многолетний процесс испытания ядерного оружия.

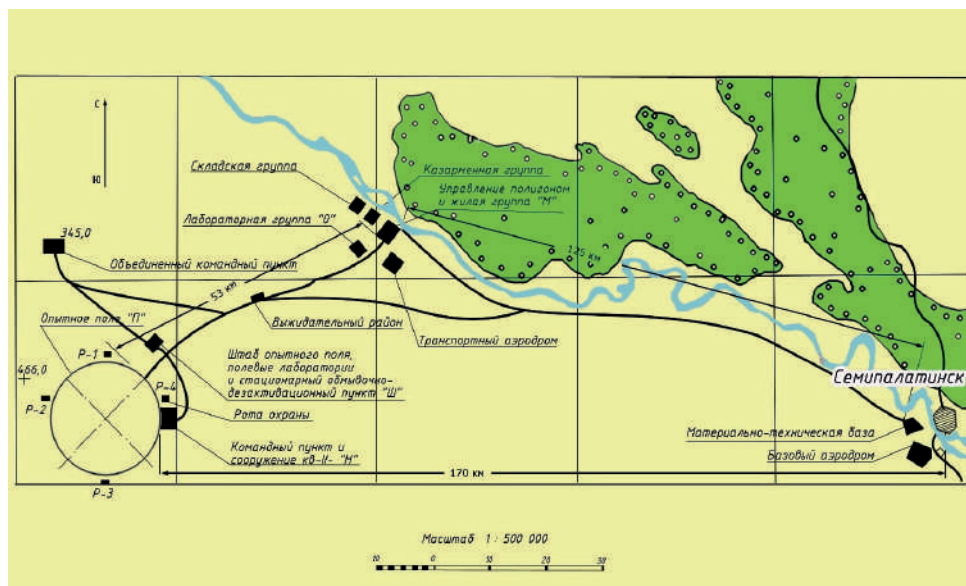


Рисунок 1.2. Площадка в районе реки Иртыш, выбранная для строительства полигона

В настоящее время во всем мире широко распространилось другое название полигона – СИП.

Особо значимые испытания на СИП:

- 29 августа 1949 года – первое ядерное испытание;
- 18 октября 1951 года – первое испытание со сбросом атомной бомбы с самолета;
- 12 августа 1953 года – испытание первого термоядерного заряда;
- 22 ноября 1955 года – самое мощное испытание на территории СИП со сбросом водородной бомбы с самолета;
- 15 января 1965 года – первый промышленный взрыв в скважине, с целью создания искусственного водоема в месте слияния рек Шаган и Ащису (так называемое «Атомное озеро»).

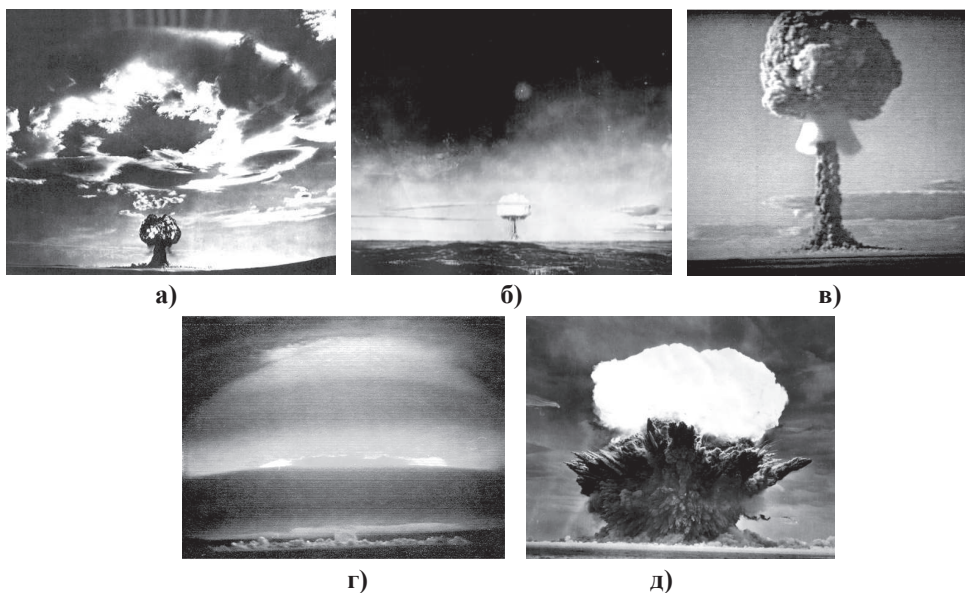


Рисунок 1.3. Ядерные испытания на СИП: а) взрыв первой советской атомной бомбы РДС-1; б) первый воздушный взрыв РДС-3; в) взрыв первого термоядерного заряда РДС-6с; г) взрыв первой советской двухступенчатой бомбы РДС-37; д) первый промышленный взрыв в скважине с выбросом грунта

Испытания ядерного оружия на СИП можно разделить на 2 этапа [1]:

1-й этап – проведение ядерных взрывов в атмосфере в период с 1949 по 1962 годы;

2-й этап – проведение подземных ядерных взрывов (в штольнях и скважинах) в период с 1961 по 1989 годы.

Всего, в период с 1949 по 1989 годы, на полигоне проведено 456 ядерных испытаний. Из них – 116 атмосферных, включая наземные (на поверхности земли) и воздушные взрывы; и 340 – подземных ядерных взрывов.

В период с 1989 по 1991 годы на территории полигона не произведено ни одного взрыва ядерного устройства.

29 августа 1991 года Президент Казахской ССР Н.А. Назарбаев подписал Указ № 409 «О закрытии Семипалатинского испытательного ядерного полигона» [9], что послужило причиной к началу широкомасштабной деятельности по ликвидации инфраструктуры и последствий испытаний ядерного оружия. Полигон из источника военной угрозы стал объектом научных исследований.

В настоящее время Казахстан во всем мире широко известен благодаря своим антиядерным инициативам, первой из которых стал отказ от ядерного оружия, которым молодая Республика обладала после распада СССР. Дата проведения первого советского ядерного испытания – 29 августа, по предложению Казахстана, ООН объявило Днем международных действий против ядерных испытаний [1].

1.3 Хронология изучения последствий ядерных испытаний

После закрытия полигона перед молодым государством встал ряд вопросов, на которые в силу определенных обстоятельств, на тот момент не было ответов – что из себя представляет полигон, какую опасность он представляет для людей, каких масштабов достигает радиоактивное загрязнение полигона и многое другое.

Безусловно, к таким обстоятельствам относится то, что все испытания на полигоне проводились под грифом «совершенно секретно», соответственно и результаты испытаний, и последствия этих испытаний не предавались огласке. А после закрытия полигона, практически все материалы о деятельности на нем были вывезены.

В октябре 1993 года на базе воинской части № 52605 – уникального биологического центра, построенного в 1949 году на СИП, был создан Институт радиационной безопасности и экологии Национального ядерного центра РК.

Немного об истории воинской части № 52605, сформированной для медико-биологического сопровождения ядерных испытаний на СИП.

Из немногочисленных архивных данных, оставшихся в Институте радиационной безопасности и экологии, стало известно, что целью исследований воинской части № 52605 являлось изучение и гигиеническая оценка радиационной обстановки, обусловленной продуктами ядерных взрывов, проводимых с 1949 года. Здесь решались следующие задачи: изучить природные, социально-экономические и санитарно-гигиенические условия жизни сельского населения, проживающего в зоне радиоактивного следа и установить особенности их влияния на формирование дозовых нагрузок; установить основные факторы, обуславливающие динамику формирования дозовых нагрузок на местное население в зоне распространения радиоактивных продуктов взрыва; изучить условия и оценить возможности использования водохранилищ, созданных на реке Шаган, для хозяйственных целей; дать гигиеническую оценку создавшейся радиационной обстановки при подземном ядерном взрыве и степени вероятного риска для здоровья местных жителей. Центр был хорошо оснащен оборудованием, в 2-х этажном виварии содержалось более 750 морских свинок, 400 кроликов, 500 белых мышей, 1500 белых крыс, 20 обезьян, вольеры были рассчитаны на 114 собак, из местных совхозов перед взрывами дополнительно брали коров, лошадей, овец.

В ходе исследований уточнялись представления о действии поражающих факторов ядерного оружия на биообъекты. Были разработаны принципы организации и осуществления лечебных мероприятий на этапах медицинской эвакуации пострадавших от ударной волны и других поражающих факторов ядерного взрыва. В их создании наряду с учреждениями Минобороны СССР

активное участие приняло руководство 3-го Главного управления при Минздраве СССР, сотрудники Института биофизики и других ведущих медицинских организаций. Были получены экспериментальные данные о последствиях воздействия радиационного и светового излучения на животных, расположенных открыто на местности, в открытых траншеях, в закрытых инженерных сооружениях и в военной технике. На основе полученных результатов, включая данные патологоанатомических исследований, были выявлены основные особенности течения лучевой болезни, послужившие базой для классификации лучевой болезни по степеням тяжести. В отдельную форму были выделены случаи «смерти под лучом», когда гибель происходит уже в процессе облучения или вскоре после его окончания. Патологоанатомическое исследование трупов погибших животных позволяло с большой степенью надежности подтвердить тяжесть заболевания, сроки гибели и дозу облучения. Эти данные имели большое значение для развития отечественной радиобиологии и радиационной медицины. На основании результатов, полученных в экспериментах на животных, была показана эффективность метода комплексной терапии при лечении острой лучевой болезни и, особенно, сочетания защитных средств (радиопротекторов) с лечебными препаратами. Работы, выполненные в этом центре, внесли основополагающий вклад в изучение механизмов действия ионизирующих излучений и патогенеза лучевой болезни. Благодаря этому создано и получило развитие информационное поле радиобиологии и радиационной медицины, как научной основы решения задач обеспечения радиационной безопасности, профилактики, ранней диагностики и лечения радиационных поражений, предупреждения или снижения риска отдаленных последствий.

К моменту создания Института радиационной безопасности и экологии весь архив и оборудование воинской части № 52605 были вывезены, а научные сотрудники уехали в Россию. Дан-

ных по радиологической ситуации по всему полигону не было. Загрязненные участки не были закартированы. В связи с этим, всю работу по изучению радиологического состояния полигона и влияния радиации на человека и биоту специалистам Национального ядерного центра РК пришлось начинать заново. Основным направлением исследований стало получение актуальных данных о текущей радиационной обстановке на территории СИП. При этом изучались все компоненты окружающей среды – почва, воздух, вода, природные популяции растений и животных, а также оценка дозовых нагрузок на человека.

Проведение масштабных радиоэкологических исследований на СИП после его закрытия было поддержано руководством страны, что на практике отразилось в утверждении Республиканской целевой научно-технической программы «Развитие атомной энергетики в Казахстане» (РЦНТП). Содержание работ охватывало широкий круг вопросов, т.к. нельзя было изучать растения и животных полигона без данных по площадному загрязнению радионуклидами почвенного покрова, для получения которых требовалась разработка количественных методов анализа радионуклидов.

Так, в рамках этапов «Биолог» (1994-1999 годы) и «Полигон» (1994-1997 годы) проведена оценка радиологической обстановки на территории СИП и прилегающих к нему регионов, а также последствий ядерных испытаний на флору и фауну [10, 11]. Даны сведения по разработке и внедрению природоохранных мероприятий на радиоактивно-загрязненных территориях, восстановлению природной среды [12]. Также одним из направлений исследований в рамках этапов «Изыскание новых эффективных радиопротекторов и агентов, модифицирующих действие радиоактивных излучений» (1994-1998 годы) и «Протектор» (1996-1999 годы) являлся подбор новых эффективных радиопротекторов и агентов, модифицирующих действие радиоактивного излучения [13, 14]. Большой объем исследований по этапу «Биологическое воздействие радиоэкологических факторов на природные популяции

растений и животных» был посвящен составлению списка растений и животных СИП, а также оценке биологических последствий ядерных испытаний (в том числе генетическим эффектам, индуцированным хроническим облучением в малых дозах у отдельных видов животных) [10, 15]. По этапу «Ареал» были построены карты загрязнения части территории СИП в масштабе 1:50000, подготовлена усовершенствованная методика по определению ^{137}Cs в воде, разработана методика экспериментального исследования содержания плутония в образцах растительности, начат мониторинг водотоков и радиоактивного загрязнения порталов горного массива Дегелен, предпринята попытка использования биотехнологического метода для очистки почвы и воды от радионуклидов [16, 17].

В 90-е годы земли полигона уже использовались для проведения хозяйственных работ – на них проводилась как санкционированная деятельность (добыча полезных ископаемых, геологическая разведка и т.д.), так и несанкционированная (добыча кабеля, сельскохозяйственное производство и т.д.). Согласно Постановлению Правительства РК от 16 июня 1997 года № 976, только после завершения всех мероприятий по ликвидации последствий испытания ядерного оружия и комплексного экологического обследования участка территории СИП возможно было передать в собственность и землепользование. Поэтому с 1998 по 1999 годы в рамках РЦНТП были проведены работы по этапу «Дифференциация территории бывшего СИП с точки зрения ее хозяйственного использования» [18]. В результате были собраны и обобщены материалы о проведенных радиологических исследованиях на территории СИП, созданы первые электронные карты, показывающие места расположения основных источников радиоактивного загрязнения, места вероятного расположения сельскохозяйственных угодий.

В 2000 году выполнено повторное радиационное обследование отдельных участков СИП, включающее полевую радиометрию и гамма-спектрометрию, отбор проб почвы. Получены данные по

распределению радионуклидов в пределах исследованных площадок и по глубине почвенных разрезов (до 20 см.). Проведено сравнение полученных данных с результатами исследований проведенных в 1994 году, которое, в целом, свидетельствовало об уменьшении радионуклидной загрязненности обследуемой территории [19]. В 2001 году проводились исследования в рамках РЦНТП задания 01.01.01.Н «Оценка радиологической обстановки и мониторинг на территории СИП и прилегающих к нему регионов. Разработка природоохранных мероприятий». В 2002 году начато площадное обследование центральной и восточной части площадки «Балапан» и комплексное радиозэкологическое обследование района «Атомного озера» и реки Шаган, проведен водный мониторинг «Дегелена» и обследованы русла ручьев Карабулак, Байтлес и Токтакушук. Тогда же в 2002 году были получены морфо-анатомические показатели и данные по цитогенетическим эффектам у доминантных видов-индикаторов растений; проведено цитогенетическое исследование природных популяций хирономид, впервые описан ранее неизвестный новый вид рода *Chironomus degilenicum* [20, 21].

С 2004 по 2006 годы проведена площадная мелко- и средне-масштабная радиологическая съемка (масштабы 1:1 000 000 и 1:200 000) части территории СИП. Выполнены лабораторные и полевые эксперименты по изучению процессов вторичного переноса долгоживущих радионуклидов воздушным путем. Исследованы методы ограничения распространения радиоактивного загрязнения воздушным путем. Исследованы процессы вертикальной и горизонтальной миграции вдоль русла водотока, а также основные факторы, влияющие на распространение радионуклидов в водной системе. Проведены лабораторные и полевые эксперименты по изучению процессов вторичного переноса долгоживущих радионуклидов водным путем. По разработанной системе проведен мониторинг водотоков из штолен на площадке «Дегелен». Проведены натурные эксперименты по ограничению распространения радиоактивного загрязнения водным путем.

Разработан практический метод очистки воды водотока от радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr , основанный на сорбции радионуклидов поверхностным слоем почв в результате создания грунтовой плотины в русле водотока штольни № 176. Проведены эколого-биологические исследования на территории площадки «Дегелен», «Балапан» и зимовки Сартай-Кора [22].

Обеспечение радиационной безопасности при проведении санкционированной хозяйственной деятельности на территории СИП, разработка научно-технической и методической базы, регламентирующей безопасность проведения хозяйственных работ и исследований на территории СИП, а также организация мониторинга хозяйственной деятельности на постоянной основе были начаты в 2004 году в рамках бюджетной программы «Обеспечение безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона и организация ведения хозяйственной деятельности с учетом особенностей его территории» [23].

Однако, к 2007 году стало ясно, что обследование отдельных участков СИП, пусть и наиболее загрязненных, не дает полной картины радиационной обстановки на полигоне. Остаются открытыми вопросы о ситуации на территориях, на которых формально не проводились ядерные испытания, но которые подверглись загрязнению радиоактивными выпадениями, можно ли использовать в хозяйственных нуждах земли полигона и какую часть из них, и т.д.

Для решения этой задачи, начиная с 2008 года в рамках государственной программы, были начаты масштабные работы по комплексному экологическому обследованию территории СИП [24].

В данной книге представлены результаты многолетнего комплексного экологического обследования территории Семипалатинского испытательного полигона.

1.4. Испытательные площадки

Прежде чем начать рассматривать и анализировать результаты комплексного экологического обследования СИП необходимо

отметить, что, несмотря на то, что перед началом комплексного обследования полигона большая часть его территории не была исследована, все же ожидалось, что основная масса радиоактивности сосредоточена в местах проведения ядерных испытаний. При этом, на полигоне проводились не только ядерные испытания, но и испытания боевых радиоактивных веществ, гидроядерные и гидродинамические эксперименты. На СИП таких мест, а точнее площадок, на которых были проведены испытания, восемь – «Опытное поле», «Дегелен», «Балапан», «Сары-Узень», «4», «4А», «Телькем», «Актан-Берли».

Поэтому вкратце расскажем о них.

Площадка «Опытное поле»

Первой и наиболее знаменитой испытательной площадкой СИП является площадка «Опытное поле» [1, 3, 8]. Площадка использовалась для проведения атмосферных (воздушных и наземных) ядерных испытаний и модельных неядерно-взрывных (гидроядерных и гидродинамических) экспериментов. В основном, испытания проводились в рамках совершенствования ядерного оружия, исследований аварийных режимов его работы и поражающих факторов. Также на площадке проводились неядерно-взрывные эксперименты в рамках научных исследований физических процессов в работе ядерных взрывных устройств [3].

Испытательная площадка «Опытное поле» представляет собой равнину диаметром около 20 км, окруженную с трех сторон небольшими холмами (сопками) [1, 3, 25]. Ее площадь составляет приблизительно 270 км², а периметр – порядка 60 км. Центр площадки расположен на расстоянии около 60 км от г. Курчатова.

На площадке «Опытное поле» было проведено первое советское ядерное испытание – 29 августа 1949 года в 07 часов утра местного времени на территории технической площадки П-1, расположенной в центре площадки «Опытное поле». Здесь же 12 августа 1953 года было испытано первое в мире термоядерное изделие РДС-6с, а 22

ноября 1955 года, на высоте около 2 км сбрасыванием с самолета, была подорвана первая советская водородная бомба.

В какой-то период времени на самой площадке «Опытное поле» было построено (создано) несколько дополнительных технических площадок, необходимость которых обусловлена увеличением числа разработок новых образцов ядерного оружия различного назначения (для авиации, артиллерии, военно-морского флота и др.) и стремительно возрастающая частота проведения ядерных испытаний, связанная с необходимостью проведения не только наземных, но и воздушных испытаний различной мощности (Рисунок 1.4) [3, 8].

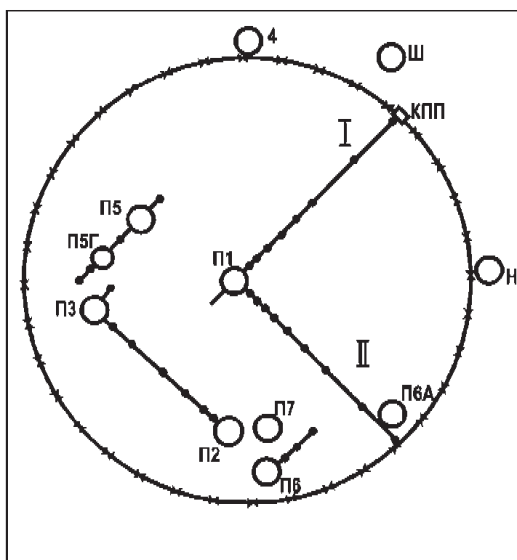


Рисунок 1.4. Историческая схема испытательной площадки «Опытное поле» с техническими площадками

В 1953-1961 годы были построены новые испытательные технические площадки: П-2 (для наземных испытаний), П-3 (для воздушных испытаний ядерных бомб малой и средней мощности), П-5 (для наземных испытаний бомб малой мощности и воздушных испытаний ядерных бомб средней и большой мощности), П-7 (для испытания ядерных зарядов малой мощности, гидроядерных испытаний, а также экспериментов с химическими заря-

дами мощностью до 1 кт), П-6 и П-6А (для проведения испытания макетов ядерных зарядов [3, 8]), П-2Г (П-2М) (для проведения гидроядерных испытаний). Каждая из созданных технических площадок представляла собой участок радиусом приблизительно 2 км без специального ограждения [3].

В период с 1949 года по 1963 год на испытательной площадке «Опытное поле» было осуществлено 116 атмосферных ядерных испытаний, из которых 86 являлись воздушными испытаниями, 30 – наземными испытаниями, проведенными на малой или нулевой высоте, при этом, в 5 случаях ядерное устройство не сработало [26, 27, 28, 29, 30]. Данные испытания стали основным источником поверхностного радиоактивного загрязнения территории СИП. Общее энерговыделение атмосферных ядерных испытаний в пересчете на эквивалент обычного взрывчатого вещества (тринитротолуола) составляла 6,6 мегатонн в тротиловом эквиваленте.

В 1958-1965 годы на территории испытательной площадки «Опытное поле» проводились серии модельных неядерно-взрывных (гидроядерных) экспериментов. Результаты гидроядерных экспериментов имели важное значение для анализа вопросов обеспечения надежности и безопасности хранения и эксплуатации ядерного оружия [1, 8]. При проведении гидроядерных экспериментов значимое ядерное энерговыделение практически отсутствовало, что способствовало образованию малого количества осколков деления материалов ядерного заряда. Вследствие этого, радиационное воздействие на окружающую среду происходило за счет диспергирования ядерных материалов, входящих в состав ядерного заряда. При проведении модельных экспериментов диспергированию подвергался плутоний [29].

Площадка «Опытное поле» до сих пор является уникальным памятником ядерной эпохи и представляет большой научный интерес в качестве естественного полигона для изучения последствий ядерных испытаний.

Площадка «Дегелен»

В результате подписания в г. Москве 5 августа 1963 года правительствами СССР, Великобритании и США договора о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере, в космическом пространстве и под водой (известен также как Московский договор, [31]), ядерные испытания переместились под землю.

Первой площадкой для проведения подземных испытаний стала площадка «Дегелен», которая использовалась для проведения ядерных испытаний средней и малой мощности [1, 3]. Площадка расположена на одноименном горном массиве, который представляет собой куполовидное поднятие диаметром примерно 17-18 км. Общая площадь составляет около 300 км². Площадка «Дегелен» является одной из основных испытательных площадок СИП, где проводились подземные ядерные взрывы (ПЯВ) мощностью до 150 кт в горизонтальных горных выработках – штольнях (Рисунок 1.5).

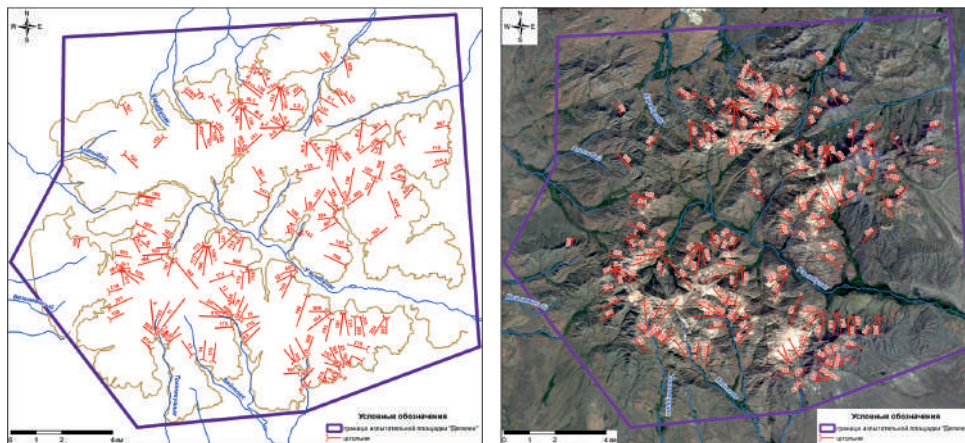


Рисунок 1.5. Схема расположений штолен на площадке «Дегелен»

Первый подземный ядерный взрыв мощностью 1 кт был проведен в гранитном массиве штольни В-1 СИП 11 октября 1961 года. Главными целями этого эксперимента было определение возможностей измерения основных характеристик работы ядерных зарядов

в условиях подземного взрыва и исследование физических явлений, с точки зрения их использования для развития методик физических измерений и для дальнего обнаружения ядерных взрывов.

Всего в период с 1961 по 1989 годы было проведено 209 ядерных испытаний в 181 штольне.

Последнее испытание было проведено 04 октября 1989 года в штольне 169/2.

На площадке проводились групповые ядерные взрывы как в отдельных выработках (штольнях), так и при одновременном подрыве ядерных устройств более чем в одной выработке. Первый групповой взрыв был проведен 03 декабря 1966 года в штольне 14 и представлял собой одновременный подрыв двух ядерных устройств. Одновременно испытывались 2 ядерных устройства 43 раза, 3 устройства – 16 раз, 4 устройства – 5 раз и, максимальное количество, 5 устройств – 2 раза.

Горизонтальные горные выработки (штольни, штреки) для проведения подземных ядерных испытаний имели сечение 9-50 м², принятое из условия размещения и нормальной работы в них проходческого оборудования, транспортировки ядерных зарядов и узлов технологического оборудования, размещения технологического оборудования и кабельных коммуникаций (Рисунок 1.6). Длина штольни выбиралась из условия обеспечения необходимого заглубления концевых боксов, в котором устанавливался ядерный заряд и варьировала от 140 до 1600 м. Выработки располагались в сухих сдренированных породах, в период интенсивного выпадения осадков была возможна их обводненность за счет инфильтрации по трещинам. Для отвода воды из выработок штольни и штреки выполнялись с уклоном 0,004 в сторону устья. Физико-механические свойства пород обеспечивали возможность проходки штолен и штреков без возведения крепи. Креплению подвергались только устьевые части штолен, камерные выработки и выработки с большим пролетом, а также участки выработок с тектоническими нарушениями.

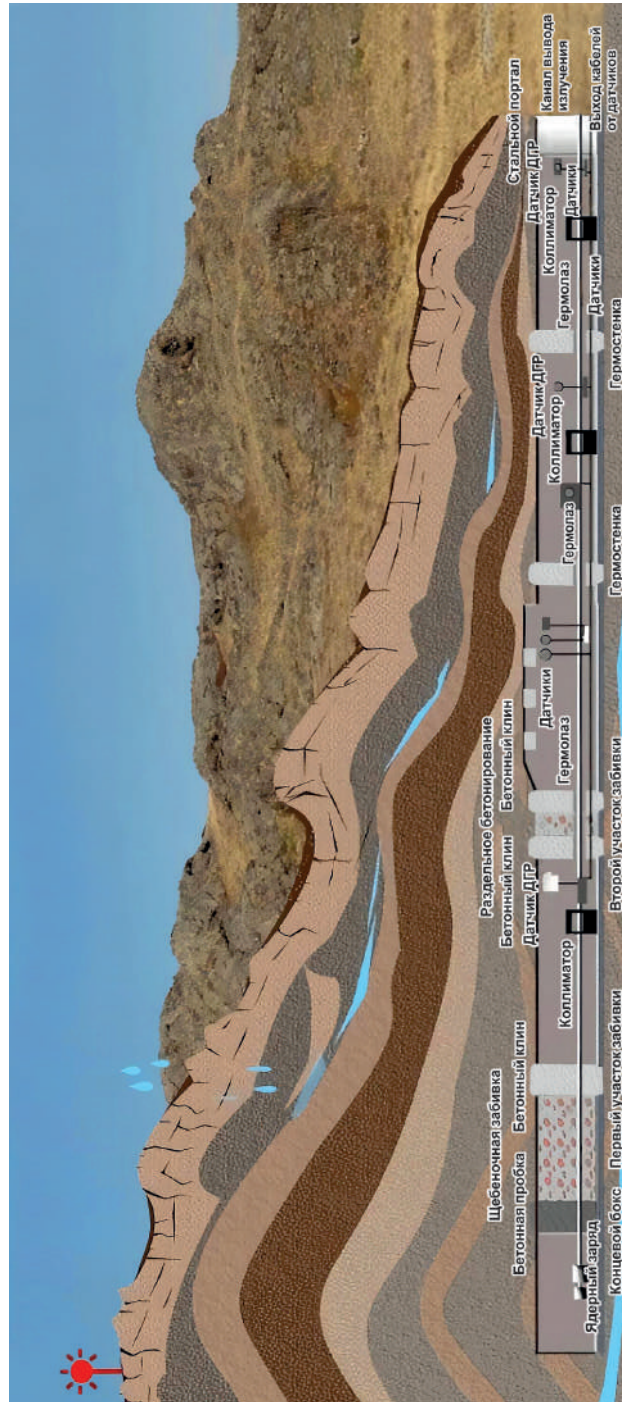


Рисунок 1.6. Поперечный разрез штольни до проведения испытания

На припортальной площадке каждой штольни сооружалась промышленная площадка, на которой располагались: электро-возное депо, компрессорная, эстакада для разгрузки вагонеток, трансформаторная подстанция, материально-технический склад, наземные рельсовые пути. На некотором удалении находился расходный склад взрывчатых материалов. По окончании горнопроходческих работ промышленная площадка преобразовывалась в площадку для испытательного оборудования. Для этого дополнительно сооружались: площадка для разгрузки и сборки ядерного заряда, площадка для складирования материалов и оборудования, площадка для установки измерительных комплексов, площадка для установки комплекса автоматики подрыва, эстакада для разгрузки забивочного материала, молниеотвод, пост охраны. На расстоянии 1-5 км от устья штольни (в зависимости от мощности взрыва и ландшафта) располагался командный пункт автоматики подрыва и управления измерительной аппаратурой [33].

Помимо всего необходимого оборудования, на припортальной площадке, размещались отвалы изъятых при проходке породы, а также остатки технологического оборудования (каналы вывода излучения, технологические металлоконструкции, воздухопроводы, рельсовые пути и др.), которые остались после испытания (Рисунок 1.7).



Рисунок 1.7. Вид припортальных площадок

На многих штольнях после ядерных испытаний, проводилось вскрытие тела штольни, как для изучения последствий, так и для целей повторного использования данных штолен в других испы-

таниях. При этом материал забивки, содержащий искусственные радионуклиды, изымался из тела штольни и складировался в виде отвалов на припортальной площадке. В настоящее время практически на всех припортальных площадках имеются следы техногенной нарушенности, связанной с проведением испытаний [33, 34].

Площадка «Балапан»

Еще одной площадкой, на которой проводились подземные ядерные испытания является испытательная площадка «Балапан», расположенная в восточной части СИП. Площадь территории площадки составляет около 780 км². Испытательная площадка использовалась для проведения подземных ядерных взрывов в скважинах и модельных экспериментов с использованием обычных взрывчатых веществ. Всего на данной площадке проведено 105 ядерных взрывов в период с 1965 по 1989 годы, в том числе первый в СССР взрыв с выбросом грунта в рамках эксперимента по созданию искусственного водохранилища 15 января 1965 года. Данный эксперимент в наибольшей степени загрязнил территорию испытательной площадки продуктами ядерного взрыва [3].

Так же, как и на «Дегелене», на «Балапане» проводились ядерные испытания средней и малой мощности, диапазон мощностей взрывов в тротиловом эквиваленте делится на две части: от 0,001 до 20 кт и от 20 до 150 кт. Глубина скважин, в которых производились эксперименты, варьировала от 240 до 600 метров.

При сравнении атмосферных ядерных испытаний и подземных ядерных взрывов в скважинах во втором случае земная поверхность практически не подвергается радиоактивному загрязнению. Основная доля радиоактивных продуктов остается «захороненной» под слоем породы. При проведении подземных ядерных взрывов в скважинах со штатной радиационной ситуацией доминирующая часть наработанной радиоактивности остается в котловых полостях в остеклованном сплаве, на поверхность выходит только небольшая ее часть в виде инертных газов [35].

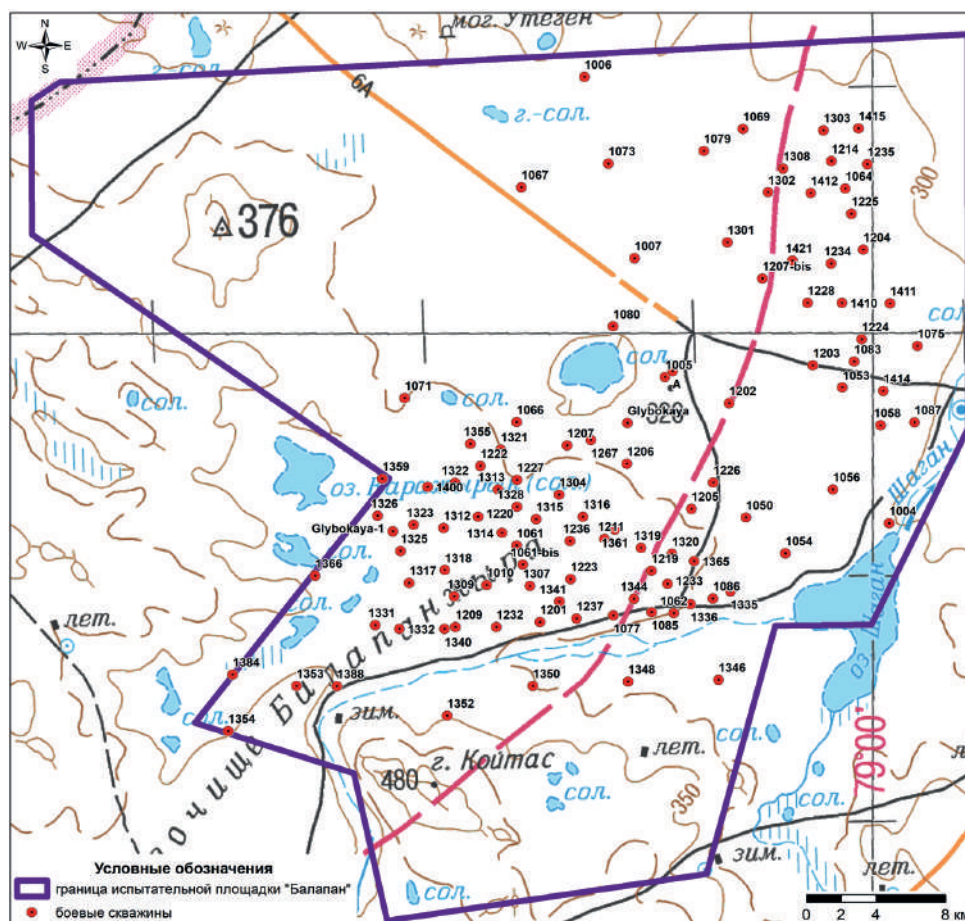


Рисунок 1.8. Схема расположения скважин на площадке «Балапан»

Для исключения выброса радиоактивных продуктов взрыва в атмосферу через скважину создавался, так называемый, забивочный комплекс с термоэлементами высокой прочности, устройствами демпфирования, газоблокировки и т.д. (Рисунок 1.9). Скважины цементировались полностью или в них создавались цементные пробки с засыпкой промежутков между ними щебнем и песком. Для надежного цементирования межкабельного пространства применялись специальные приспособления разводки кабелей. В пределах ненарушенного взрывом массива грунта производилась установка на кабелях газоблокирующих устройств [3].

Первым советским экспериментом по мирному использованию энергии термоядерного взрыва был подземный взрыв на берегу реки Чаган (в настоящее время река называется Шаган) в 80 км к северо-западу от г. Семипалатинска (в настоящее время – г. Семей) с целью создания водоема большой вместимости. Проект, получивший название «Чаган», задумывался как аналог американского проекта «Sedan» – термоядерного взрыва с выбросом грунта мощностью 104 килотонны, осуществленного 6 июля 1962 года на испытательном полигоне в штате Невада (это был первый в мире промышленный ядерный взрыв). При создании советского термоядерного заряда специалистам Всероссийского научно-исследовательского института экспериментальной физики (ВНИИЭФ) удалось добиться более высокого уровня его «чистоты» – 94 % против 70 % устройства «Sedan». Это означало, что 94 % энергии взрыва обеспечивалось реакциями термоядерного синтеза, не дающими радиоактивных продуктов. Изготовленное взрывное устройство мощностью 170 килотонн внешне представляло собой металлический контейнер диаметром 86 сантиметров и длиной 3 метра [2, 36].

Взрыв был проведен в вертикальной выработке (скважине) № 1004 специалистами ВНИИЭФ в месте слияния рек Шаган и Ащису. В результате взрыва образовалась воронка глубиной 100 м, а выброшенный при этом грунт привел к образованию по контуру воронки навала высотой 20-35 м, который перекрыл русло рек. На площадке около скважины был создан временный поселок из юрт и землянок для проживания испытателей. Электроснабжение оборудования, использованного при подготовке и проведении взрыва, обеспечивалось с помощью передвижных электрических станций. Пункт управления подрывом ядерного заряда и регистрирующая аппаратура были расположены на расстоянии 10 км от скважины [37].

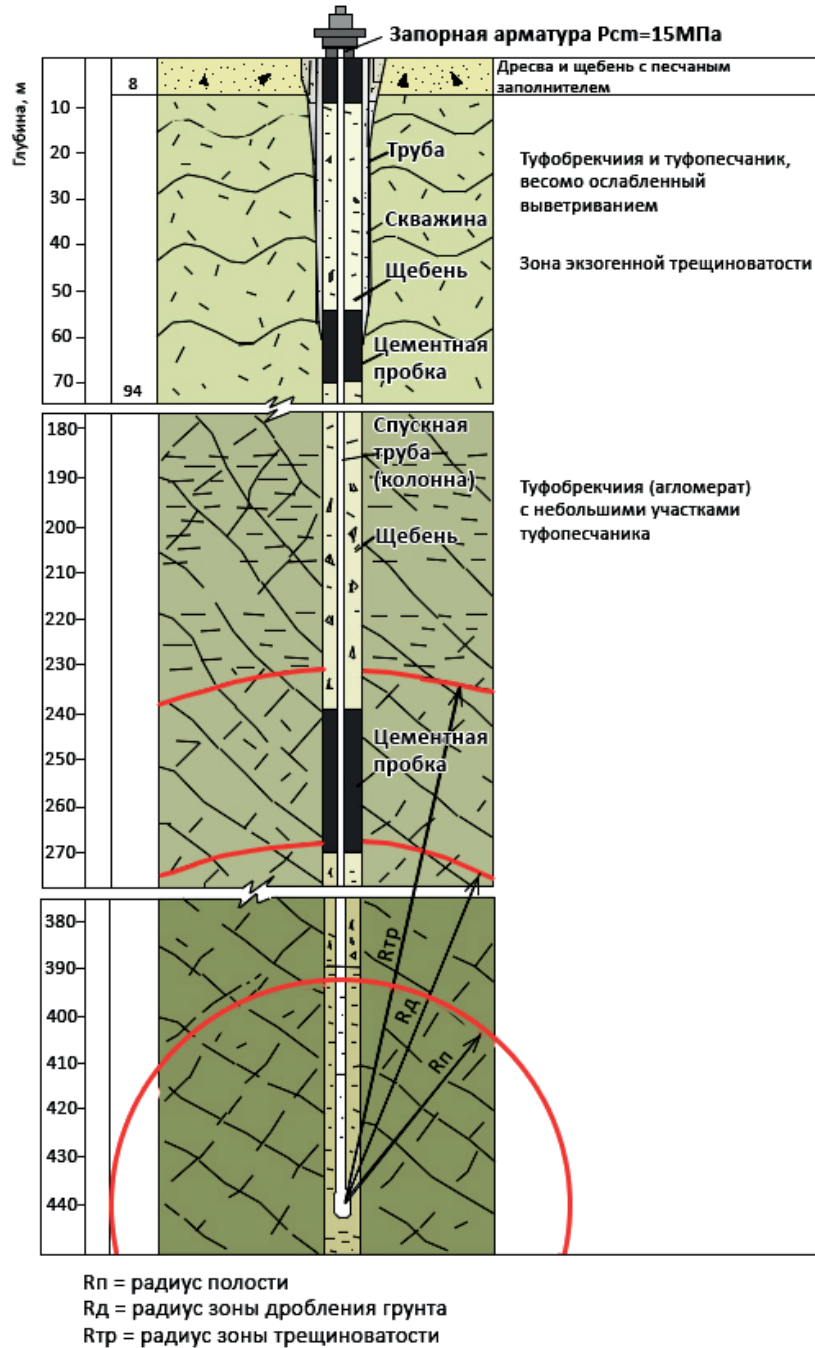


Рисунок 1.9. Схема скважины и забивки с указанием зон механического действия взрыва

Опыт, проведенный 15 января 1965 года на площадке «Балапан», показал принципиальную возможность использования ядерных взрывов в целях создания водоемов и микроклимата для уверенного сельскохозяйственного производства в засушливых степных районах. Технологические принципы подготовки ядерного заряда, спуска его в скважину, управления подрывом были положены в основу проектирования последующих испытаний ядерных зарядов в скважинах. По замыслу советских ученых, воронки от ядерных взрывов на выброс могли бы служить очень удобными водохранилищами: в таких резервуарах накапливались бы весенние стоки, а небольшое зеркало испарения и оплавленное дно позволило бы сохранять воду для нужд орошения, скотоводства, предотвратить засоление территорий и т.д. Для Казахстана планировалось создать с помощью ядерных взрывов на выброс около 40 искусственных водоемов общим объемом 120-140 млн. м³ [38].

Площадка «Сары-Узень»

Одновременно с испытаниями на площадке «Балапан», подземные ядерные взрывы в скважинах проводились еще на одной площадке. В период с 1965 по 1980 годы на площадке «Сары-Узень», расположенной в юго-восточной части СИП, проведено 24 подземных испытания в 25 «боевых» скважинах [1]. Одно из подземных ядерных испытаний – «Лазурит» было осуществлено в непосредственной близости от площадки «Сары-Узень», в горном массиве «Муржик».

По имеющимся данным, в большинстве испытаний мощность взрывов не превышала 20 кт, глубина проведения испытаний варьировалась от 50 до 430 м. Область наибольшей техногенной нагрузки в результате подземных ядерных взрывов расположена в центре и северо-западной части площадки (Рисунок 1.10) [2].

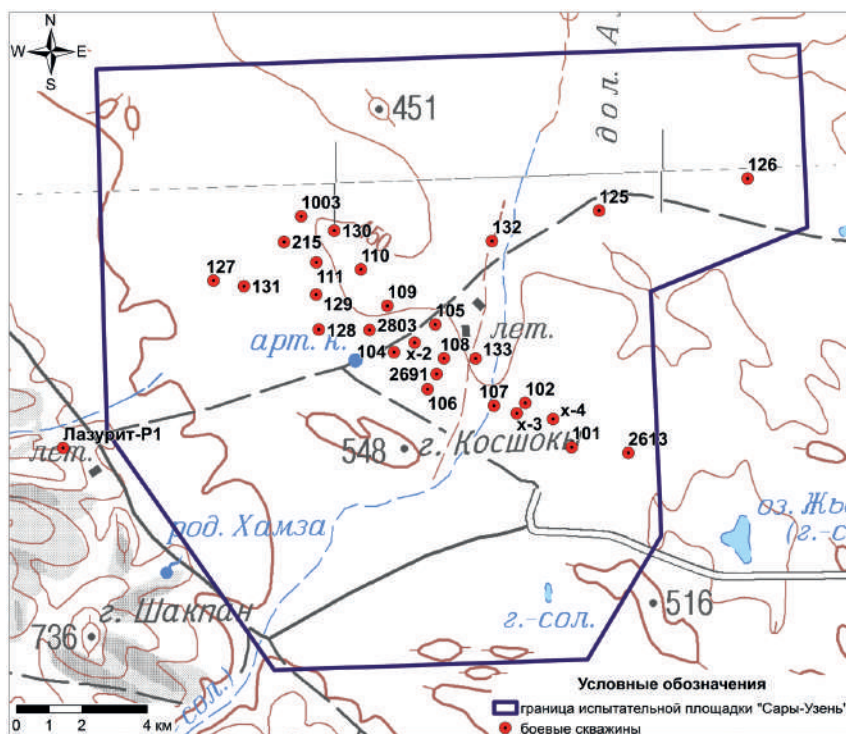


Рисунок 1.10. Схема расположения «боевых» скважин и комплексов специальных сооружений на площадке «Сары-Узень»

Отдельного внимания заслуживают экскавационные взрывы – экспериментальные ядерные взрывы с выбросом грунта. Подобное испытание, в частности, было проведено в скважине № 1003. Для этого взрыва использовался специальный ядерный заряд мощностью 1,1 кт, который был размещен на глубине 48 м. Основной целью такого эксперимента было изучение возможности создания канала через навал выброшенного из воронки грунта без участия в последующих работах людей и техники. Для этого, предварительно перед ядерным взрывом, в месте предполагаемого канала по радиальному направлению был заложен удлиненный заряд из обычных химических взрывчатых веществ. Заряд закладывался с таким расчетом, чтобы, после осуществления ядерного взрыва, заряд из взрывчатых веществ оказался бы

под навалом грунта. Затем был подорван заряд из взрывчатых веществ, в результате чего в навале грунта образовалась траншея, которую можно было использовать в качестве водопроводящего канала. Так экспериментально была показана возможность создания водопроводящего канала в радиоактивно загрязненной зоне без участия людей и землеройной техники.

Помимо скважин, на территории площадки «Сары-Узень» присутствуют комплексы специальных сооружений с локальными участками радиоактивного загрязнения. Каждый комплекс может насчитывать до 20 структурных элементов, как наземных, так и подземных. На данных объектах обнаружены продукты деления ядерного топлива, непрореагировавшего топлива и продукты нейтронной активации [3].

Площадки «4» и «4А»

На территории СИП, помимо участков радиоактивного загрязнения, образованных за счет проведения ядерных испытаний, существуют другие места со значимыми уровнями радиоактивного загрязнения, образовавшиеся в результате испытаний боевых радиоактивных веществ (БРВ).

В период с 1953 по 1957 годы испытательные площадки «4» и «4А» являлись плацдармом для реализации программ по испытанию боевых радиоактивных веществ [1]. Основным компонентом испытываемых боеприпасов являлось радиоактивное вещество в виде порошкообразных и жидких рецептур, предназначенное для массового поражения людей, для загрязнения различного вида техники, вооружения и других объектов окружающей среды. Заграницей данный вид оружия получил название «Радиологическое оружие» [4]. Обе площадки расположены в непосредственной близости к испытательной площадке «Опытное поле» (Рисунок 1.11).

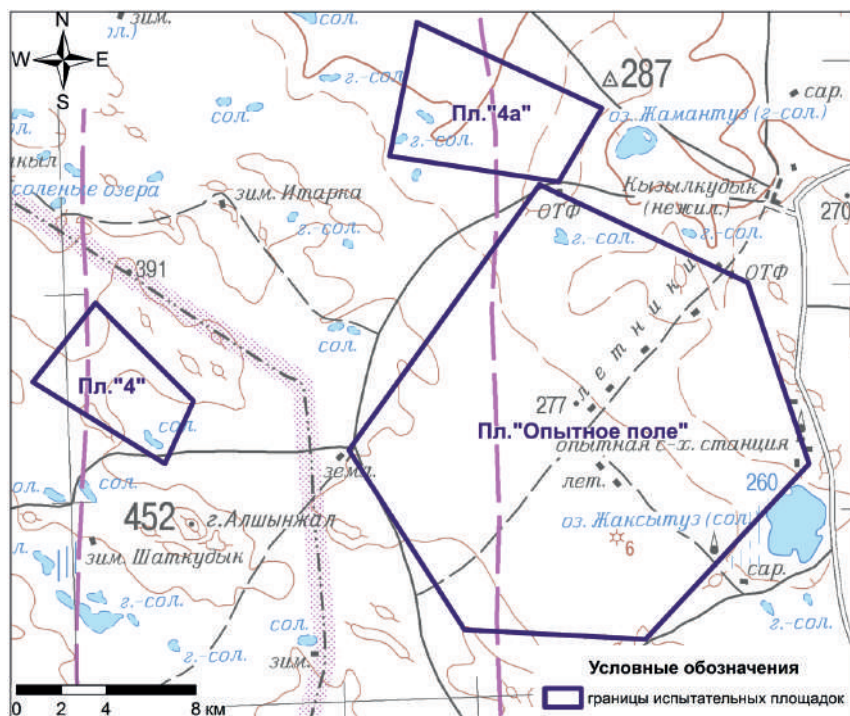


Рисунок 1.11. Расположение площадок «4» и «4А» для проведения испытаний БРВ

БРВ получали либо из отходов радиохимического производства, либо способом облучения специально подобранных компонентов нейтронами функционирующего атомного реактора, то есть способом образования, так называемой, подготовленной активности. На территории испытательных площадок «4» и «4А» использовалась радиоактивная рецептура («рецептура 904»), удельная активность которой колебалась от десятых долей до единиц кюри на литр [1]. «Возраст» осколков деления в момент проведения испытаний составлял 3-4 месяца после извлечения из реактора. Для проведения экспериментов с БРВ «рецептура 904», содержащая осколки деления со средним и большим периодом полураспада, транспортировалась на территорию испытательных площадок «4» и «4А» на автомобильных прицепах в шарообразных свинцовых контейнерах. Этой рецептурой заполнялись ем-

кости, используемые для проведения экспериментов – оболочки химических авиабомб, выливные авиационные приборы, артиллерийские и минометные снаряды, фугасы (Рисунок 1.12) [40].



Рисунок 1.12. Процесс заполнения радиоактивной рецептурой авиационного снаряда

Испытания БРВ проводились путем дистанционного подрыва отдельных боеприпасов, бомбометанием с самолета, артиллерийско-минометными средствами или с помощью выливных авиационных приборов. Для проведения испытаний БРВ, площадки «4» и «4А» оборудовались специальными мишенями. Устанавливались степень и характер загрязнения территории, воздуха и объектов, выставляемых в качестве мишенной обстановки. Использовались также и различного рода подопытные животные [3].

После взрыва снаряда с БРВ и образования зоны радиоактивного загрязнения выполнялись измерения параметров, характеризующих боевую эффективность оружия с БРВ. По результатам таких наблюдений составлялись схемы радиоактивных следов, устанавливались размеры участков с разнообразными плотностями загрязнения территории и дозами излучения. Помимо этого, определялись дозы облучения персонала при различных режимах

их пребывания на загрязненной местности, что зачастую и характеризовало боевую эффективность использования БРВ.

Для уменьшения степени радиационного воздействия на испытателей применялись защитные экраны, земляные конструкции, а также уникальные по конструкции устройства дистанционного выполнения операций. В связи со сложностью дезактивации все используемое при испытаниях БРВ оборудование (емкости, трубопроводы, насосы и др.) было захоронено под пятиметровым слоем грунта.

На территории площадки находятся различные техногенные объекты – траншеи, фортификационные сооружения, воронки, а также большое количество металлических фрагментов испытанного вооружения (остатки мин, различного вида авиабомб и т.д.). В большинстве случаев выявленные металлические фрагменты имели высокий уровень поверхностного радиоактивного загрязнения и, по всей видимости, являлись испытываемыми носителями БРВ [1].



Рисунок 1.13. Вид одного из фортификационных сооружений и фрагмента металлических изделий

При этом, в процессе проведения испытаний БРВ, была установлена низкая боевая эффективность поражения данными средствами живой силы возможного противника по сравнению с поражающими факторами ядерного оружия, такими как ударная волна, излучение световое, проникающая радиация и т.д.

Полная и достоверная информация, связанная с испытаниями БРВ, в том числе и участки захоронения всего используемого оборудования, техники, спецодежды и др., в открытых источниках отсутствует.

Площадка «Телькем»

В 1965 году, вскоре после проведения двух экскавационных взрывов в скважинах № 1003 площадки «Сары-Узень» и № 1004 площадки «Балапан», внимание специалистов было привлечено к возможности сооружения такого канала, с помощью которого можно было бы отвести воды из арктических районов СССР. С целью разработки такого проекта было принято решение провести в юго-восточной части СИП два подземных ядерных испытания наружного действия: одиночный взрыв «Телькем-1» и групповой – «Телькем-2» [41].

Первое испытание – это произведенный 21 октября 1968 года на глубине 31,4 м одиночный подземный ядерный взрыв с выбросом грунта «Телькем-1» мощностью 0,24 кт (все энерговыделение происходило за счет реакций деления материала ядерного заряда). Целью проведения этого взрыва было изучение параметров механического и радиационного факторов для последующего использования полученных данных при подготовке и проведении группового взрыва наружного действия [2, 42].

В результате взрыва в эпицентральной зоне была образована воронка правильной формы и навал выброшенной породы.



Рисунок 1.14. Вид объекта «Телькем -1»

Максимальный разлет кусков пород от эпицентра взрыва составил 190 м. Воронка заполнена подземными водами. Зеркало воды с юга на север 80 м, с запада на восток 70 м.

Необходимо отметить, что за счет большой газовости пород радиус образовавшейся воронки превысил расчетную величину на 25 %, а ее глубина увеличилась на 40 %.

После взрыва «Телькем-1» по ходу движения облака сформировалось радиоактивное загрязнение местности в виде полосы в северном направлении, на территории которой количество выпавших радиоактивных продуктов не превышало 0,2 % от общего количества, образовавшегося при взрыве. Эта полоса, имея протяженность несколько десятков километров, полностью «расположилась» на запретной территории полигона, т.е. не вышла за его пределы. Через четыре месяца после взрыва уровни радиации на навале грунта не превышали 20 мР/ч.

Основной задачей экспериментального взрыва «Телькем-2», произведенного 12 ноября 1968 года, являлось получение данных о механическом и радиационном действии взрыва, необходимых для проектирования групповых подземных взрывов в промышленных целях [43].

Характеристики горных пород при взрыве «Телькем-2» были примерно такие же, как и при взрыве «Телькем-1», так как место для проведения второго эксперимента было выбрано в непосредственной близости от объекта «Телькем-1» (2,5 км). Для осуществления взрыва три заряда мощностью по 0,24 кт были размещены в скважинах глубиной 31,4 м каждая, расстояния между скважинами составляли 40 м.

В результате взрыва трех линейно расположенных зарядов образовалась траншейная выемка и навал выброшенной породы. Образованная групповым взрывом воронка вскоре заполнилась грунтовыми водами.

В настоящее время длина воронки составляет 150 м, ширина около 100 м, высота навала относительно уровня поверхности окружающей местности – 17 м.



Рисунок 1.15. Вид объекта «Телькем-2»

В ходе проведения данных экспериментов отрабатывались технологии сооружения каналов, которые можно было бы использовать для отвода воды из арктических районов страны в бассейны реки Волга и Каспийское море. Были получены важные данные, необходимые для планирования работ по созданию каналов Печора-Кама.

Площадка «Актан-Берли»

Площадка «Актан Берли» расположена в южной части полигона, западнее площадки «Дегелен» и юго-восточнее площадки «Сары-Узень». Территория площадки равнинная, иногда слегка всхолмленная, расположена на отрогах гор Аршалык.

Данная площадка использовалась для проведения гидроядерных экспериментов. Вообще в период 1958-1989 годы было проведено 89 гидроядерных экспериментов различных типов [29]. 40 из 68 были проведены на площадке П-2Г [44], оставшиеся 28 на других участках территории СИП, в том числе и на площадке «Актан-Берли» [3, 45]. Информация о местах проведения этих 28 экспериментов (координаты участков либо схемы их расположения) полностью отсутствует. Известно, что гидроядерные испытания на площадке «Актан-Берли» проводили в скважинах под землей на глубинах 5-30 метров [1].

ГЛАВА 2. КОМПЛЕКСНОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Главной целью комплексного экологического обследования полигона является оценка степени опасности, которую он представляет для человека и природы в настоящее время, другими словами, это ответ на вопрос – можно ли безопасно проживать на его территории?

Отсюда, под комплексным экологическим обследованием в настоящей книге подразумевается исследование состояния основных жизненно важных компонентов окружающей среды: почвенного покрова, атмосферного воздуха, водной среды, включая поверхностные и подземные воды, а также растительного и животного мира для последующей оценки дозовых нагрузок на человека.

При этом, в рамках комплексного экологического обследования рассматривался и изучался только радиационный фактор воздействия на вышеперечисленные объекты окружающей среды. Как правило экологическое обследование подразумевает исследование всех вредных факторов, воздействующих на природу, тем не менее, учитывая специфику СИП, исследовалась только радиационная составляющая, в основе которой лежат искусственные радионуклиды, образованные в результате проведения ядерных испытаний. Содержание природных радионуклидов в объектах окружающей среды не изучалось.

2.1 Радионуклиды, формирующие текущую радиационную обстановку

При взрыве ядерного заряда первоначальная смесь продуктов ядерного взрыва содержит более 200 альфа-, бета- и гамма-излучающих нуклидов с широким спектром периодов полураспада и

энергий излучения. Основную радиационную опасность представляют собой те нуклиды, в результате распада которых образуются относительно долгоживущие изотопы.

По способу образования радионуклидов, формирующих текущую радиационную обстановку на СИП, можно выделить три основные группы:

- радионуклиды – продукты деления (осколки деления) ядерных материалов;
- радионуклиды, образованные в конструкционных материалах ядерного заряда или комплекса оборудования, используемого для его подрыва, а также в грунте в месте ядерного взрыва и других объектах окружающей среды, оказавшихся под действием потока нейтронного излучения (наведенная активность);
- непрореагировавшая часть ядерного заряда (делящихся материалов).

Влияние каждого из них на характер радиоактивного загрязнения территории полигона зависело от различных параметров, таких как вид взрыва (воздушный, наземный или подземный), конструктивные особенности снаряда, тип грунта в районе взрыва и его элементный состав [46].

Продукты деления (осколки деления)

Образовавшиеся во время ядерного взрыва радионуклиды – продукты деления обладают бета-гамма-активностью, которая относительно быстро спадает во времени. Состав продуктов деления зависит от ряда факторов, таких как вид используемого в заряде делящегося материала; времени, прошедшего с момента взрыва.

Опираясь на литературные источники [47], проведена теоретическая оценка активности продуктов деления плутониевого заряда (^{239}Pu) на настоящее время и их вклад в общую активность. Данный тип заряда рассматривается по причине того, что являет-

ся наиболее используемым в ядерном оружии, испытания которого проводились на СИП.

Таблица 2.1. Активность продуктов деления ^{239}Pu

Радионуклид	Период полураспада $T_{1/2}$, лет	$A^*(59 \text{ лет})$, Бк/кт	Вклад в общую активность, %
^{79}Se	$6,5 \times 10^4$	$1,17 \times 10^7$	0
^{85}Kr	10,8	$4,4 \times 10^{10}$	1,3
^{90}Sr	27,7	$5,57 \times 10^{11}$	23,58
^{93}Zr	$1,5 \times 10^6$	$8,14 \times 10^7$	0
$^{93\text{m}}\text{Nb}$	13,6	$2,14 \times 10^5$	0
^{107}Pd	$7,0 \times 10^6$	$2,12 \times 10^7$	0
^{115}In	$6,0 \times 10^4$	$4,25 \times 10^7$	0
$^{121\text{m}}\text{Sn}$	76,0	$8,43 \times 10^8$	0,04
^{125}Sb	2,71	$5,86 \times 10^5$	0
^{129}I	$1,7 \times 10^7$	$3,74 \times 10^6$	0
^{135}Cs	$3,0 \times 10^6$	$6,47 \times 10^7$	0
^{137}Cs	30,0	$1,64 \times 10^{12}$	68,24
^{144}Nd	$2,4 \times 10^5$	$2,82 \times 10^8$	0,01
^{151}Sm	87,0	$1,61 \times 10^{11}$	6,70
^{154}Eu	8,6	$1,05 \times 10^6$	0
Суммарная активность, Бк/кт		$2,40 \times 10^{12}$	100
* – активность радионуклидов с учетом времени распада (59 лет), прошедшего с момента введения моратория на проведение воздушных ядерных испытаний (1962-2021 годы)			

В таблице наглядно показано, что, на текущий момент времени, наибольший вклад в радиационное загрязнение СИП и как следствие в формирование дозовой нагрузки вносят такие радионуклиды как ^{90}Sr , ^{137}Cs и ^{151}Sm , составляющие, соответственно, 23 %, 68 % и 7 % от суммарной активности всех радионуклидов - продуктов деления. Учитывая, что дозовый коэффициент ^{151}Sm при пероральном пути поступления на два порядка меньше по сравнению с дозовыми коэффициентами ^{90}Sr и ^{137}Cs , а при ингаляционном поступлении – на один порядок меньше ^{90}Sr , то данный

радионуклид можно исключить из рассмотрения с точки зрения радиационного загрязнения местности и формирования внутреннего и внешнего облучения человека [48].

В этой связи, в рамках комплексного экологического обследования СИП, из радионуклидов - продуктов деления изучались только ^{90}Sr и ^{137}Cs .

Продукты нейтронной активации

Наведенная активность обусловлена воздействием нейтронов на изотопы элементов, входящих в состав веществ конструкционных материалов ядерного заряда и объектов окружающей среды. Величина наведенной активности прямо пропорциональна выходу нейтронов при взрыве ядерного заряда и быстро уменьшается во времени за счет радиоактивного распада.

В результате реакции радиационного захвата (n, γ) в эпицентре взрыва образуются как радиоактивные, так и стабильные изотопы. Большинство из них короткоживущие, но стоит выделить наиболее значимые – ^{54}Mn , ^{55}Fe , ^{60}Co и ^{152}Eu , ^{154}Eu .

Таблица 2.2. Наиболее значимые продукты нейтронной активации

Радионуклид	Период полураспада $T_{1/2}$, лет
^{54}Mn	0,85
^{55}Fe	2,7
^{60}Co	5,3
^{152}Eu	13,5
^{154}Eu	8,6
^{14}C	5730
^3H	12,3

Немаловажное значение имеет активация воздуха и паров с образованием радиоактивных ^3H и ^{14}C . Атомы этих веществ могут замещать стабильные водород и углерод в тканях живых ор-

ганизмов и являться источниками длительного внутреннего облучения и генетических мутаций.

При этом, подавляющая часть (99 %), образующегося в результате ядерного испытания, ^{14}C в виде газа переходит в стратосферу, формируя в дальнейшем глобальные радиоактивные выпадения [49].

Высокие концентрации ^3H на территории СИП обнаружены в подземных и поверхностных водах в районах проведения подземных ядерных испытаний.

Таким образом, в настоящее время радионуклиды, являющиеся продуктами нейтронной активации, сосредоточены только в эпицентрах ядерных взрывов, поэтому в комплексном экологическом обследовании СИП, направленном на изучение радиационной обстановки за пределами мест проведения ядерных взрывов, данные радионуклиды не рассматривались, в связи с их отсутствием или крайне низкой остаточной активностью. Исключение составляет радионуклид тритий, концентрация которого в некоторых водных объектах полигона составляет сотни тысяч Бк на литр.

Остатки делящегося вещества

Если сравнивать на момент ядерного взрыва суммарную активность неразделившейся части ядерного заряда с активностью продуктов деления, то она будет относительно мала. Однако именно она может создавать существенные проблемы вследствие высокой радиотоксичности альфа-излучающих радиоактивных веществ и их большого периода полураспада.

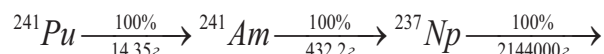
В качестве материалов, составляющих основу ядерного заряда, используют, в основном, ^{239}Pu , ^{235}U и ^{238}U . Подробнее рассмотрим состав плутониевого заряда, который чаще всего используется в ядерном оружии.

Таблица 2.3. Изотопный состав ядерного заряда на основе плутония [50]

Изотоп	Доля по массе, %	Период полураспада $T_{1/2}$, лет	Активность на единицу массы ядерного заряда, Бк/г
^{238}Pu	0,05	87,7	$3,2 \times 10^8$
^{239}Pu	93,1	$2,4 \times 10^4$	$2,1 \times 10^9$
^{240}Pu	6	$6,5 \times 10^3$	$5,0 \times 10^8$
^{241}Pu	0,8	14,4	$3,0 \times 10^{10}$
^{242}Pu	0,05	$3,7 \times 10^5$	$7,3 \times 10^4$

Основную часть представляют изотопы плутония ^{239}Pu , ^{240}Pu – это долгоживущие радионуклиды, и в ближайшей перспективе изменения их активности вследствие радиоактивного распада происходить не будет.

Отдельно стоит выделить ^{241}Pu . Это бета-излучающий изотоп с периодом полураспада 14,4 лет. Далее представлена схема распада данного изотопа (три первых изотопа):



Радиоактивный распад ^{241}Pu будет приводить к постепенному накоплению дочернего продукта распада ^{241}Am . Накопление дочернего продукта распада ^{241}Am – радионуклида ^{237}Np , будет происходить крайне медленно вследствие большого периода полураспада ^{241}Am (432 года). Для распада 90 % активности ^{241}Am потребуется порядка 4300 лет.

Таким образом, в ближайшей перспективе (500 лет) из числа трансурановых элементов наибольшее значение в формировании радиационного загрязнения будут иметь радионуклиды ^{239}Pu , ^{240}Pu и ^{241}Am , следовательно, в рамках комплексного экологического обследования СИП измерялись только эти радионуклиды.

Таким образом, на текущий момент (2021 год) наиболее значимыми радионуклидами (продуктами ядерного взрыва) с точки зрения радиационного загрязнения и формирования внутреннего и внешнего облучения следует считать: ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , а также ^3H в воде.

2.2 Методология проведения комплексного экологического обследования полигона

Очевидно, что большое количество ядерных испытаний, а их в период с 1949 по 1989 годы на СИП было проведено 456, оказало негативное воздействие на окружающую среду. Исследования, проводимые до начала комплексного экологического обследования СИП в 2008 году, должны были решить первоочередные задачи, которые встали перед страной после закрытия полигона. К первоочередным задачам относились «проведение ревизии и обустройства границ бывшего СИП», «обеспечение безопасности ядерных и радиационно-опасных объектов и проведение мероприятий по поддержанию режима нераспространения», «проведение комплекса мероприятий по ликвидации и консервации отходов ядерной оружейной деятельности, радиоактивных и токсичных отходов и по ремедиации (восстановлению) радиационно-загрязненных территорий» и др. В большинстве случаев ранние исследования выполнялись на технических площадках СИП, непосредственно на которых проводились ядерные испытания. Таких площадок на СИП восемь. Площадка «Опытное поле» – место проведения наземных ядерных испытаний; площадки «Балапан» и «Сары-Узень» – места проведения подземных ядерных взрывов в вертикальных скважинах на глубине от одной до нескольких сотен метров; площадка «Дегелен» – место проведения подземных ядерных взрывов в горизонтальных горных выработках – «штольнях»; площадки «4» и «4А» – места наземных испытаний боевых радиоактивных веществ (распыление радиоактивных веществ на местности); площадка «Актан-Берли» – место проведения специальных экспериментов, как на земной поверхности, так и под землей (под специальными экспериментами подразумеваются испытания ядерных материалов без осуществления ядерных взрывов); и площадка «Телькем» – место проведения двух экскавационных ядерных взрывов (заряд устанавливался на некоторой глубине и

во время взрыва происходил выброс грунта с образованием воронок) в так называемых «мирных» целях (создание котлованов-водохранилищ, каналов и др.).

Территории, расположенные между испытательными площадками СИП, оставались, в основном, вне поля зрения исследователей. Закономерно задать несколько вопросов – вся ли территория СИП подверглась радиоактивному загрязнению, какие радионуклиды сформировали загрязнение, какие максимальные уровни радиоактивности имеются на полигоне, где эти участки, и, в конечном счете, насколько опасно нахождение в той или иной части полигона для человека?

Для того, чтобы ответить на эти вопросы, необходимо обследовать полигон полностью, практически каждый уголок. Но как это осуществить на практике? В мировой практике имеется опыт обследования военных ядерных полигонов, но детальной информации о методах и объемах исследований нет в открытом доступе. Единственным аналогом (по масштабам радиоактивного загрязнения и степени изученности), если так можно говорить, является территория, подвергшаяся загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году. Однако, применить опыт исследования последствий Чернобыльской аварии один в один на СИП невозможно в силу различия решаемых задач и условий как природного характера (разные климатические зоны, различное образование частиц-носителей радионуклидов, различные формы нахождения образовавшихся радионуклидов являлись причиной отличного поведения радионуклидов в окружающей среде), так и общественно-политического (в зоне отчуждения Чернобыля проводились мероприятия по отселению населения, на СИП стоит задача передачи части земель в хозяйственный оборот, т.е. заселение территории СИП). Тем не менее, в основу исследований как территории Чернобыльской аварии, так и территории СИП легла радиационная безопасность населения.

Следовательно, общий подход (методология) в комплексном экологическом обследовании СИП должен основываться на оценке степени радиационной опасности полигона для человека.

При оценке радиационной опасности полигона, наиболее рациональным является получение данных о дозах облучения, которые может получить человек, проживая на полигоне. Ведь данные о содержании радионуклидов (образовавшихся во время проведения ядерных испытаний) в почве, воде, воздухе, могут лишь говорить о степени загрязнения окружающей среды. Это вызывает трудности при интерпретации данных в контексте радиационной опасности полигона для человека. При этом, необходимо понимать, что все радионуклиды, находящиеся в тех или иных объектах окружающей среды, являются источниками ионизирующего излучения, которые, фактически, могут формировать дозу облучения человека.

Исходя из этого, дозы облучения человека являются ключевым фактором при определении радиационной опасности полигона.

Если говорить о методологии комплексного экологического обследования СИП в общем виде, то ее можно представить в виде схемы последовательных действий (работ).

На первом этапе обследования дается общая характеристика обследуемого участка, т.е. СИП. Общая характеристика участка включает в себя описание его физико-географического положения, геоморфологических и климатических характеристик, сведения о природной среде – атмосферном воздухе, водных и земельных ресурсах, геологической среде и недрах, растительном и животном мире. Также, выявляются техногенные объекты, которые могут являться частью бывшей инфраструктуры СИП, предназначенной для испытаний ядерного оружия, и способные представлять радиационную опасность в настоящее время. Выявление техногенных объектов выполняется методом полевого

дешифрирования космических снимков, т.е. производится выезд на местность, идентификация и измерение радиационных параметров объекта.

На втором этапе обследования выполняется изучение радиационной обстановки на обследуемом участке. Для этого проводятся работы по определению содержания техногенных радионуклидов в объектах окружающей среды, в том числе в почвенном покрове, поверхностных и подземных водах, атмосферном воздухе, объектах растительного и животного мира. Кроме этого, на данном этапе выполняются расчетные оценки содержания техногенных радионуклидов в сельскохозяйственной продукции, если бы она производилась на обследуемом участке. Полученные и рассчитанные значения содержания техногенных радионуклидов в объектах окружающей среды сравнивают со значениями, приведенными в соответствующих нормативных документах.

На третьем этапе – по результатам оценки радиационного состояния окружающей среды, т.е. по результатам предыдущего этапа, выполняется расчет доз облучения, которые может получить население в случае проживания и/или ведения хозяйственной деятельности на обследуемом земельном участке. Расчет доз облучения населения проводится с целью оценки степени радиационной безопасности человека, проживающего на обследуемом земельном участке. Основным критерием для оценки степени радиационной безопасности человека, проживающего на обследуемом земельном участке, является среднегодовая эффективная доза населения от техногенных радионуклидов.

На четвертом этапе обследования на основании данных расчета среднегодовой эффективной дозы населения выделяются земельные участки, где эффективная доза облучения не превысит 0,3 мЗв/год. Данные земельные участки не представляют радиационной опасности для населения. Соответственно, выделяются и другие земельные участки, где значение среднегодовой эффективной дозы

превышает 0,3 мЗв/год. На таких участках необходимо выполнить мероприятия по ликвидации последствий испытаний ядерного оружия, прежде чем передавать в хозяйственный оборот.

Значение 0,3 мЗв/год – так называемый уровень вмешательства, т.е. такой уровень радиационного воздействия, при превышении которого требуется проведение защитных мероприятий с целью ограничения облучения населения. Данный уровень регламентирован Гигиеническими нормативами «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» [48].

На пятом этапе обследования даются рекомендации по ликвидации последствий испытаний ядерного оружия или ограничению доступа к радиоактивно-загрязненным участкам для земельных участков, которые представляют радиационную опасность для населения.

На шестом (заключительном) этапе выполняется прогнозная оценка состояния радиационной обстановки через 10 лет, 50 лет и 100 лет. В случае изменения радиационной обстановки в худшую сторону в указанный период, определяются мероприятия, предотвращающие эти изменения.

Технически вести комплексное экологическое обследование сразу всей территории СИП, учитывая его размеры, достаточно сложная задача. Поэтому территория полигона обследовалась частями (Рисунок 2.1). Для этого вся территория была разделена на несколько (точнее, тринадцать) частей и каждая часть обследовалась по одной и той же схеме (описано выше) в течение двух лет – в первый год проводилось предварительное обследование, во второй год – уточняющее. После обследования всех частей формировался единый отчет.

Таким образом, если представить методологию комплексного экологического обследования СИП, образно выражаясь, в двух словах, то получится следующее:

1) определение содержания радионуклидов в объектах окружающей среды (в почве, воздухе, воде и т.д.);

2) расчет доз облучения (по результатам выполнения пункта 1), которые может получить человек, находясь/проживая в той или иной точке полигона;

3) зонирование территории на «радиационно-опасную» и «безопасную» зоны (по результатам выполнения пункта 2). Слово «безопасная» взято в кавычки, так как речь идет только о радиации, другие опасные факторы на полигоне в рамках комплексного экологического обследования не изучались.

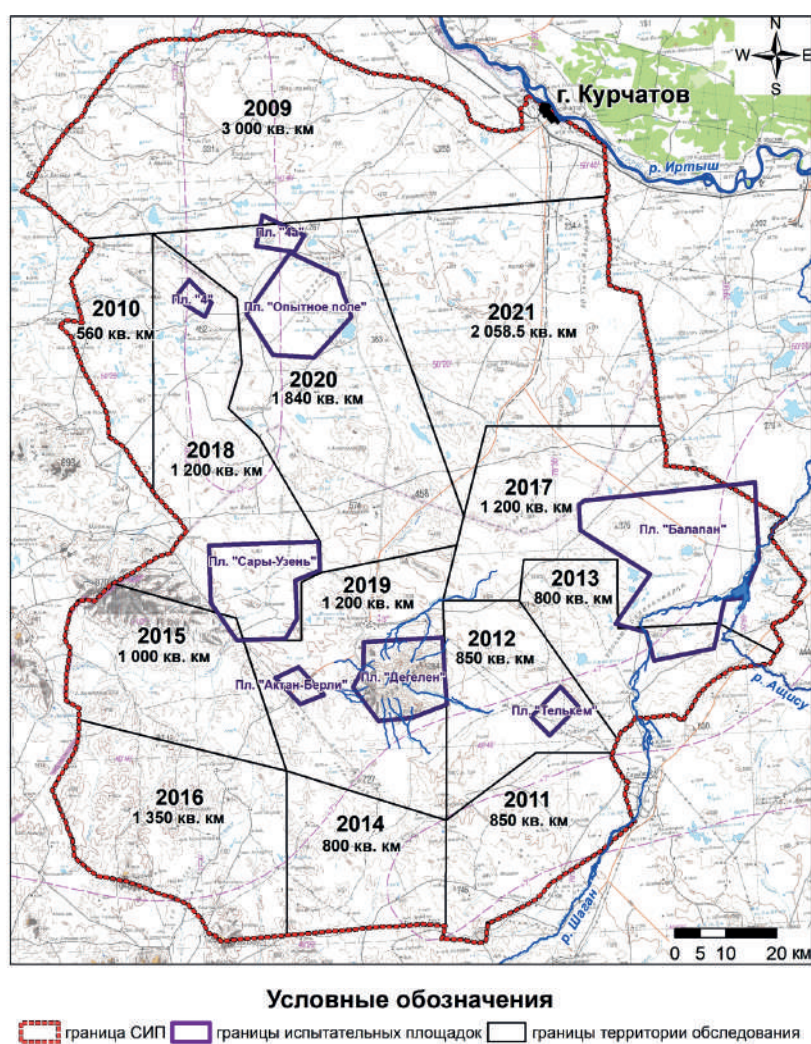


Рисунок 2.1. План комплексного экологического обследования СИП по годам

2.3 Радиационное состояние почвенного покрова (поверхностный слой)

Почвенный покров стал основной природной экосистемой, подвергшейся радиоактивному загрязнению в результате проведения ядерных испытаний на полигоне. Строго говоря, наибольшее количество радиоактивности все же сосредоточено не в почвенном покрове, а в глубоких геологических формациях, так как большинство ядерных испытаний (340) было проведено под землей, и лишь 116 – на поверхности земли (30 наземных испытаний и 86 воздушных). Однако, в результате подземных испытаний радиоактивные элементы остались в месте проведения испытаний, т.е. под землей, и не привели к массовому выходу радиоактивности на дневную поверхность, за исключением аварийных (нештатных) ситуаций, произошедших во время проведения некоторых испытаний, которые, тем не менее, также внесли свой вклад в радиоактивное загрязнение местности. При этом, из 116 ядерных испытаний, произведенных в атмосфере, наибольшее воздействие на окружающую среду, в основном на почвенный покров, оказали наземные испытания (30 испытаний).

Таким образом, почвенный покров, с точки зрения оценки воздействия на человека и его деятельность, рассматривался нами в качестве основного источника, формирующего дозу облучения человека. Причем, почвенный покров формирует как дозу внешнего облучения (напрямую), так и дозу внутреннего облучения (опосредованно), т.е. через вдыхание микроскопических почвенных частиц (проще говоря пыли), а также через пищевой тракт по пищевой цепочке почва-растение-животное-продукты питания-человек.

При обследовании почвенного покрова преследовались две основные цели – во-первых, получить представление о пространственном распределении искусственных радионуклидов (продук-

тов ядерного взрыва), т.е. выявить области повышенных концентраций радионуклидов, определить их размеры, конфигурацию, направленность в пространстве; и, во-вторых, определить уровни содержания этих радионуклидов в почвенном покрове, т.е. получить количественные данные, выраженные в единицах площадью ($\text{кБк}/\text{м}^2$) и/или удельной активности ($\text{Бк}/\text{кг}$).

Теперь несколько слов о технологии обследования почвенного покрова СИП, применяемых методах и допущениях, которые были приняты во время обследования, территории СИП вне технических площадок, т.е. территорий, на которых непосредственно ядерных испытаний не проводилось.

Радиоактивное загрязнение почвенного покрова оценивалось посредством анализа проб почвы, отобранных на полигоне. Конечно, применялись и другие методы, позволяющие без отбора образцов определять уровни радиоактивного загрязнения почвенного покрова, например, пешеходная гамма-спектрометрическая съемка, радиометрическая съемка в режиме «поиск» и др., но все они применялись дозированно, если можно так сказать, для обследования небольших по размеру участков. Масштабное же обследование почвенного покрова полигона площадью $16708,5 \text{ км}^2$ выполнялось, как уже было сказано, методом лабораторного анализа проб почвы.

Основных допущений, при отборе проб почвы для характеристики радиоактивного загрязнения почвенного покрова, было три.

Первое, при отборе проб почвы применялся так называемый метод «укола» – точечный отбор образцов на местности. В этом случае принималось допущение, что каждый образец, отобранный в одном определенном месте, характеризовал определенную площадь. Например, если пробы отбирались в узловых точках сети $1 \times 1 \text{ км}$, то каждая проба характеризовала собой 1 квадратный километр площади обследуемого участка, независимо от того, есть ли различия, например, между типами почв на обследуемом участке

или это идентичные почвы. Ведь такие различия могут достаточно сильно влиять на распределение радионуклидов в почвенном покрове. Но, тем не менее, был принят такой подход.

Второе, отбор проб почвы выполнялся на глубину 5 см. Здесь принималось допущение, что весь объем искусственных радионуклидов в почвенном покрове находится в его верхнем пятисантиметровом слое. Более детально вопрос степени заглубленности радионуклидов на полигоне рассматривается в следующем разделе книги.

Третье, наиболее важное, образцы почвы отбирались в узловых точках равномерной сети. Вся территория СИП была условно разбита на квадраты со стороной 1 км и в каждом углу такого квадрата была отобрана проба почвы. Это достаточно известный метод и применяется, в основном, на участках, с неизвестной пространственной структурой загрязнения. Размер стороны квадратов в этом методе зависит от размера обследуемого участка. Полученные при помощи данного метода результаты рассматриваются как первичные/базовые, которые могут служить основой для дальнейших дополнительных, уточняющих исследований. В данном случае было принято допущение, что радиоактивное загрязнение в пределах квадратов изменяется равномерно/линейно. Другими словами, предполагается, что между двумя измеренными точками не может быть радиоактивного загрязнения с более высокими или более низкими уровнями, чем в этих двух точках.

Прежде чем ознакомиться с результатами оценки радиационного состояния почвенного покрова СИП необходимо пояснить, что под радиационным состоянием подразумевается площадная активность (кБк/м²) четырех радионуклидов – ¹³⁷Cs, ²⁴¹Am, ⁹⁰Sr и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, т.е. количество перечисленных радионуклидов, содержащихся в почвенном покрове полигона. Почему именно эти радионуклиды? Перечисленные радионуклиды являются долгоживущими продуктами ядерных испытаний, с периодом полураспада

от 30 лет до десятка тысяч лет. Другие радионуклиды, образовавшиеся во время ядерных испытаний, либо полностью распались, либо остаточные значения их активности в почве настолько малы, что ими можно пренебречь при расчете доз облучения (более подробно данная информация расписана в разделе 2.1 Радионуклиды, формирующие текущую радиационную обстановку). И наконец, почему $^{239+240}\text{Pu}$, а не ^{239}Pu и ^{240}Pu по отдельности? Это связано с тем, что в примененном для анализа плутония радиохимическом методе измерений нет возможности разделить эти два изотопа, поэтому в расчет бралась их суммарная активность, тем более, что по радиационным и химическим свойствам между ними практически нет различий (имеется в виду, для практических задач радиационной безопасности).

Кроме этого, в данном разделе описывается радиационное состояние почвенного покрова вне испытательных площадок, т.е. территорий, на которых непосредственно ядерных испытаний не проводилось. По сути, здесь представлены результаты исследований последствий воздействия, которое оказали ядерные испытания на территорию СИП.

Оценку радиационного состояния почвенного покрова СИП начнем с распределения площадной активности ^{137}Cs .

Для построения карт распределения площадной активности радионуклидов были использованы результаты гамма-спектрометрического и радиохимического анализа более 18 тысяч образцов почвы.

Наземные ядерные испытания, проведенные 24.09.1951 года (38 кт), 12.08.1953 года (400 кт), сформировали следы радиоактивных выпадений, протянувшиеся от площадки «Опытное поле» в юго-восточном и южном направлениях до границы СИП, и вышедшие за его пределы. Диапазон площадной активности ^{137}Cs на «следах» составил от 7,5 до 104 кБк/м². На остальной территории – менее 7,5 кБк/м².

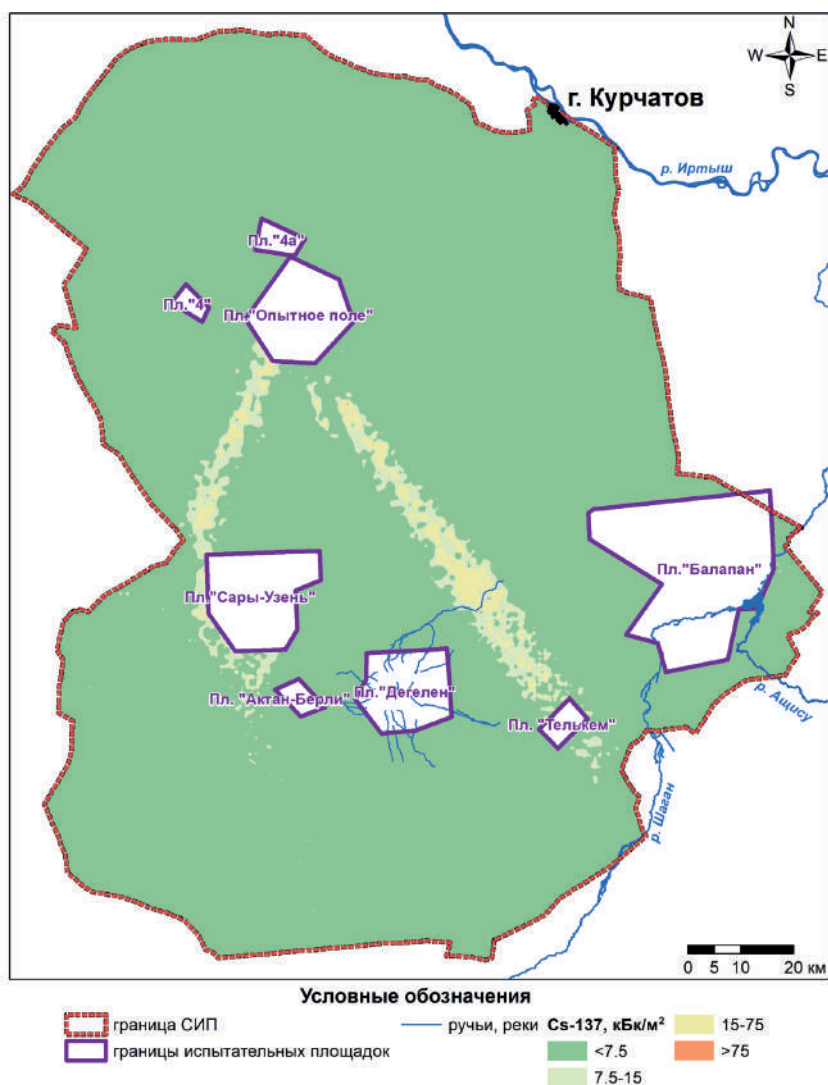


Рисунок 2.2. Карта распределения площадной активности ¹³⁷Cs в почвенном покрове СИП

Справка. Согласно «Критериям оценки экологической обстановки территорий», территории, на которых площадная активность ¹³⁷Cs находится в диапазоне от 0 до 75 кБк/м², относятся к территориям с «относительно удовлетворительной ситуацией», от 75 до 400 кБк/м² – к территориям с «чрезвычайной экологической ситуацией», свыше 400 кБк/м² – к территориям «экологического бедствия» [51].

Длина каждого такого следа радиоактивных выпадений составила 80-100 км в пределах полигона. При этом следует отметить, что на полигоне (вне испытательных площадок), даже на данных следах радиоактивных выпадений, отсутствуют участки, на которых содержание ^{137}Cs в почве по классификации «Критериев оценки экологической обстановки» превышает уровни, когда такие территории можно отнести к территориям «экологического бедствия», а совокупная площадь земель, которые можно отнести к территориям с «чрезвычайной экологической ситуацией», составляет примерно 3 км² [51].

Аналогичный характер распределения на территории полигона имеет ^{90}Sr .

Оба радионуклида, и ^{137}Cs , и ^{90}Sr , являются продуктами ядерного деления плутония (или урана, в зависимости от состава ядерного заряда), предшественниками обоих являются инертные газы – ^{137}Xe с периодом полураспада 3,9 мин и ^{90}Kr с периодом полураспада около 3 мин, соответственно. Схожесть ядерно-физических характеристик образования этих радионуклидов обуславливает схожесть их распространения на земной поверхности после ядерного взрыва. Несомненно, дальнейшее их поведение в окружающей среде будет различаться, но в целом их можно рассматривать как элементы-спутники, используя в практических целях соотношения активностей между ними.

Радиоактивное загрязнение почвенного покрова ^{90}Sr представлено в виде тех же двух следов радиоактивных выпадений, протянувшихся от площадки «Опытное поле» в юго-восточном и южном направлениях. Диапазон площадной активности ^{90}Sr на данных следах составил от 12 до 344 кБк/м². На остальной территории – менее 12 кБк/м².

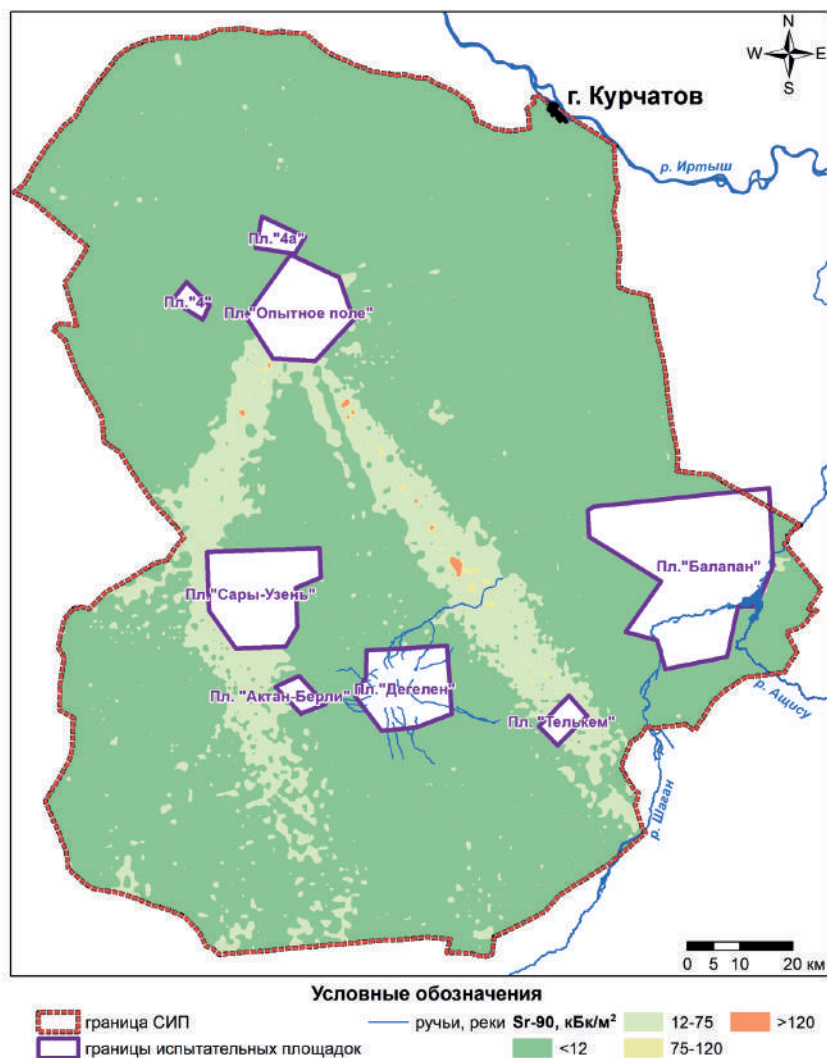


Рисунок 2.3. Карта распределения площадной активности ^{90}Sr в почвенном покрове СИП

Справка. Согласно «Критериям оценки экологической обстановки территорий», территории, на которых площадная активность ^{90}Sr находится в диапазоне от 0 до 120 кБк/м², относятся к территориям с «относительно удовлетворительной ситуацией», от 120 до 630 кБк/м² – к территориям с «чрезвычайной экологической ситуацией», свыше 630 кБк/м² – к территориям «экологического бедствия» [51].

В случае со ^{90}Sr , также, как и с ^{137}Cs , на полигоне (вне испытательных площадок), даже на следах радиоактивных выпадений от ядерных испытаний, отсутствуют участки, на которых содержание ^{90}Sr в почве по классификации Критериев оценки экологической обстановки превышает уровни, когда такие территории можно отнести к территориям «экологического бедствия», а совокупная площадь земель, которые можно отнести к территориям с «чрезвычайной экологической ситуацией», составляет 18 км².

Другой группой исследуемых радионуклидов являются ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$. Радиоактивное загрязнение СИП изотопами плутония сформировалось после проведения ядерных испытаний. Основным изотопом плутония в заряде ядерной бомбы является ^{239}Pu , нарабатываемый при длительном облучении нейтронами природного или обогащенного урана. Происхождение других изотопов плутония можно в общих чертах представить следующим образом: при захвате нейтронов ^{239}Pu в заряде образуются более тяжелые изотопы плутония с массовыми числами 240-242. Обычно содержание ^{239}Pu в материале ядерного заряда составляет 90-95 %, ^{240}Pu – 1-7 %, содержание других изотопов не превышает десятых долей процента. То есть изотопы плутония – (240-242) являются примесью [52].

^{241}Am образуется при β -распаде ^{241}Pu . При этом, ^{241}Pu входит в состав ядерного заряда (как примесь) в определенном соотношении к $^{239+240}\text{Pu}$, следовательно, после взрыва поведение его, а также других изотопов плутония, входящих в состав материала ядерного заряда, в объектах окружающей среды будет идентично $^{239+240}\text{Pu}$, так как это один и тот же химический элемент – плутоний.

В сущности, такой общеизвестный механизм образования ^{241}Am в ядерном заряде дает возможность использовать количественные данные по его содержанию в объектах окружающей среды для оценки плутониевого загрязнения. Очевидно, что для разных ядерных зарядов соотношение также будет разным. Собственно, это и дает основание для оценки радиоактивного загрязнения местности плутонием через измерение концентраций ^{241}Am .

При этом принимается, что поведение ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ в почвенном покрове исследуемого района не будет отличаться значительно.

Другими словами, распространение ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ на земной поверхности после ядерного взрыва будет иметь схожий характер, но будет значительно отличаться от распространения продуктов деления ядерного взрыва, таких как ^{137}Cs и ^{90}Sr .

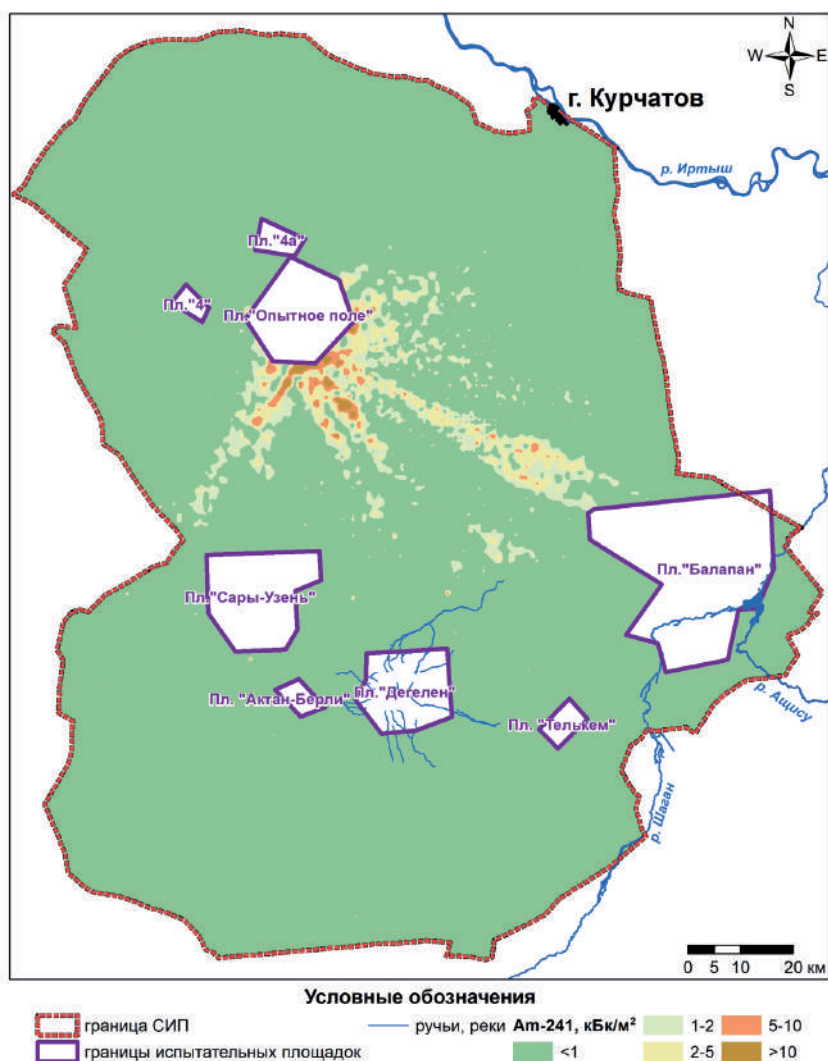


Рисунок 2.4. Карта распределения площадной активности ^{241}Am в почвенном покрове СИП

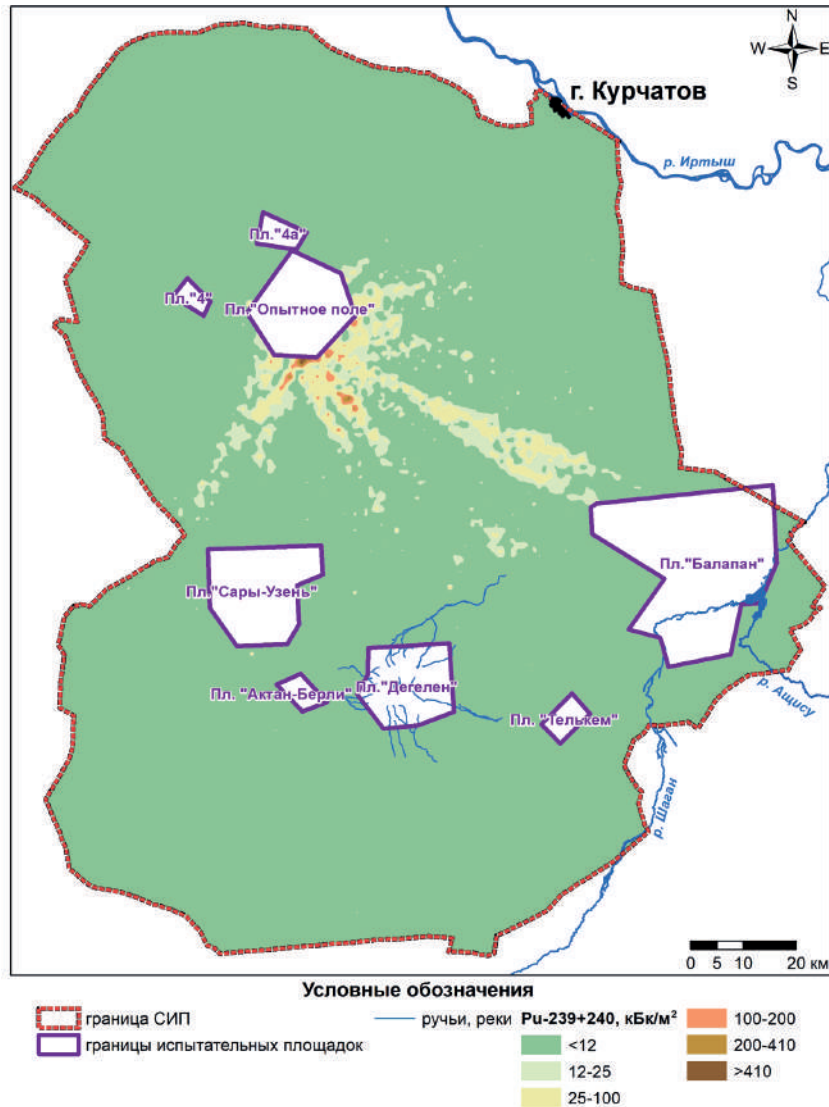


Рисунок 2.5. Карта распределения площадной активности $^{239+240}\text{Pu}$ в почвенном покрове СИП

Радиоактивное загрязнение почвенного покрова ^{241}Am , в отличие от цезия и стронция, представлено множеством участков в виде лучей, радиально расходящихся от площадки «Опытное поле». Собственно, такое пространственное распределение ^{241}Am , а вместе с ним и изотопов плутония, было ожидаемо, так как ос-

новным источником поступления этих радионуклидов на земную поверхность являлись наземные ядерные испытания, которые проводились, в основной своей массе, на площадке «Опытное поле».

Диапазон площадной активности ^{241}Am на следах составил от 1,0 до 78 кБк/м². На остальной территории – менее 1,0 кБк/м².

Диапазон площадной активности $^{239+240}\text{Pu}$ на следах составил от 12 до 774,54 кБк/м². На остальной территории – менее 12 кБк/м².

Справка. Согласно «Критериям оценки экологической обстановки территорий», территории, на которых площадная активность ^{241}Am находится в диапазоне от 0 до 490 кБк/м², относятся к территориям с «относительно удовлетворительной ситуацией», от 490 до 2500 кБк/м² – к территориям с «чрезвычайной экологической ситуацией», свыше 2500 кБк/м² – к территориям «экологического бедствия». Территории, на которых площадная активность $^{239+240}\text{Pu}$ находится в диапазоне от 0 до 410 кБк/м², относятся к территориям с «относительно удовлетворительной ситуацией», от 410 до 2080 кБк/м² – к территориям с «чрезвычайной экологической ситуацией», свыше 2080 кБк/м² – к территориям «экологического бедствия» [51].

Результаты измерений ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ показали, что на полигоне (вне испытательных площадок), отсутствуют участки, на которых содержание этих радионуклидов в почве по классификации «Критериев оценки экологической обстановки территорий» превышают уровни, когда такие территории можно отнести к территориям «экологического бедствия», а совокупная площадь земель, которые можно отнести к территориям с «чрезвычайной экологической ситуацией», составляет около 2 км² [51].

Выводы

Таким образом, говоря о радиационном состоянии почвенного покрова СИП, можно констатировать, что, вне испытательных площадок существуют участки со сверхнормативным поверхностным радиоактивным загрязнением. Данные участки обра-

зовались в результате радиоактивных выпадений от наземных ядерных испытаний.

2.4 Распределение радионуклидов по глубине почвенного профиля

Исследование распределения радионуклидов по глубине почвенного профиля дает представление об их подвижности в почве, что, в свою очередь, определяет степень биологической доступности радионуклидов для растений и далее по пищевой цепочке – для человека.

Очевидно, что глубина проникновения искусственных радионуклидов, образованных в результате ядерных взрывов, в почвенный покров зависит от двух основных факторов: форм нахождения радионуклидов, в данном случае в почвах, и типов почв. Несомненно, есть и другие факторы, такие как климатические условия региона, процессы перераспределения радионуклидов растениями и микроорганизмами, уровень подземных вод и т.д., но все они в той или иной мере как раз и участвуют в формировании почвенного покрова, образуя многообразие типов почв.

Поэтому необходимо сказать несколько слов о почвенном покрове СИП.

Общая информация о почвенном покрове полигона

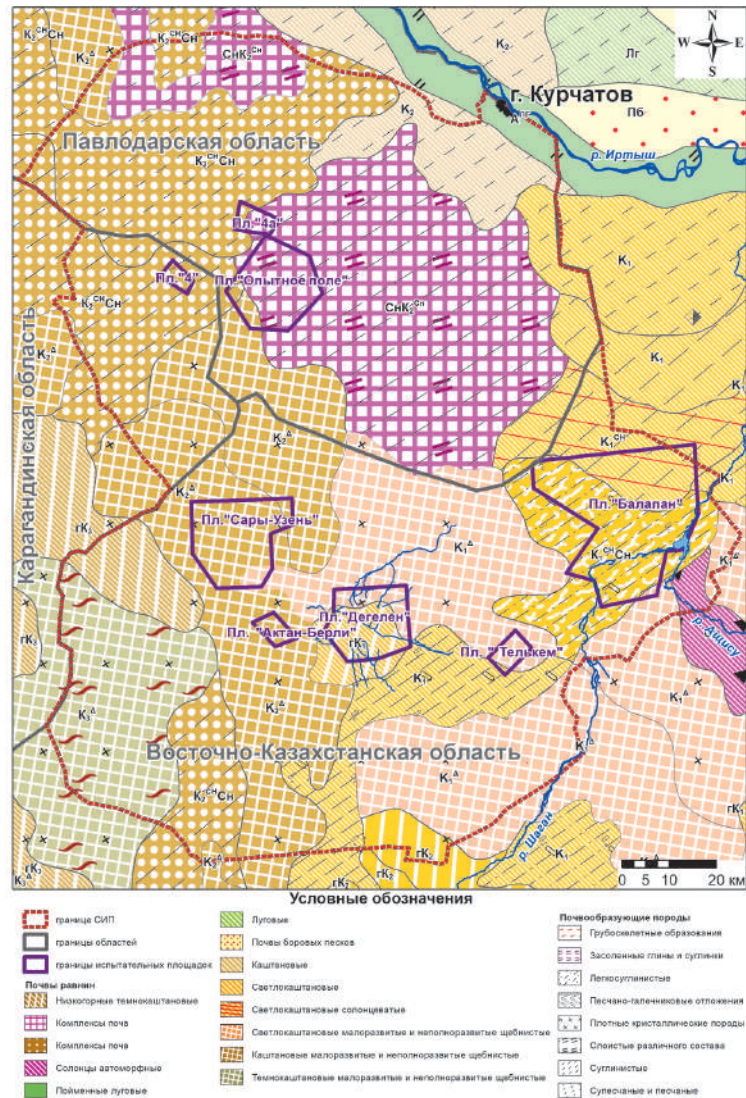
В почвенно-географическом отношении территория СИП охватывает две подзоны степной зоны, а именно, подзону сухих степей с зональным подтипом каштановых почв и подзону пустынных степей на светло-каштановых почвах. В центральной и южной частях СИП получили распространение светло-каштановые почвы, которые с севера, запада и юга обрамляются более гумидной подзоной каштановых почв [53].

Среди зональных почв на территории СИП наиболее широкое распространение получили малоразвитые роды почв. Они фор-

мируются по сглаженным вершинам и склонам сопок на мало-мощных элювиально-делювиальных грубоскелетных отложениях. В широких сухих межсопочных равнинах формируются автоморфные зональные нормальные и солонцеватые почвы, нередко в комплексе с солонцами автоморфными. В долинах мелких рек и ручьев, расчленяющих мелкосопочник, может наблюдаться генетический ряд почв от гидроморфных избыточно увлажненных до автоморфных зональных. Здесь низкие части долины могут быть заняты луговыми и даже болотно-луговыми почвами. По мере удаления от русла они сменяются полугидроморфными почвами, в которых в различной степени может проявляться процесс соленакопления. Заканчивается этот ряд, как правило, зональными щебнистыми почвами на шлейфах сопок.

На денудационных равнинах в большинстве своем преобладают зональные легкосуглинистые щебнистые почвы. Они часто несут в себе признаки солонцеватости и засоления. Замкнутые бессточные депрессии на равнинах и в мелкосопочниках заняты солончаками. Днища таких депрессии окаймляются полосой гидроморфных солонцов в комбинации с полугидроморфными солонцевато-солончаковыми зональными почвами [54].

На территории переходной от Казахского мелкосопочника к Прииртышской равнине широкое распространение получили комплексы зональных солонцеватых почв с солонцами степными, в которых последние нередко выходят на доминирующую роль. Наиболее близко облику почв каштанового типа соответствует морфологический профиль каштановых нормальных почв. Он четко дифференцирован на генетические горизонты. Мощность гумусового горизонта «А+В» колеблется в пределах 35-45 см. Сразу под гумусовым горизонтом располагается карбонатный горизонт. Карбонаты выделяются в виде белесых расплывчатых пятен. В почвообразующей породе могут встречаться скопления гипса.



Почвы и почвенные комплексы: 1-горно-каштановые (Гк); 2-каштановые солонцеватые в комплексе с солонцами степными ($K_2^{Сн} \cdot Сн$); 3-солонцы степные в комплексе с каштановыми солонцеватыми ($Сн \cdot K_2^{Сн}$); 4-солонцы луговые солончаковатые в комплексе с солончаками луговыми ($Снл^{Скл} \cdot Скл$); 5- каштановые малоразвитые (K_2^{\wedge}); 6- солонцы солончаковые в комплексе с лугово-каштановыми солонцеватыми ($Сн^{Ск} \cdot Кл^{Сн}$); 7- каштановые нормальные ($K_2^{н}$); 8- лугово-каштановые солонцеватые в комплексе с солонцами степными ($Кл^{Сн} \cdot Сн$); 9- светло-каштановые солонцеватые в комплексе с солонцами степными ($K_1^{Сн} \cdot Сн$); 10- пойменно-луговые (Алг); 11- солонцы степные солончаковатые в сочетании с каштановыми неполноразвитыми ($Сн^{Сн} + K_2^{\wedge}$); 12 – каштановые в комплексе с солонцами степными солончаковатыми в сочетании с каштановыми малоразвитыми ($K_2 \cdot Сн^{Сн} + K_2$); 13- каштановые малоразвитые в сочетании с каштановыми неполноразвитыми ($K_2 + K_2^{\wedge}$); 14 – каштановые малоразвитые щебнистые (K_2^{\wedge}); 15 – каштановые в комплексе с солонцами степными солончаковатыми в сочетании с лугово-каштановыми ($K_2 \cdot Сн^{Сн} + Кл$).

Рисунок 2.6. Схематическая почвенная карта СИП

Содержание органического вещества у каштановых почв может достигать 2,5-3,5 %. Верхняя часть профиля нормальных каштановых почв свободна от карбонатов. Эти почвы по всему профилю не содержат заметных количеств легкорастворимых солей.

Центральная и восточная часть СИП занята светло-каштановыми почвами, которые являются более южным зональным подтипом степной зоны. Они имеют устойчивый, сформированный профиль, для которого характерна небольшая мощность гумусового горизонта («А+В» у суглинистых разновидностей не превышает 35 см) и отчетливое деление на коричневато-серый со слоеватым сложением и комковатой непрочной структурой горизонта «А» и коричневато-светло-бурый уплотненный горизонт «В». Глубже выделяется плотный карбонатно-иллювиальный горизонт, переходящий в почвообразующую породу. Вскипание от соляной кислоты отмечается в пределах гумусового горизонта. В верхних горизонтах светло-каштановых почв содержится около 2-2,5 % гумуса. Описываемые почвы полигона в большинстве своем имеют легкосуглинистый механический состав и отличаются повышенным содержанием скелетных частиц по всему профилю [55].

Среди подтипов каштановых и светло-каштановых почв на территории полигона, кроме нормальных, встречаются также карбонатные, солонцеватые и малоразвитые роды почв. Карбонатные почвы распространены, преимущественно, среди почв каштановой подзоны.

Основным диагностическим признаком каштановых и светло-каштановых солонцеватых почв является наличие в их морфологическом профиле резко выделяющегося по цвету, плотности и структуре, иллювиального солонцеватого горизонта. Он имеет более темные коричневые тона в окраске, значительное уплотнение, и комковато-ореховатую или ореховато-призмовидную структуру. Из физико-химических показателей, прежде всего следует выделить состав поглощенных оснований в солонцева-

том горизонте. Поглощающий комплекс его содержит обменный натрий в количестве до 15 % от суммы. Кроме того, в этом горизонте усиливается щелочность и увеличивается содержание тонкодисперсных механических элементов.

Малоразвитые каштановые и светло-каштановые почвы формируются по пологим вершинам и склонам сопок, в местах, где коренные плотные породы залегают близко к поверхности, а мощность мелкоземистого слоя не превышает 40 см. Они характеризуются укороченным морфологическим профилем, сильной защебненностью почвенной массы и неполным набором генетических горизонтов.

Лугово-каштановые почвы – это почвы полугидроморфного ряда. Они формируются под лугово-степной растительностью в пониженных формах рельефа, вследствие чего получают дополнительное увлажнение за счет периодического влияния неглубоких грунтовых вод или поверхностного стока. Развиваясь в более благоприятных условиях, они отличаются от зональных несколько большей мощностью гумусового горизонта, более высоким содержанием органического вещества в нем, а, следовательно, и более темной окраской его. В этих почвах довольно часто проявляются признаки засоления и солонцеватости.

Луговые почвы на территории полигона распространены по низким частям долин мелких рек и ручьев. В частности, широко представлены в поймах ручьев горного массива Дегелен [56]. В их формировании активное участие принимают грунтовые воды, залегающие на глубине 1-3 м. Кроме того, они могут испытывать поверхностное увлажнение за счет затопления снеготалыми 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.

Солонцы на территории полигона встречаются в виде комплексов с другими почвами. Среди них различают автоморфные, полугидроморфные и гидроморфные типы. Профиль солонцов четко дифференцирован на генетические горизонты. Своеобразие морфологического строения генетического профиля солонцов заключается, прежде всего, в двух верхних горизонтах – элювиальном и иллювиальном.

Элювиальный или надсолонцовый горизонт окрашен обычно в более светлые серые тона. Он слабо уплотнен, обеднен минеральными и органическими коллоидами и имеет относительно облегченный механический состав. Иллювиальный, солонцовый горизонт резко отделяется от верхнего. Окраска его значительно темнее. Он очень сильно уплотнен, разбит вертикальными трещинами и имеет призмовидную, столбчатую или ореховатую структуру. Под солонцовым горизонтом располагается карбонатный с яркими новообразованиями карбонатов в виде «белоглазки». Глубже выделяется почвообразующая порода со скоплениями легкорастворимых солей и гипса.

Из физико-химических особенностей солонцов следует отметить повышенную емкость обмена в солонцовом горизонте, до 20 и более процентов от суммы поглощенных оснований. Реакция почвенных растворов в этом горизонте повышается до щелочной. Распределение гранулометрических фракций по вертикальному профилю показывает присущую солонцам закономерность – верхняя часть профиля обеднена илстыми частицами, а в иллювиальном горизонте их количество резко возрастает. Нередко в профиле солонцов содержится повышенное количество легкорастворимых солей.

Солончаки на территории полигона распространены по замкнутым бессточным депрессиям на денудационной равнине и в мелкосопочнике. Они формируются под влиянием минерализованных вод, залегающих на небольшой глубине, и за счет прив-

носа солей с окружающих территорий поверхностным стоком. Общей отличительной особенностью всех солончаков является наличие в поверхностном слое легкорастворимых солей в количестве свыше 1 % [57].

Результаты исследований распределения радионуклидов по глубине почвенного профиля

Для разработки методологии изучения распределения радионуклидов по глубине почвенного профиля территории СИП, предварительно проведены исследования характера вертикального распределения радионуклидов в почвах с учетом их типа, подтипа и рода. В рамках этого исследования заложено 47 исследовательских площадок с послойным отбором проб из них на радионуклидные анализы с интервалами 0-3, 3-6, 6-9, 9-12, 12-15, 15-18, 18-21, 21-24, 21-27, 27-30, 30-35, 35-40, 45-50 см. В отдельных случаях, на малоразвитых почвах, интервалы составляли 0-2, 2-5, 5-10, 10-15 см. Площадь отбора каждого слоя в пределах исследовательской площадки составляла 200 см². Площадки закладывались с учетом распределения почвенных контуров и охватывали все основные типы, подтипы и роды почв территории СИП (Рисунок 2.7).

Заложенными площадками были охвачены основные типы, подтипы и роды каштановых почв, так как именно типом каштановых почв представлена практически вся территория полигона (Таблица 2.4). В свою очередь были выделены два подтипа каштановых почв, наиболее распространенных для территории СИП, каждый из которых разделен на три рода: малоразвитые, нормальные и солонцеватые. Это подтипы светло-каштановых и каштановых почв. Также выделены менее встречаемые горно-каштановые почвы и лугово-каштановые почвы с родами – незасоленные и солончаковые почвы. Отдельно выделен тип почвы – солончаки.

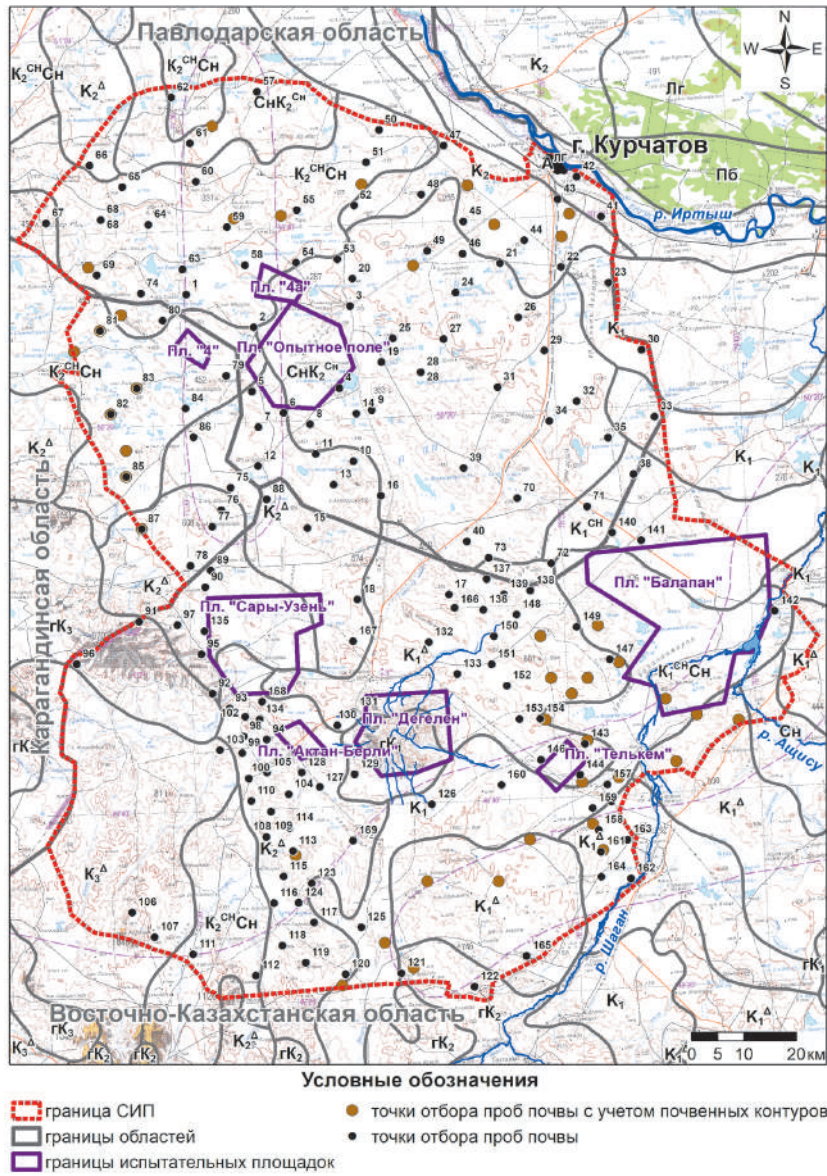


Рисунок 2.7. Схема заложения площадок послынного отбора проб почвы на территории СИП

Таблица 2.4. Систематика исследуемых почв

Тип почвы	Подтип почвы	Род почвы
Каштановые	Каштановые	Малоразвитые
		Нормальные
		Солонцеватые
	Светло-каштановые	Малоразвитые
		Нормальные
		Солонцеватые
	Лугово-каштановые	Незасоленные
		Солончаковые
Горно-каштановые	-	
Солончаки	-	-

Полученные результаты, характеризующие распределение радионуклидов в представленных подтипах и разновидностях каштановых почв, наглядно показали, что на территориях, непосредственно на которых ядерные испытания не проводились, в условиях непромывного водного режима искусственные радионуклиды и продукты радиоактивного распада аккумулируются, главным образом, в поверхностных горизонтах почв и слабо мигрируют вглубь почвенного профиля (Рисунок 2.8) [58].

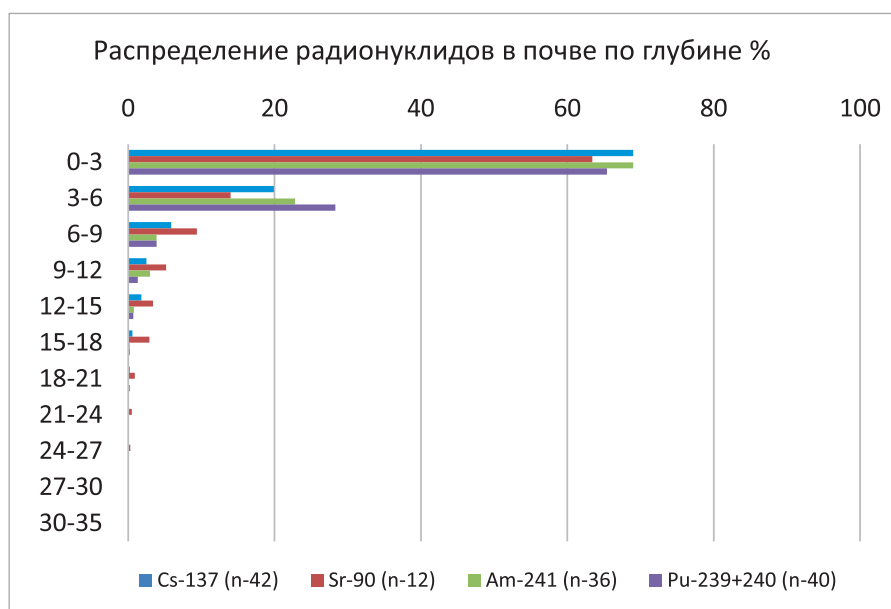


Рисунок 2.8. Характер распределения радионуклидов в почве до глубины 35 см

Формируясь в условиях напряженного гидротермического режима и высокого дефицита влаги, получаемой только за счет атмосферных осадков, зональные каштановые и светло-каштановые почвы, в большинстве своем, отличаются неглубоким промачиванием с поверхности. В связи с этим характер распределения радионуклидов в разных подтипах почв слабо дифференцирован. Если рассматривать функции, описывающие характер распределения радионуклидов в разных подтипах почв, то видно, что они достаточно близки (Таблица 2.5). Таким образом, можно использовать функции, полученные на основании обобщения данных для типа каштановых почв независимо от подтипа для большей части СИП. Исключения составляют лугово-каштановые почвы, встречающиеся непосредственно вокруг горного массива Дегелен. Если сравнить функции, полученные на основании обобщения данных типа каштановых почв с таковыми, полученными для солончаков, то видно, что они схожи для ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$, тогда как для ^{90}Sr эти функции сильно отличаются.

Таблица 2.5. Функции кривых вертикального распределения радионуклидов в типе каштановых почв

Радионуклид	Подтипы почв			Тип каштановые	Солончаки
	светло-каштановые	каштановые	лугово-каштановые		
^{137}Cs	$y=(102\pm 11)e^{-(0,3\pm 0,03)x}$	$y=(85\pm 22)e^{-(0,4\pm 0,08)x}$	$y=(85\pm 12)e^{-(0,3\pm 0,03)x}$	$y=(125\pm 13)e^{-(0,4\pm 0,04)x}$	$y=(107\pm 19)e^{-(0,4\pm 0,05)x}$
^{90}Sr	$y=(47\pm 10)e^{-(0,2\pm 0,05)x}$	$y=(51\pm 16)e^{-(0,2\pm 0,08)x}$	$y=(49\pm 11)e^{-(0,2\pm 0,09)x}$	$y=(79\pm 7)e^{-(0,3\pm 0,04)x}$	$y=(24\pm 5)e^{-(0,07\pm 0,06)x}$
^{241}Am	$y=(76\pm 16)e^{-(0,3\pm 0,04)x}$	$y=(106\pm 14)e^{-(0,4\pm 0,04)x}$	$y=108e^{-0,3x}$	$y=(85\pm 12)e^{-(0,3\pm 0,03)x}$	_*
$^{239+240}\text{Pu}$	$y=(90\pm 16)e^{-(0,4\pm 0,05)x}$	$y=(128\pm 28)e^{-(0,4\pm 0,07)x}$	$y=34,1e^{-0,2x}$	$y=(126\pm 17)e^{-(0,4\pm 0,04)x}$	$y=(87\pm 16)e^{-(0,4\pm 0,008)x}$
*_не получены количественные данные					

Таким образом, учитывая слабую дифференциацию характера распределения радионуклидов, которая может быть связана с погрешностью измерений, методологическими погрешностями при проведении полевых работ и неучтенными факторами, которые невозможно установить в момент отбора (давнее перемешивание слоев роющими или сельскохозяйственными животными и т.д.), можно утверждать, что для оценки распределения радионуклидов в вертикальном профиле почв достаточно классифицировать почвенный покров до типа почвы. В частности, территория СИП представлена каштановым типом почвы. Имеющиеся на обследуемой территории солончаки, как правило, не используются фермерами в сельском хозяйстве, а основными почвами, где ведется животноводство на СИП, в силу своей распространенности, являются каштановые и светло-каштановые подтипы почв. Кроме этого установлено, что в почвах территорий, не относящихся к испытательным площадкам радионуклиды сосредоточены в верхних слоях почвы и обнаруживаются, в основном, до глубины 15-20 см. Данный факт позволяет оптимизировать обследование участков СИП путем ограничения глубины исследования почвенного покрова до 30 см и ввиду отсутствия необходимости деления территории на подтипы почв. Выбранная глубина исследования позволяет гарантированно установить характер распределения радионуклидов в вертикальном профиле почв исследуемых территорий и исключить отбор проб на нарушенных участках почвы. Пересчет удельной активности на слой 0-20 см ведется с глубины 0-5 см (глубина отбора проб почвы при площадном обследовании). Поэтому рекомендуемый интервал послойного отбора проб составил 5 см.

Учитывая полученные результаты, описанные выше, для определения характера вертикального распределения радионуклидов на территории СИП заложено 169 исследовательских площадок с послойным отбором проб на радионуклидные анализы с

интервалами 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 22-25, 25-30 см. Таким образом, для изучения особенностей вертикального распределения радионуклидов в почвах было отобрано 1014 послойных проб почвы. Площадки закладывались из расчета одна площадка на 100 квадратных километров. Площадь отбора каждого слоя почвы составляла 200 см². Первоначально, отбор проб почвы на территориях СИП, расположенных в Павлодарской и Карагандинской областях, производился по относительно равномерной сети. При таком подходе не всегда удавалось зафиксировать количественные значения удельной активности радионуклидов в почвенных образцах. Поэтому в дальнейшем, для получения большего объема количественных данных, на территории Восточно-Казахстанской области площадки отбора послойных проб почвы закладывались преимущественно на участках следов радиоактивных выпадений от ядерных испытаний. На основании результатов изучения распределения площадной активности радионуклидов в почвенном покрове были выделены участки, расположенные в областях условно повышенных значений (территории следов радиоактивных выпадений от ядерных испытаний) и на условно «фоновой» территории (исследуемая территория за исключением испытательных площадок и следов радиоактивных выпадений).

Для определения удельной активности радионуклидов ²⁴¹Am, ¹³⁷Cs, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, ⁹⁰Sr в почвенных образцах проводились γ-спектрометрические и радиохимические анализы в соответствии со стандартизованными методическими указаниями на поверенном оборудовании [59, 60].

Средние значения и диапазоны удельной активности радионуклидов в слоях почвы до 30 см, полученные в точках послойного отбора проб почвы, расположенных в областях условно повышенных значений и на условно «фоновой» территории, приведены в таблице (Таблица 2.6).

Таблица 2.6. Удельная активность радионуклидов на обследуемой территории в слоях почвы до 30 см

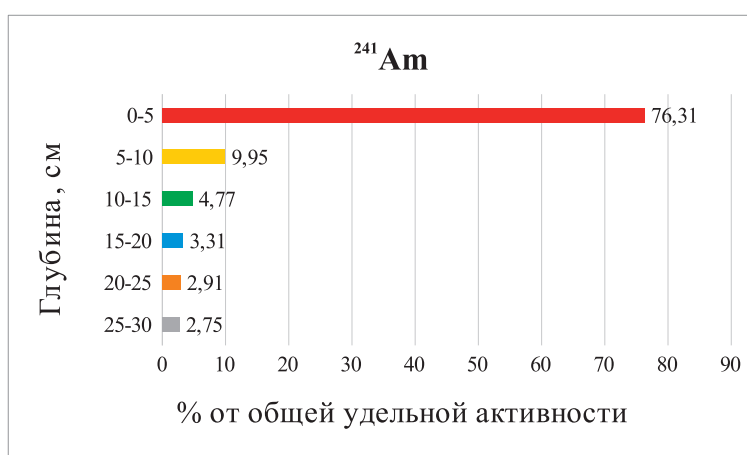
Глубина, см	Удельная активность, Бк/кг			
	²⁴¹ Am	¹³⁷ Cs	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	⁹⁰ Sr
Область повышенных значений (n=79)				
0-5	$\frac{32 \pm 7}{2 - 81}$	$\frac{124 \pm 33}{5 - 610}$	$\frac{549 \pm 196}{12 - 3600}$	$\frac{46 \pm 14}{3 - 230}$
5-10	$\frac{2 \pm 0,5}{0,3 - 8}$	$\frac{10 \pm 3}{0,7 - 63}$	$\frac{25 \pm 9}{0,4 - 160}$	$\frac{18 \pm 8}{1 - 147}$
10-15	$\frac{1 \pm 0,4}{0,1 - 8}$	$\frac{2 \pm 0,8}{0,2 - 32}$	$\frac{11 \pm 6}{0,2 - 110}$	$\frac{8 \pm 4}{1 - 72}$
15-20	$\frac{0,7 \pm 0,1}{0,1 - 3}$	$\frac{1 \pm 0,3}{0,1 - 8}$	$\frac{3 \pm 2}{0,1 - 40}$	$\frac{10 \pm 4}{0,8 - 64}$
20-25	$\frac{0,7 \pm 0,08}{0,1 - 2}$	$\frac{0,9 \pm 0,3}{0,1 - 11}$	$\frac{2 \pm 1,7}{0,1 - 25}$	$\frac{13 \pm 8}{1 - 148}$
25-30	$\frac{0,75 \pm 0,1}{0,1 - 2}$	$\frac{0,51 \pm 0,1}{0,1 - 2}$	$\frac{7 \pm 5}{0,1 - 69}$	$\frac{8 \pm 4}{1 - 64}$
Условно «фоновые» территории (n=90)				
0-5	$\frac{4 \pm 1}{0,3 - 48}$	$\frac{20 \pm 4}{3 - 210}$	$\frac{108 \pm 54}{0,2 - 750}$	$\frac{9 \pm 3}{0,7 - 90}$
5-10	$\frac{1 \pm 0,2}{0,1 - 6}$	$\frac{4 \pm 1}{0,3 - 35}$	$\frac{15 \pm 5}{0,2 - 64}$	$\frac{5 \pm 2}{0,1 - 29}$
10-15	$\frac{0,9 \pm 0,1}{0,1 - 3}$	$\frac{1 \pm 0,3}{0,2 - 5}$	$\frac{8 \pm 3}{0,1 - 49}$	$\frac{4 \pm 0,9}{0,2 - 11}$
15-20	$\frac{0,4 \pm 0,05}{0,1 - 0,9}$	$\frac{0,6 \pm 0,2}{0,1 - 2}$	$\frac{3 \pm 1}{0,1 - 21}$	$\frac{3 \pm 1}{0,1 - 22}$
20-25	$\frac{0,4 \pm 0,05}{0,1 - 0,7}$	$\frac{0,7 \pm 0,2}{0,1 - 3}$	$\frac{0,9 \pm 0,3}{0,1 - 6}$	$\frac{4 \pm 1}{0,1 - 18}$
25-30	$\frac{0,4 \pm 0,07}{0,1 - 1}$	$\frac{0,4 \pm 0,05}{0,1 - 1}$	$\frac{3 \pm 2}{0,1 - 47}$	$\frac{2 \pm 0,5}{0,8 - 7}$
В числителе – среднее арифметическое, ошибка среднего арифметического. В знаменателе минимальная и максимальная удельная активность				

На основании полученных данных, установлено что диапазон значений удельной активности в почве на обследуемой территории для радионуклидов ²³⁹⁺²⁴⁰Pu и ⁹⁰Sr в среднем составляют два порядка, для радионуклида ²⁴¹Am – один порядок. Диапазоны зна-

чений удельной активности ^{137}Cs в областях повышенных значений составляют два порядка, на условно «фоновой» территории – один порядок. Наиболее высокая удельная активность в почве в областях повышенных значений и на условно «фоновой» территории отмечена для $^{239+240}\text{Pu}$ (3600 и 750 Бк/кг) и ^{137}Cs (610 и 210 Бк/кг), меньшие концентрации характерны для ^{90}Sr (230 и 90 Бк/кг), содержание ^{241}Am – минимально и не превышает 81 и 48 Бк/кг соответственно. При этом максимальные значения удельной активности радионуклидов характерны для территорий следов радиоактивных выпадений от ядерных испытаний и отмечены в слое почвы до 5 см.

Для определения процентного содержания радионуклидов в каждом почвенном слое рассчитана суммарная удельная активность по всей глубине почвенного профиля. Средняя суммарная удельная активность по всей глубине почвенного профиля для $^{239+240}\text{Pu}$, ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{241}Am составила: на территории условно повышенных значений – 627 Бк/кг, 145 Бк/кг, 109 Бк/кг, и 39 Бк/кг; на условно «фоновой» территории – 121 Бк/кг, 34 Бк/кг, 33 Бк/кг, 9 Бк/кг соответственно.

По полученным данным построены гистограммы распределения ^{241}Am , ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{90}Sr по глубине почвенного профиля на обследуемой территории (Рисунок 2.9).



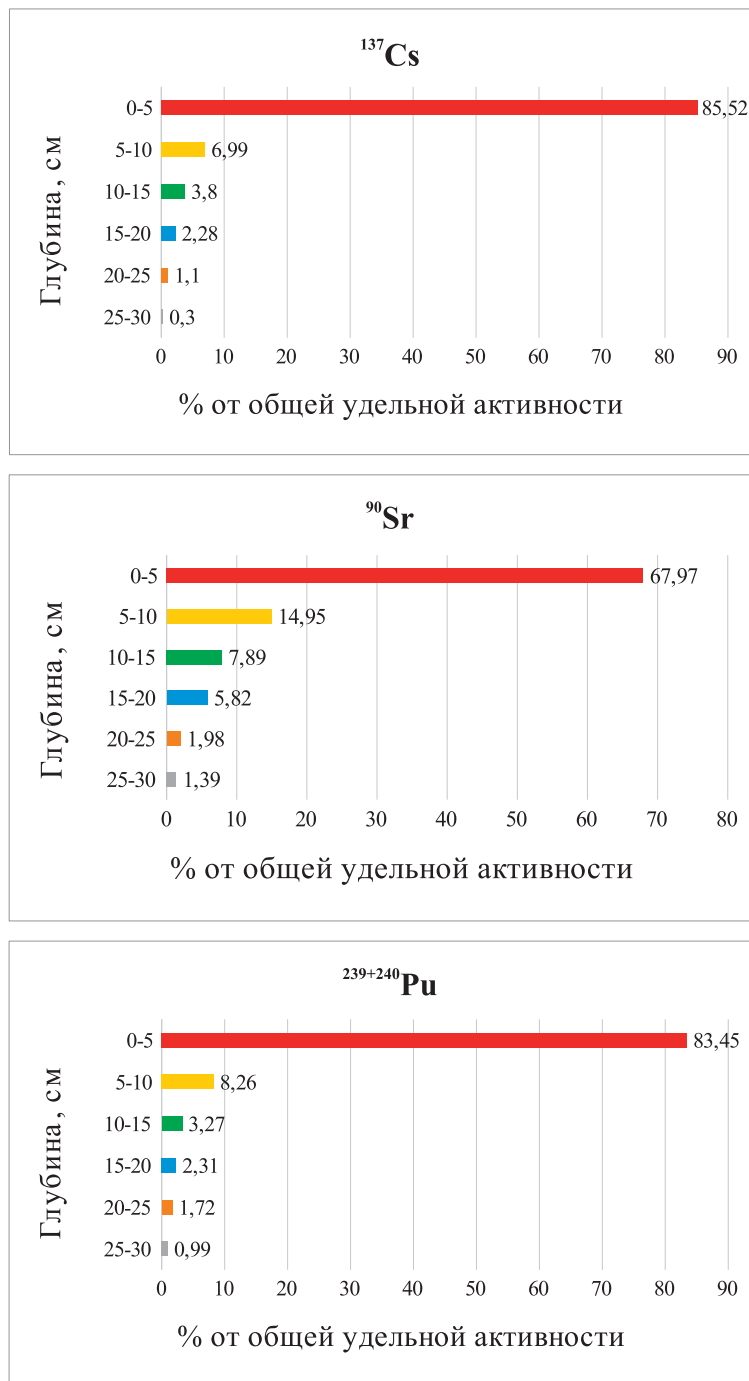


Рисунок 2.9. Распределение радионуклидов по глубине почвенного профиля

Как видно из гистограмм, максимальные значения удельной активности на всей обследуемой территории отмечены в слое 0-5 см и составляют для ^{241}Am – 76 %, ^{137}Cs – 86 %, $^{239+240}\text{Pu}$ – 84 % и ^{90}Sr – 68 %. Содержание радионуклидов в пахотном слое почвы 0-20 см, в котором сосредоточена основная часть корней культурных растений, составляет для ^{241}Am – 94 %, ^{137}Cs – 99 %, $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{90}Sr – 97 %. Минимальная концентрация радионуклидов наблюдается на глубине 20-30 см и составляет для ^{241}Am – 6 %, для ^{137}Cs – 1 %, для $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{90}Sr – 3 %.

Дополнительные исследования вертикального распределения радионуклидов в почвенном профиле

Кроме общего представления о степени заглубленности радионуклидов в почвах СИП, полученные данные можно использовать для расчета поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию растительного происхождения.

В случае заселения полигона, естественно, его безопасной части, необходимо убедиться, что она не представляет опасности для человека, и доза облучения, которую может получить человек, проживая на нем, не превышает нормативных значений. При этом, одним из компонентов, дающих вклад в дозу облучения, являются продукты питания, в том числе и растениеводческая продукция, выращенная на полигоне.

Но, так как на территории СИП в настоящее время растениеводческая продукция не производится, в виду того, что на нем никто не живет, то оценка содержания радионуклидов в растениеводческой продукции, которая может быть выращена на полигоне, выполнена расчетным методом. Данный метод основан на использовании коэффициентов накопления радионуклидов растениями. Поскольку в мировой практике коэффициенты накопле-

ния, используемые для оценки радиоактивного загрязнения растений, рассчитываются для почвенного слоя 0-20 см [60], то были использованы данные о содержании радионуклидов на глубину почвенного слоя не менее чем 20 см.

Полученные значения удельной активности радионуклида в слоях почвы до 20 см в 169 точках послойного отбора проб почвы позволяют получить для каждого радионуклида достаточно надежный коэффициент, определяющий отношение активности радионуклида в слое почвенного покрова 0-20 см, к удельной активности радионуклида в верхнем почвенном слое 0-5 см. В свою очередь, данный коэффициент позволяет производить пересчет удельной активности радионуклидов с глубины 0-5 см, полученной в ходе определения площадного распределения радионуклидов на глубину 0-20 см, необходимую для дальнейшей оценки возможного содержания радионуклидов в растениеводческой продукции.

Значения коэффициента $K_{n,0-20}$ рассчитывались по формуле:

$$K_{n,0-20} = \frac{A_{m,i,0-20}}{A_{m,i,0-5}},$$

где:

$K_{n,0-20}$ – коэффициент, определяющий отношение удельной активности радионуклида в слое почвенного покрова 0-20 см к удельной активности радионуклида в верхнем слое почвенного покрова 0-5 см;

$A_{m,i,0-20}$ – удельная активность радионуклида в слое почвенного покрова 0-5 см, Бк/кг;

$A_{m,i,0-5}$ – удельная активность радионуклида в слое почвенного покрова 0-20 см, Бк/кг.

Средние значения и диапазоны коэффициента $K_{n,0-20}$ в 169 точках послойного отбора проб почвы приведены в таблице (Таблица 2.7).

Таблица 2.7. Значения коэффициента, определяющего отношение активности радионуклида в слое почвенного покрова до 20 см к удельной активности радионуклида в верхнем слое почвенного покрова

	$K_{n,0-20}$			
	^{241}Am	^{137}Cs	$^{239+240}\text{Pu}$	^{90}Sr
Максимум	2,8	1,8	1,7	1,4
Минимум	0,1	0,2	0,2	0,2
Среднее арифметическое	0,3	0,3	0,3	0,4

Удельная активность радионуклидов в слое почвенного покрова 0-20 см определялась на основании данных площадного отбора (раздел 2.2.1) и средних значений коэффициентов $K_{n,0-20}$, которые составили для ^{241}Am – 0,6, для ^{137}Cs – 0,9, для $^{239+240}\text{Pu}$ – 0,7, для ^{90}Sr – 0,9, по формуле:

$$A_{m,i,0-20} = K_{n,0-20} \times A_{m,i,0-5}$$

где:

$A_{m,i,0-20}$ – удельная активность радионуклида в слое почвенного покрова до 20 см, Бк/кг;

$K_{n,0-20}$ – коэффициент, определяющий отношение активности радионуклида в слое почвенного покрова 0-20 см к удельной активности радионуклида в слое почвенного покрова 0-5 см;

$A_{m,i,0-5}$ – удельная активность радионуклида в верхнем слое почвенного покрова 0-5 см, Бк/кг.

Максимальные, минимальные и средние значения удельной активности радионуклидов в слое почвы 0-20 см в каждой точке обследования площадного распределения радионуклидов представлены в таблице (Таблица 2.8).

Таблица 2.8. Удельная активность радионуклидов в слое почвы 0-20 см, Бк/кг (на основании данных для каждой точки сети площадного обследования – более 20000 точек)

	Удельная активность радионуклидов в слое почвы 0-20 см, Бк/кг			
	^{241}Am	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$
Максимум	$5,0 \times 10^4$	$4,0 \times 10^4$	$3,1 \times 10^4$	$4,3 \times 10^5$
Минимум	0,01	0,01	0,01	0,08
Среднее арифметическое	25	74	342	$1,1 \times 10^3$

Выводы

Таким образом, проведенные исследования распределения радионуклидов по глубине почвенного покрова на территориях СИП позволили определить характер распределения радионуклидов в почве этих территорий и рассчитать коэффициенты, определяющие отношение удельной активности радионуклида в слое почвенного покрова 0-20 см к удельной активности радионуклида в верхнем слое почвенного покрова 0-5 см. Полученные коэффициенты позволили рассчитать удельную активность радионуклидов в слое почвенного покрова до 20 см в каждой точке обследования площадного распределения радионуклидов. Эти данные применялись далее при расчете содержания радионуклидов в растениеводческой продукции, в случае ее выращивания на полигоне, результаты которого использованы при оценке доз внутреннего облучения населения от поступления радионуклидов с продуктами питания, произведенными на обследуемой территории.

2.5 Исследование форм нахождения искусственных радионуклидов в почвах

В рамках исследования характера радиоактивного загрязнения почвенного покрова территории СИП дополнительно проведены исследования форм нахождения искусственных радионуклидов в почвах. Под формами нахождения элемента понимают распределение элемента между его химическими формами в системе. Результаты исследования форм нахождения ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am в почвах СИП позволяют оценивать их подвижность и биологическую доступность.

Исследование форм нахождения данных радионуклидов в почвах проводилось с использованием модифицированной схемы последовательного экстрагирования, предложенной Павлоцкой Ф.И. Данная схема предусматривала определение обменной и необменных (кислоторастворимой и прочносвязанной) форм

радионуклидов в почве [62, 63]. Схема была модифицирована добавлением промежуточной стадии определения органически связанных радионуклидов раствором 0,1 NaOH на основе методики, разработанной Тюриным И.В. [64].

Таблица 2.9. Схема последовательного экстрагирования

Форма	Экстрагент	Группа соединений
Водорастворимая + Обменная форма (легкодоступная форма)	1М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (pH=6,8)	Водорастворимые соли неорганических кислот и органические соединения (соли, комплексы), несвязанные фульваты элемента, соединения, сорбированные почвой по механизму ионного обмена, в карбонатных почвах частично карбонаты
Органическая форма (потенциальный резерв)	0.1Н NaOH	Связанные с органической частью (фракции гуминовых кислот и фульвокислот), свободной или непрочно связанной с минеральной частью почвы
Кислоторастворимая форма (потенциальный резерв)	1М HCl	Карбонаты, непрочно сорбированные соединения элемента окислами железа и алюминия, глинистыми минералами, фульваты, труднообменные ионы, свежесаженные гидроксиды
Прочносвязанная форма (остаточная, недоступная форма)	-	В составе полуторных оксидов железа и алюминия, ионы, связанные прочно (необменно) органическим веществом почвы, адсорбированные по типу изоморфного замещения в кристаллических решетках

Методология отбора проб почвы предусматривала исследование участков с повышенными концентрациями исследуемых радионуклидов в почвах (следы выпадений от наземных испытаний) и зон с фоновыми уровнями концентраций.

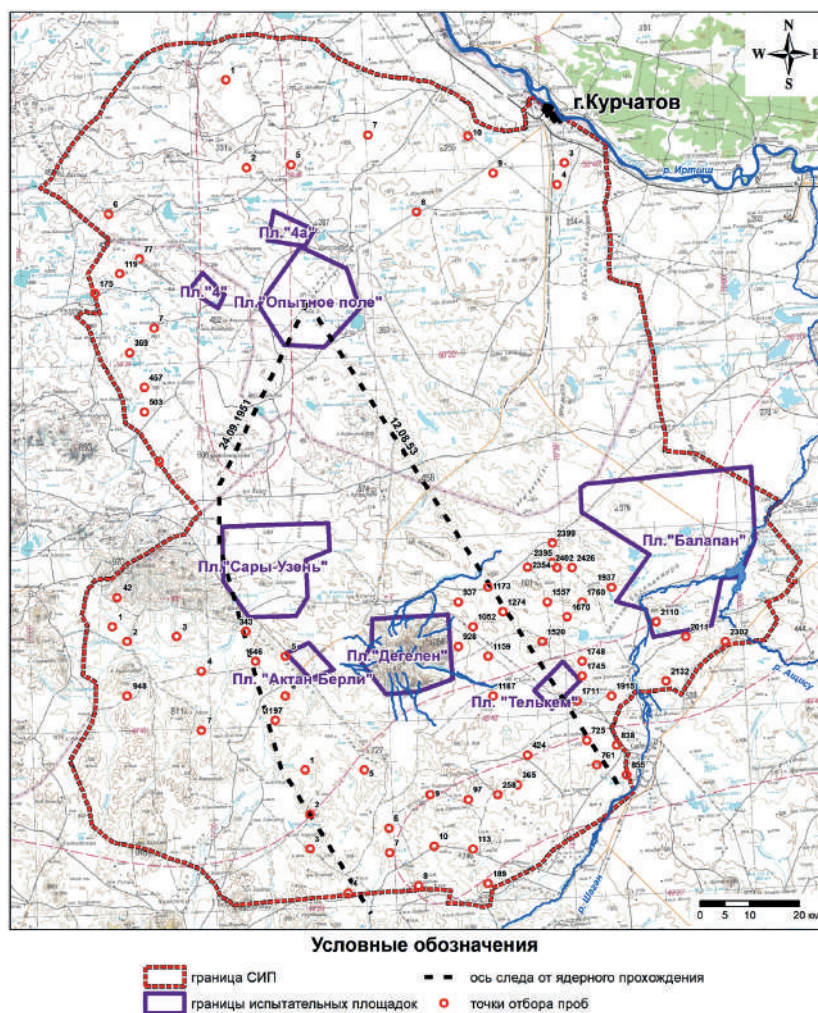


Рисунок 2.10. Схема расположения точек отбора проб почвы для исследования форм нахождения радионуклидов в почвах

В почвах СИП, как за пределами, так и на территории испытательных площадок, радионуклид ^{137}Cs характеризуется низкой подвижностью. За пределами площадок на участках с повышенными концентрациями радионуклидов в почвах (следы выпадений от наземных испытаний) и в зонах с фоновыми уровнями концентраций радионуклидов, содержание ^{137}Cs в прочносвязанной форме, в среднем, составляет 96 %.

Радионуклид $^{239+240}\text{Pu}$, аналогично ^{137}Cs , характеризуется низкой подвижностью, основная доля $^{239+240}\text{Pu}$ в почвах всех исследованных объектов СИП определена в прочносвязанной форме. И на участках с повышенными концентрациями радионуклидов в почвах (следы выпадений от наземных испытаний), и в зонах с фоновыми уровнями концентраций радионуклидов доля прочносвязанной формы $^{239+240}\text{Pu}$ составляет, в среднем, 99 %. Данные о формах нахождения трансуранового радионуклида ^{241}Am в почвах за пределами испытательных площадок получить не удалось в связи с его низкой удельной активностью.

Радионуклид ^{90}Sr – наиболее подвижный из всех рассматриваемых радионуклидов. По данным распределения ^{90}Sr обнаруживается различие в характере радионуклидного загрязнения почвенного покрова территории СИП за пределами испытательных площадок. Так, на территориях, не подверженных влиянию выпадений от наземных испытаний (северная и западная части СИП), его подвижность наиболее высока. Не менее 60 % (северная территория) и 40% (западная территория) от суммарного содержания всех форм ^{90}Sr приходится на долю обменной формы, доля прочносвязанной формы составляет не более 23 % и 33 %, соответственно. На территорию юго-восточной, южной и в меньшей степени, юго-западной части СИП определенное влияние оказало прохождение следов выпадений от наземных испытаний. На юго-восточной территории среднее содержание обменной формы радионуклида ^{90}Sr снижается до 31 %. Прочносвязанная форма составляет менее 46 %. На южной территории влияние следа более выражено: доля обменной формы здесь минимальна – 15 %, а доля прочносвязанной формы максимальная для рассматриваемых зон и достигает в среднем 74 % от суммарного содержания всех форм. Отмечается максимальная вариабельность данных содержания форм нахождения ра-

дионуклидов, что обусловлено неоднородностью характера радионуклидного загрязнения почв.

Непосредственно в зоне следов выпадений поведение ^{90}Sr принципиально отличается [65]. Доминирующей становится прочносвязанная форма, содержание которой достигает 98 % на юго-восточной территории и 89 % – на южной территории. Среднее значение доли обменной формы ^{90}Sr в зоне следа на юго-восточной территории уменьшается на порядок относительно территории, расположенной за границей зоны следа, а на южной части СИП – более чем в 3 раза. По характеру распределения форм нахождения радионуклидов зоны следов выпадений от наземных испытаний схожи с площадкой «Опытное поле».

Изучение характера распределения форм нахождения радионуклидов вдоль направления следов выпадений выявили изменение форм нахождения радионуклида ^{90}Sr на участке следа выпадений от термоядерного испытания 12.08.1953 года по мере удаления от эпицентра испытания (Рисунок 2.11).

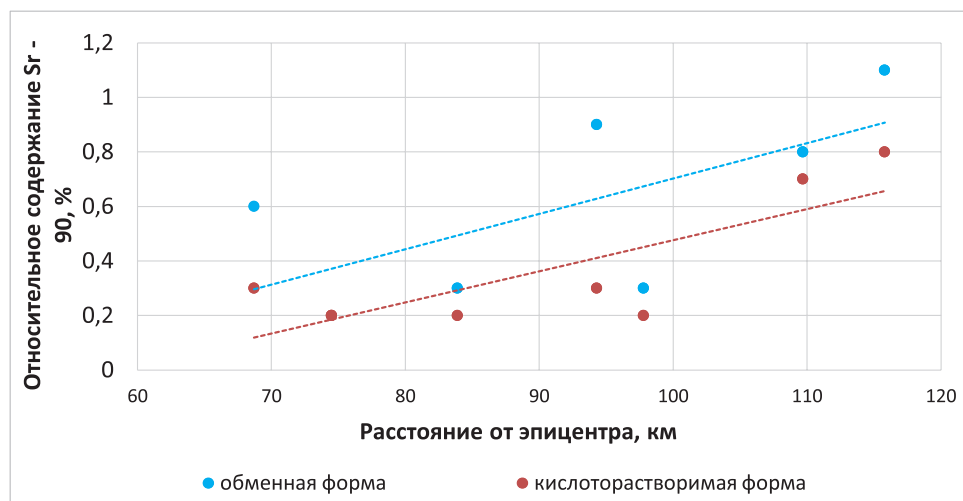


Рисунок 2.11. Изменение форм нахождения ^{90}Sr в почве на участке вдоль оси следа выпадений от наземного испытания 12.08.1953 года на юго-восточной территории СИП

На участке следа (70-120 км от эпицентра) от термоядерного взрыва с увеличением расстояния определено повышение доли обменной и кислоторастворимой форм ^{90}Sr в почве. Данная закономерность обусловлена процессами фракционирования радионуклидов и механизмами образования радиоактивных частиц при атмосферных взрывах [66, 67]. Выявленная закономерность согласуется с результатами исследований, выявивших увеличение параметров накопления радионуклидов зональными растениями вдоль оси данного следа по мере удаления от эпицентра испытания [68].

Выводы

Таким образом, на территории СИП (за пределами испытательных площадок) основное содержание радионуклидов ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$ находится в прочносвязанной форме. Распределение форм нахождения радионуклида ^{90}Sr на территориях, не подвергшихся влиянию выпадений от наземных взрывов, соответствует классическому, т.е. основная доля радионуклида находится в составе обменной и кислоторастворимой формы. На территориях, подвергшихся влиянию выпадений от наземных взрывов, и непосредственно в зоне следов выпадений характер распределения соответствует распределению, характерному для площадки «Опытное поле», т.е. основное содержание ^{90}Sr сосредоточено в прочносвязанной форме. Выявленные закономерности распределения форм нахождения радионуклидов в почвах исследованной части фоновой территории СИП с большой долей вероятности могут быть распространены для остальной необследованной фоновой территории СИП, независимо от типа почв, поскольку главное влияние на распределение форм нахождения радионуклидов оказывает происхождение радиоактивного загрязнения.

2.6 Радиационное состояние водной среды

Для удобного восприятия представленного материала информация о радиационном состоянии водной среды полигона разбита на две части: поверхностные воды и подземные воды СИП.

Очевидно, что в случае передачи части земель полигона в хозяйственное использование в первую очередь будут востребованы поверхностные источники воды, но, так как число таких источников ограничено, особое внимание необходимо уделить подземным водам, которые будут добываться из колодцев и скважин, о чем свидетельствуют многочисленные остатки подобных сооружений, функционировавших до создания ядерного полигона.

Поверхностные воды

Территория полигона относится к зоне недостаточного увлажнения с относительно малым количеством атмосферных осадков и совершенно бедной поверхностными водами. Гидрографическая сеть поверхностных вод представлена небольшим количеством рек, озер и мелких безымянных ручьев, имеющих временные водотоки, связанные с весенними паводками и периодами обильного выпадения дождей.

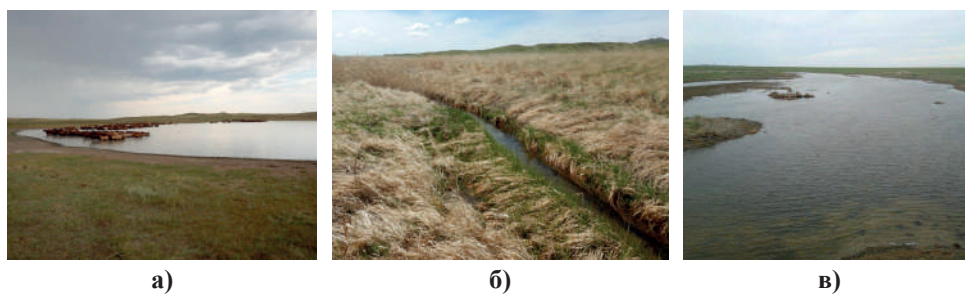


Рисунок 2.12. Виды поверхностных вод на территории СИП:
а) Озеро без названия б) Ручей в) Река Шаган

Ручьи обследуемой территории имеют поверхностный водоток только в период весеннего паводка, их русла имеют протяженность до 18-20 км. Сток формируется и пополняется за счет зимних атмосферных осадков в период снеготаяния. Летние до-

жди в этом почти не участвуют, так как большая их часть расходуется на испарение. На весеннее половодье приходится до 95 % годового стока, на летне-весеннюю межень около 5 %. В период летней межени в низовьях ручьев наблюдаются значительные потери поверхностных вод на питание водоносных горизонтов, происходит затухание их деятельности и даже полное прекращение поверхностного стока [69, 70, 71, 72, 73, 74].

Озера представляют собой неглубокие блюдцеобразные впадины, имеют неглубокие котловины с невысокими берегами и относятся к малым, площадью до 10 км². Их глубина обычно не превышает 0,7 м. Питание происходит за счет атмосферных осадков и стока талых снеговых вод с небольших местных бассейнов. Доля грунтового стока в питании, как правило, мала, а иногда совершенно отсутствует. В засушливое время большинство озер высыхает, образуя засоленные или травянистые понижения, а в более крупных из них вода сохраняется в течение всего года, но и они иногда высыхают после ряда маловодных лет [69, 70, 71, 72, 73, 74].

На территории СИП имеется несколько рек: река Шаган с притоком Ащису, а также более мелкие реки Карасу и Сарыюзен. Протяженность данных рек на территории полигона составляет 11-64 км. По руслам рек непрерывный сток сохраняется только весной и лишь в годы со значительными запасами снега. В остальное время года вода в них сохраняется лишь в отдельных плесах. Подземное питание рек в летне-осенний период отсутствует или очень незначительно [69, 70, 71, 72, 73, 74].

В качестве объектов исследования поверхностных вод выделены озера, ручьи и реки, расположенные, как на удаленном расстоянии от испытательных площадок, так и вблизи их границ. В обследование включены участки реки Шаган за пределами площадки «Балапан» и ручьи, берущие начало на территории площадки «Дегелен», и вытекающие за ее границы: Узынбулак, Карабулак, Байтлес, Токтакушык, Актыбай.

Места расположения водных объектов определялись путем дешифрирования космоснимков, выполненных с высоким разре-

шением, а также с использованием гидрологических карт местности. Далее проводились полевые выезды, сопровождающиеся отбором проб воды.

В ходе многолетнего обследования поверхностных вод осуществлен отбор проб воды из 130 водных объектов.

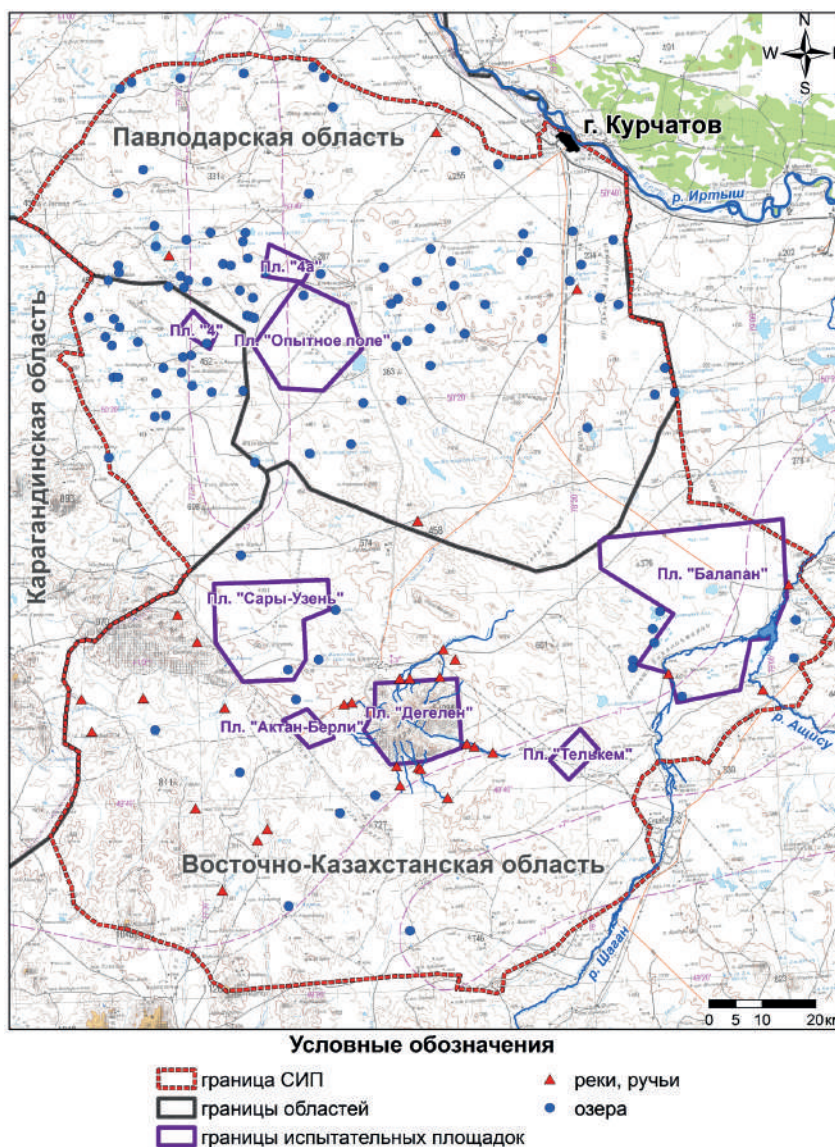


Рисунок 2.13. Участки отбора проб воды



Рисунок 2.14. Отбор образцов поверхностных вод

Основную трудность в исследовании поверхностных вод представляет тот факт, что большая часть выбранных объектов – это сезонные пересыхающие соленые озера и временные водотоки пересыхающих рек.

Это влечет за собой неоднозначность в интерпретации результатов. Так, в регулярно пересыхающих водных объектах источником воды являются паводковые воды в весенний период и дождевые воды в летний и осенний период, которые изначально не содержат искусственные радионуклиды. Другими словами, измеряя содержание радионуклидов в сезонных водных объектах, определяется заведомо «нулевая» радиоактивность воды, так как она никак не связана с последствиями ядерных испытаний. Процессом перераспределения радионуклидов в системе донные отложения-вода-донные отложения можно пренебречь, ввиду высокой сорбционной емкости последних.

Тем не менее, по полученным результатам в 115 из обследованных образцов поверхностных вод, отобранных на удалении от площадок «Балапан» и «Дегелен», удельная активность ^3H , ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ находится ниже значений минималь-

ной детектируемой активности и не превышает уровень вмешательства согласно Гигиеническим нормативам «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» [48].

Таблица 2.10. Результаты лабораторных анализов исследования поверхностных вод

Радионуклид	^3H	^{241}Am	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$
Удельная активность, Бк/кг	В районе площадки «Дегелен»				
	3400-88700 (w-3,8 %)	<0,09 (w-3,8 %)	<0,2 (w-3,8 %)	<0,8 (w-1,5 %)	<0,05 (w-3,8 %)
				4-20 (w-2,3 %)	
	В районе площадки «Балапан»				
	<8 (w-5,4 %)	<0,09 (w-7,7 %)	<0,2 (w-7,7 %)	<0,8 (w-6,1 %)	<0,05 (w-7,7 %)
	до 30 (w-0,8 %)			0,89 (w-0,8 %)	
	14000-250000 (w-1,5 %)			20 (w-0,8 %)	
Объекты в отдалении площадок «Дегелен» и «Балапан»					
	<8 (w-88,5 %)	<0,09 (w-88,5 %)	<0,2 (w-88,5 %)	<0,8 (w-88,5 %)	<0,05 (w-88,5 %)
Уровень вмешательства, Бк/кг	7600	0,69	11	4,9	0,55
Примечание: «w» – частота встречаемости удельной активности радионуклида в воде %					

Ручьи Узынбулак, Карабулак, Байтлес, Токтакушык и Актыбай, расположенные в районе площадки «Дегелен», имеют высокие уровни содержания радионуклидов. Основным загрязняющим радионуклидом является ^3H . Удельная активность ^3H в воде ручьев превышает уровень вмешательства в 3 и более раз. Уровень его содержания в водах ручья Байтлес достигает 66 000 Бк/кг.

Максимальное значение удельной активности ^3H в водах ручья Узынбулак составляет 35 000 Бк/кг, в водах ручья Токтакушык – 88 700 Бк/кг. Концентрация ^3H в воде этих ручьев находится практически на одном уровне на всем протяжении их русел. Для ручьев Карабулак и Актыбай характерно снижение концентрации ^3H по мере удаления от границ площадки «Дегелен» до конечного стока: от 33 500 Бк/кг до 10 800 Бк/кг у ручья Актыбай и от 32 400 Бк/кг до 3 400 Бк/кг у ручья Карабулак. Повышенное содержание ^{90}Sr зафиксировано в ручье Карабулак в диапазоне от 10 до 20 Бк/кг на участках выхода с территории площадки «Дегелен». Также численные значения по содержанию ^{90}Sr наблюдаются в водах ручья Байтлес. Удельная активность радионуклида в данном случае составляет 4 Бк/кг и близка к значению уровня вмешательства (4,9 Бк/кг). В водах ручья Токтакушык содержание ^{90}Sr составляет 15 Бк/кг, что в 3 раза выше уровня вмешательства. Концентрации радионуклидов ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в водах ручьев находятся ниже предела обнаружения и не превышают значения уровня вмешательства (11 Бк/кг, 0,55 Бк/кг и 0,69 Бк/кг соответственно).

В районе площадки «Балапан» искусственные радионуклиды ^3H , ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ в основном содержатся в количествах ниже предела обнаружения и не превышают нормативные значения для питьевой воды. В воде озера Шункурсор выявлены содержания ^3H до 30 Бк/кг. Однако данная удельная активность также не превышает допустимый уровень вмешательства. Высокие содержания радионуклидов зафиксированы в двух объектах – озере Кишкенсор и реке Шаган. Для вод озера Кишкенсор наблюдается загрязнение радионуклидами ^3H и ^{90}Sr . Содержание в воде ^3H на отдельных участках достигает 250 000 Бк/кг, ^{90}Sr – до 20 Бк/кг. Удельная активность остальных радионуклидов – ниже предела обнаружения.

В реке Шаган, до впадения в «Атомное озеро», численные значения радионуклидов не зафиксированы. Содержание радиону-

клидов на данном участке реки находится ниже предела обнаружения и не превышает допустимые нормативы. Однако, после выхода с территории площадки «Балапан» повышается уровень удельной активности ^3H и ^{90}Sr . Содержание ^3H составляет 14 000 Бк/кг, что выше уровня вмешательства (7 600 Бк/кг) в 1,8 раз. Содержание ^{90}Sr находится на уровне 0,89 Бк/кг (ниже уровня вмешательства в 5,5 раз). Концентрации ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am находятся ниже пределов обнаружения.

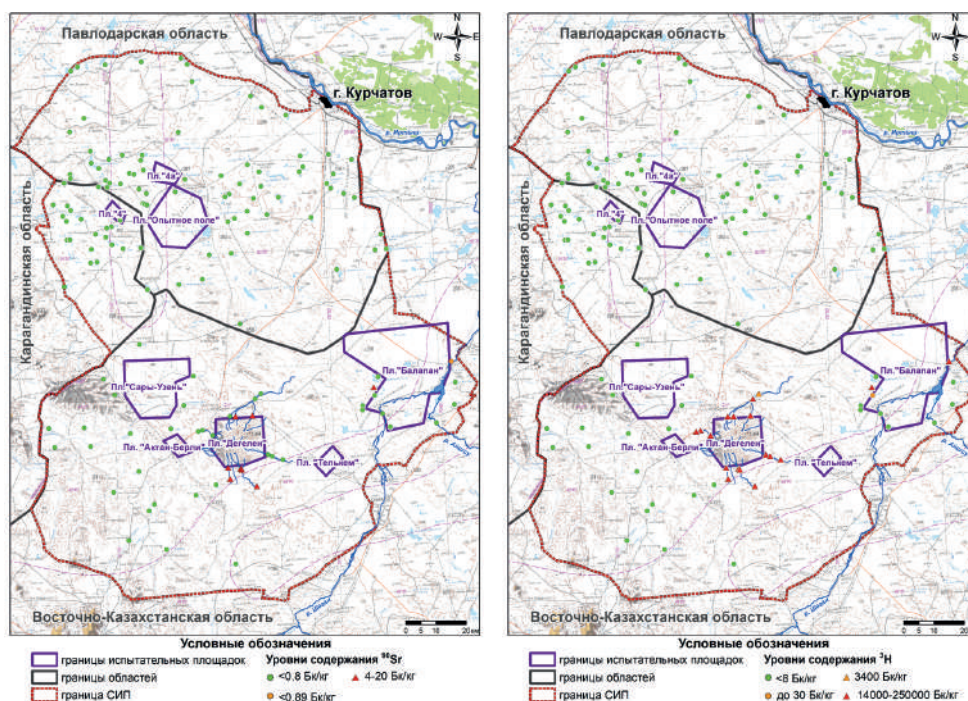


Рисунок 2.15. Участки с наличием ^3H и ^{90}Sr в поверхностных водах

Выводы

Таким образом, воды ручьев Карабулак, Узынбулак, Байтлес, Актыбай, Токтакушык, озера Кишкенсор, а также участок реки Шаган после выхода с территории площадки «Балапан» могут представлять радиационную опасность.

Во всех остальных обследованных поверхностных водах (озера, ручьи, участок реки Шаган до впадения в «Атомное озеро»)

содержание искусственных радионуклидов не превышает значений уровня вмешательства. Большинство из этих объектов располагается на удалении от мест проведения испытаний и источников вторичного загрязнения (поверхностные воды с высоким уровнем содержания радионуклидов). Также отсутствует вероятность поступления радионуклидов с подземными водами. Таким образом, в дальнейшем присутствие искусственных радионуклидов в водах этих озер, ручьев и рек, в количествах, превышающих нормативные, не ожидается. С точки зрения радиационной составляющей данные объекты опасности не представляют.

Подземные воды

Подземные воды на полигоне представлены в виде грунтовых и трещинных вод (Рисунок 2.16).

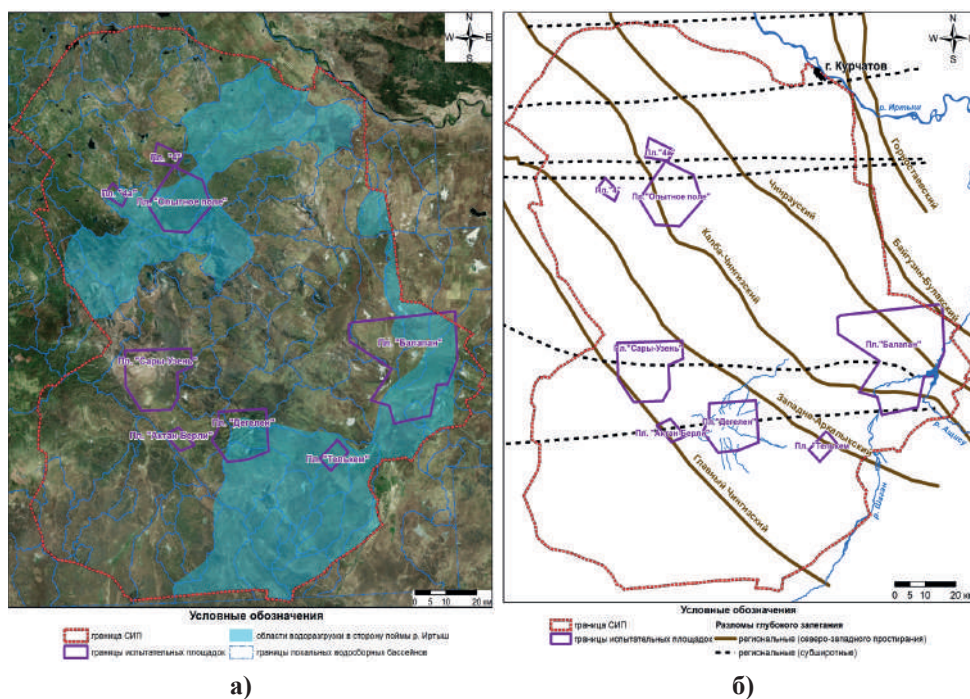


Рисунок 2.16. Подземные воды СИП: а) водосборные участки и направление движения грунтовых вод, б) региональные разломы трещинных вод

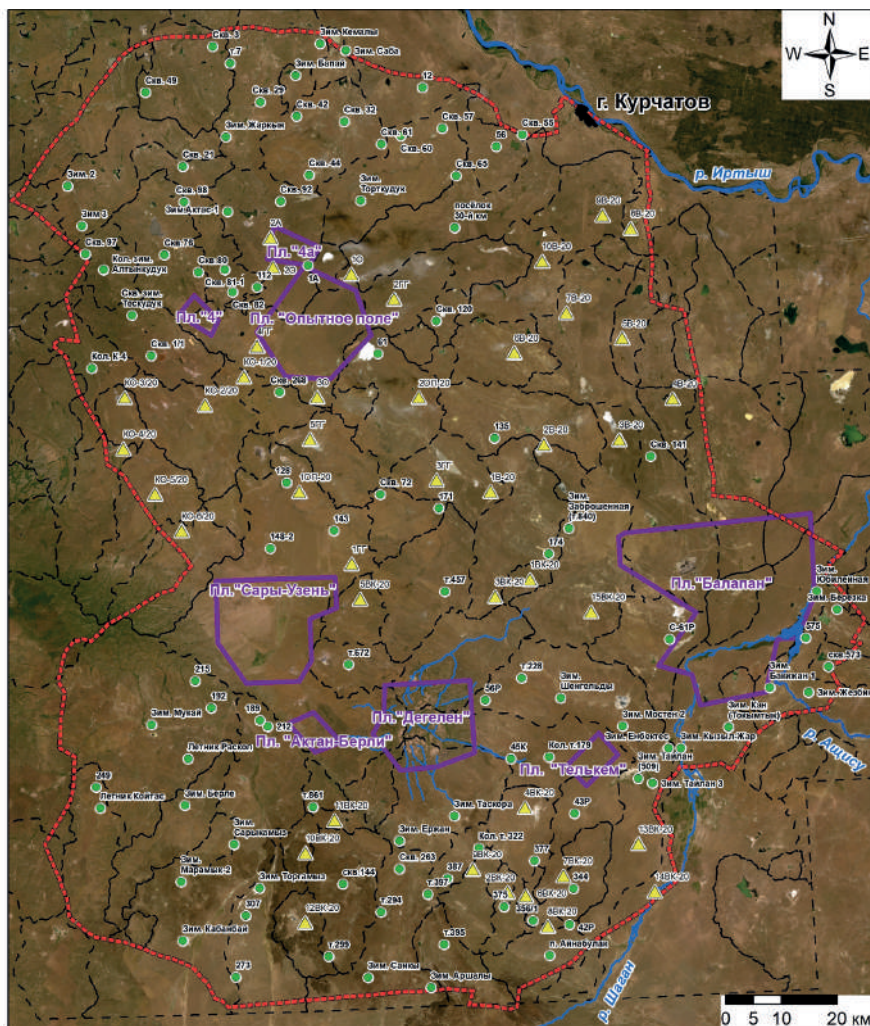
Грунтовые воды циркулируют в рыхлых четвертичных отложениях и располагаются на различных водоупорных подошвах, представленных глинами и корой выветривания. Мощность горизонта грунтовых вод составляет 2,5–50 м. В зависимости от геолого-структурных особенностей территории СИП, грунтовые воды локализованы в водосборных бассейнах. Согласно гидравлическому уклону территории, направление движения грунтовых вод имеет региональный характер к пойме реки Иртыш, т.е. северное, северо-восточное [75].

Трещинные воды распространены в зонах крупных тектонических нарушений – в коренных породах палеозойского фундамента, а также на приповерхностных участках экзогенных трещиноватостей. Направление движения вод соответствует направлению тектонических разломов северо-западного простирания. Глубина распространения регионально-трещинных вод составляет 40-100 м.

Исследование состояния подземных вод на территории СИП включало изучение радиоактивного загрязнения как трещинных вод зоны выветривания верхнепротерозойских-палеозойских отложений, так и грунтовых вод в рыхлых отложениях.

Для этого производился отбор проб грунтовых и трещинных вод в имеющихся гидрогеологических скважинах, созданных в 60-70-х годах, и во вновь пробуренных.

Изучение радиоактивного загрязнения грунтовых вод проводилось на всех сточных и бессточных водосборных участках СИП, которые состоят из многих локальных бассейнов в мелкосопочных местах. Для того, чтобы оценить радиационное состояние грунтовых вод, использовались 74 уже имеющихся водозаборных сооружения (скважины, колодцы), а также было пробурено 65 дополнительных разведочных шнековых скважин (Рисунок 2.17).



Условные обозначения






- | | |
|---|---|
|  граница СИП |  пробуренные скважины |
|  границы испытательных площадок |  существующие скважины |
|  граница локальных водосборных бассейнов | |

Рисунок 2.17. Участки исследования грунтовых вод

Обследование трещинных вод проводилось на крупных региональных разломах, таких как Калба-Чингизский, Западно-Аркалыкский, Чинрауский, а также на различных субширотных разломах. В связи с этим, согласно тектонической карте местности, в зонах разломов пробурено 25 скважин (Рисунок 2.18).

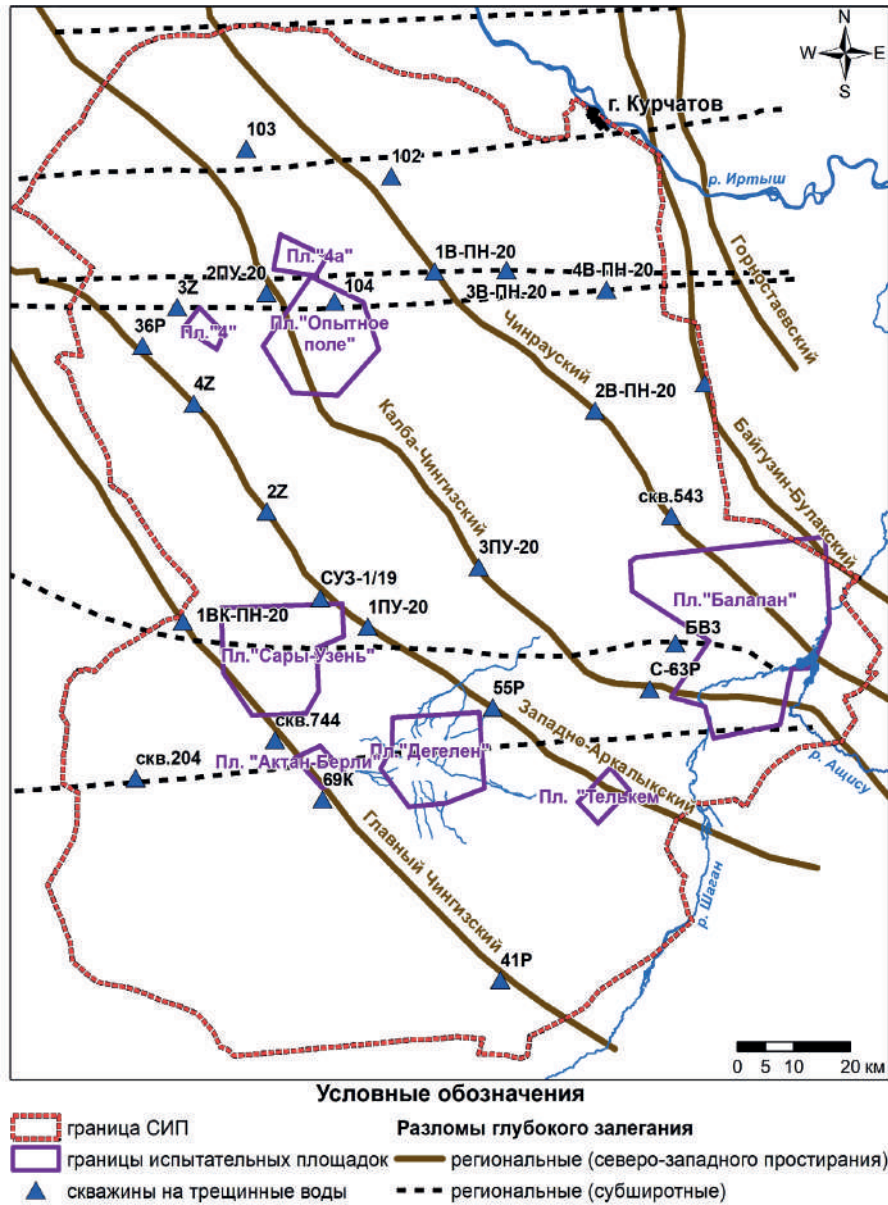


Рисунок 2.18. Участки исследования трещинных вод

Объем отбираемых проб составлял 10 л – для анализа ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am , и 20 мл – для анализа ^3H . С целью контроля качества результатов испытаний на некоторых участках отбирались 2-3 параллельные пробы (Рисунок 2.19).



Рисунок 2.19. Отбор образцов подземных вод

Таблица 2.11. Результаты лабораторных анализов исследования грунтовых вод

Радионуклид	^3H	^{241}Am	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$
Удельная активность, Бк/кг	<8 (w-92 %)	<0,02 (w-100 %)	<0,02 (w-100 %)	<0,02 (w-97 %)	<0,001 (w-100 %)
	<8-7000 (w-8 %)			<0,02-4,0 (w-3 %)	
Уровень вмешательства, Бк/кг [48]	7600	0,69	11	4,9	0,55
Примечание: «w» – частота встречаемости удельной активности радионуклида в воде %					

Согласно данным лабораторных анализов, значения удельной активности искусственных радионуклидов ^{241}Am , ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$ во всех 139 обследованных участках грунтовых вод находятся ниже пределов обнаружения используемого аппаратурно-методического обеспечения, которые составляют: для ^{137}Cs – 0,02 Бк/кг, для ^{241}Am – 0,02 Бк/кг, для $^{239+240}\text{Pu}$ – 0,001 Бк/кг (Таблица 2.11).

Удельная активность ^3H на 10 участках обследования изменяется в пределах от 10 до 7000 Бк/кг, что не превышает значения

уровня вмешательства по содержанию в питьевой воде согласно Гигиеническим нормативам «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» [48]. Содержание ^{90}Sr в грунтовых водах 4-х скважин находится в пределах значений 0,02-4,0 Бк/кг, что также не превышает значения уровня вмешательства.

Участки с наличием численных значений ^3H удельной активностью до 7000 Бк/кг и ^{90}Sr до 4,0 Бк/кг в грунтовых водах обнаружены в пределах водосборных бассейнов ручья Карабулак, низины озера Карасор, долины Узынбулак, урочища Коскудык и котловины озера Жингилды. Данные водосборные бассейны расположены в пределах горного массива Дегелен и находятся в зоне влияния загрязненных поверхностных водотоков.

Согласно данным лабораторных анализов, значения удельной активности искусственных радионуклидов ^{241}Am , ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$ во всех 25 обследованных участках трещинных вод находятся ниже пределов обнаружения используемого аппаратурно-методического обеспечения (Таблица 2.12). Удельная активность ^3H на 3 участках обследования изменяется в пределах от <8 до 5000 Бк/кг, что не превышает значения уровня вмешательства по содержанию в питьевой воде согласно Гигиеническим нормативам «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» [48]. Содержание ^{90}Sr в трещинных водах 3-х скважин, находится в пределах значений 0,02-4,0 Бк/кг, что также не превышает значения уровня вмешательства.

Таблица 2.12. Результаты лабораторных анализов исследования трещинных вод

Радионуклид	^3H	^{241}Am	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$
Удельная активность, Бк/кг	<8 (w-97 %)	<0,02 (w-100 %)	<0,02 (w-100 %)	<0,02 (w- 97 %)	<0,001 (w- 100 %)
	<8-5000 (w – 3 %)			<0,02-4,0 (w-3 %)	

Уровень вмешательства, Бк/кг [48]	7600	0,69	11	4,9	0,55
Примечание: «w» – частота встречаемости удельной активности радионуклида в воде %					

Участки с наличием ^3H и ^{90}Sr в трещинных водах обнаружены в пределах площадки «Дегелен» на Западно-Аркалыкском региональном разломе (скважина 55Р), а также в районе площадки «Балапан» на отрезке Калба-Чингизского разлома (скважина С63-Р) и на субширотном разломе низины Каражурек (скважина БВ-3). Загрязнение трещинных вод на данных участках обусловлено влиянием поверхностных вод горного массива Дегелен и загрязненным участком озера Кишкенсор на юго-западной части площадки «Балапан».

Таким образом, численные значения искусственных радионуклидов ^3H (от 30 до 7 000 Бк/кг) и ^{90}Sr (от 0,4 до 4 Бк/кг), не превышающие уровни вмешательства, наблюдаются как в грунтовых, так и в трещинных водах вблизи испытательных площадок «Дегелен» и «Балапан» (Рисунок 2.20).

Наличие численных значений ^3H и ^{90}Sr на данных территориях вполне ожидаемы, поскольку горизонт подземных вод находится в зоне влияния водотоков из штолен, протекающих по основным водным артериям горного массива Дегелен. Всего таких водотоков на площадке «Дегелен» порядка 12, но все они генетически связаны с основными водотоками (ручьями), выходящими далеко за пределы испытательной площадки. Это ручьи Узынбулак, Токтакушык, Байтлес, Актыбай и ряд сезонных водотоков без названия. Также присутствие численных значений ^3H и ^{90}Sr на юго-западной части площадки «Балапан» обусловлено миграцией радионуклидов трещинными водами.

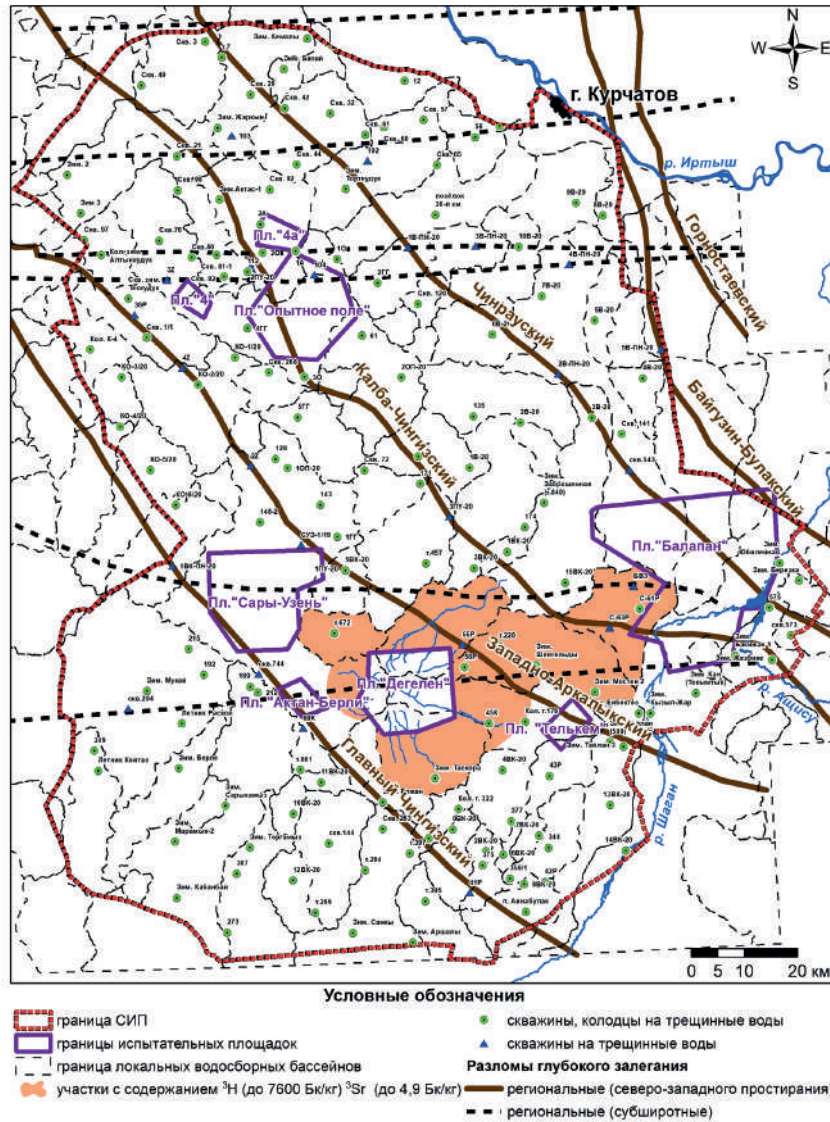


Рисунок 2.20. Участки с наличием численных значений ^3H и ^{90}Sr в грунтовых и трещинных водах

Вместе с тем, учитывая то, что горный массив «Дегелен» и юго-западная часть площадки «Балапан» окружены замкнутыми водоносными бассейнами, дальнейшая миграция искусственных радионуклидов за пределы обнаруженных участков в долгосрочной перспективе маловероятна. Об этом также свидетельствуют

результаты многолетних данных, где присутствие искусственных радионуклидов на большей части территории СИП за пределами испытательных площадок не обнаружено.

Таким образом, проведенные исследования показали, что вынос радиоактивного загрязнения с площадки «Дегелен» осуществляется водами ручьев, в которые в свою очередь, попадают штольневые водотоки. К данным ручьям относятся Узынбулак, Карабулак, Байтлес, Токтакушык и Актыбай. Основным радиоактивным компонентом их вод является ^3H , который содержится в количествах, превышающих значение уровня вмешательства в 1,5-12 раз. Кроме этого, в водах ручьев Карабулак и Токтакушык наблюдается содержание ^{90}Sr , превышающее уровень вмешательства в 3-4 раза.

Распространение радионуклида ^3H за пределы площадки «Балапан» осуществляется с водами реки Шаган. Об этом свидетельствуют данные о содержании ^3H в водах реки на выходе с площадки, в количествах, превышающий уровень вмешательства в 2 раза. О миграции радионуклидов с территории площадки «Балапан» свидетельствует также загрязнение вод озера Кишкенсор радионуклидами ^{90}Sr и ^3H . Их содержание в воде превышает значения уровней вмешательства в 33 раза (^3H) и 4 раза (^{90}Sr). Путем миграции радиоактивного загрязнения в данном случае служат подземные воды, другие явные механизмы миграции отсутствуют.

Выводы

По результатам исследования грунтовых и трещинных вод установлено, что миграция искусственных радионуклидов за пределы испытательных площадок отмечается в районе площадки «Дегелен» и «Балапан». Это связано с тем, что горизонт подземных вод на данных участках находится в зоне влияния водотоков из штолен, протекающих по основным водным артериям горного массива Дегелен, а также участков на юго-западной части площадки «Балапан», где наблюдается миграция искусственных радионуклидов в районе озера Кишкенсор. При

этом на большей части территории СИП количественное содержание радионуклидов ^{241}Am , ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$ не зафиксировано.

2.7 Радиационное состояние атмосферного воздуха

Оценка радиационного состояния атмосферного воздуха достаточно трудная задача, ведь содержание тех или иных примесей в воздухе во многом зависит от климатических условий в определенный момент времени и может варьировать в широком диапазоне. Во многом из-за этого контролируемой величиной радиационного состояния атмосферного воздуха является среднегодовая объемная активность радионуклидов, которая, в конечном итоге, с использованием соответствующих коэффициентов, позволяет определить дозу облучения человека от ингаляционного (при дыхании) поступления радионуклидов в его организм.

Определение среднегодовой объемной активности радионуклидов в атмосферном воздухе проводится непрерывным отбором и измерениями в течение года, что в условиях исследования СИП практически невозможно (огромная площадь, отсутствие инфраструктуры, отсутствие обслуживаемых дорог что делает затруднительным передвижение в зимнее время и т.д.).

В связи с этим, для определения среднегодовой объемной активности радионуклидов в атмосферном воздухе на полигоне был применен альтернативный расчетный метод, который основан на предположении, что основным загрязнителем воздушной среды в местах, где отсутствуют промышленные предприятия и объекты, является почва, точнее ее мелкодисперсная фракция, которая в виде пыли попадает в воздушную среду.

Зная содержание радионуклидов в мелкодисперсной фракции почвы, а также среднегодовую концентрацию взвешенных частиц в атмосферном воздухе (запыленность) обследуемого земельного участка, можно рассчитать среднегодовую объемную активность радионуклидов в атмосферном воздухе.

Основными возможными источниками поступления радионуклидов в воздушную среду на территории СИП являются:

- участки с высоким содержанием радионуклидов, образовавшиеся в результате проведения испытаний и экспериментов и расположенные на испытательных площадках («Опытное поле», «Балапан», «Дегелен», «Сары-Узень», «4» и «4А»);

- следы радиоактивных выпадений за пределами испытательных площадок, которые могут представлять опасность при вторичном переносе и перераспределении радионуклидов в объектах окружающей среды в результате неблагоприятных погодных условий.

Возможность вторичного распространения искусственных радионуклидов воздушным путем была доказана в рамках соответствующих исследований [76]. Полученные данные показали, что при наиболее неблагоприятных условиях атмосферной среды (искусственное пыление и степной пожар) в воздушной среде появляется повышенное содержание искусственных радионуклидов в воздухе. Проведение сельскохозяйственных работ [77] в условиях радиоактивного загрязнения также способствует повышенному содержанию искусственных радионуклидов в воздухе.

При этом, кроме расчетного метода определения среднегодовой активности радионуклидов в атмосферном воздухе, были проведены разовые измерения активности радионуклидов в воздухе, в различных частях полигона.

Разовые измерения проводились в летний период, в обычных метеорологических условиях для данного региона, т.е. в отсутствии сильных ветров, осадков и т.п., что позволяет выполнить оценку концентрации радионуклидов в воздухе, так сказать, «снизу», т.е. в благоприятных условиях. Повышенные концентрации радионуклидов в воздухе при данных условиях свидетельствовали бы о серьезных проблемах загрязнения воздушной среды СИП.

Расчет среднегодовой объемной активности радионуклидов в атмосферном воздухе

На основании многочисленных эпидемиологических исследований установлено, что взвешенные частицы от 10 мкм и менее составляют ту часть частиц, находящихся в воздухе, которые попадают в дыхательные пути (вдыхаемая фракция) [78, 79].

При известных значениях концентраций радионуклидов в мелкодисперсной фракции почвы и среднегодовой концентрации взвешенных частиц в атмосферном воздухе (запыленность), возможно рассчитать среднегодовую объемную активность радионуклидов в атмосферном воздухе по формуле:

$$A_{vi} = A_{i,10} \times P_{sus}$$

где:

A_{vi} – среднегодовая объемная активность i -го радионуклида в атмосферном воздухе, Бк/м³;

$A_{i,10}$ – удельная активность i -го радионуклида в мелкодисперсной фракции почвы (до 10 мкм), Бк/кг;

P_{sus} – среднегодовая концентрация взвешенных частиц в атмосферном воздухе обследуемого земельного участка, кг/м³.

Другими словами, если знать содержание радионуклидов во фракции почвы менее 10 мкм в любой точке полигона, можно рассчитать среднегодовую объемную активность радионуклидов в атмосферном воздухе в этой же точке.

Однако, определение содержания радионуклидов во фракции почвы менее 10 мкм достаточно трудоемкий процесс, и применить его для каждой точки полигона, а таких может быть сколько угодно, практически невозможно. При этом, в распоряжении имеются результаты лабораторных анализов около 18 тысяч образцов верхнего слоя почвы, который, собственно, и является основным источником поступления радионуклидов в атмосферный воздух.

Поэтому, для того чтобы не определять содержание радионуклидов во фракции почвы менее 10 мкм во всех 18 тысячах проб

(этот процесс занял бы несколько десятков лет), оно определялось лишь для части проб, сгруппированных в два массива: пробы, отобранные на фоновых территориях СИП (не подвергшихся радиоактивному загрязнению) и пробы, отобранные на участках с повышенными значениями удельной активности радионуклидов в почве (радиоактивно-загрязненные территории). Для этого был введен коэффициент ($K_{\phi i}$), определяющий отношение удельной активности радионуклидов во фракции почвы менее 10 мкм к удельной активности радионуклидов в исходной, неразделенной на гранулометрические фракции пробе. То есть, из измеренной пробы верхнего слоя почвенного покрова выделялась фракция менее 10 мкм, в которой тоже определялось содержание радионуклидов. Далее, определялось соотношение активности радионуклидов во фракции менее 10 мкм к активности радионуклидов в исходной пробе.

Затем, среди средних значений коэффициентов $K_{\phi i}$ для фоновых территорий и радиоактивно-загрязненных территорий, для дальнейших расчетов выбирали коэффициент, имеющий максимальное значение. Это позволило выполнить оценку «сверху» в расчете среднегодовой объемной активности радионуклидов в атмосферном воздухе, т.е. расчетная среднегодовая активность получилась с некоторым запасом безопасности.

Коэффициент $K_{\phi i}$ рассчитывался по формуле:

$$K_{\phi i} = \frac{A_{i,10}}{A_i}$$

где:

$A_{i,10}$ – удельная активность i -го радионуклида в мелкодисперсной фракции почвы (до 10 мкм), Бк/кг;

A_i – удельная активность i -го радионуклида в верхнем слое (0-5 см) почвенного покрова, Бк/кг.

Для определения коэффициента $K_{\phi i}$ на территории СИП было отобрано 168 проб почвы. Отбор проб почв проводили из расчета не менее одной пробы на 100 км² (без учета территорий испытательных площадок СИП). Точки для отбора проб почвы были распределены равномерно по всей территории СИП с учетом

участков с повышенными концентрациями радионуклидов в почвах (следы выпадений от наземных испытаний) и зон с фоновыми уровнями концентраций радионуклидов. При выборе площадок отбора проб почвы использовались данные исследования площадного загрязнения почвенного покрова.

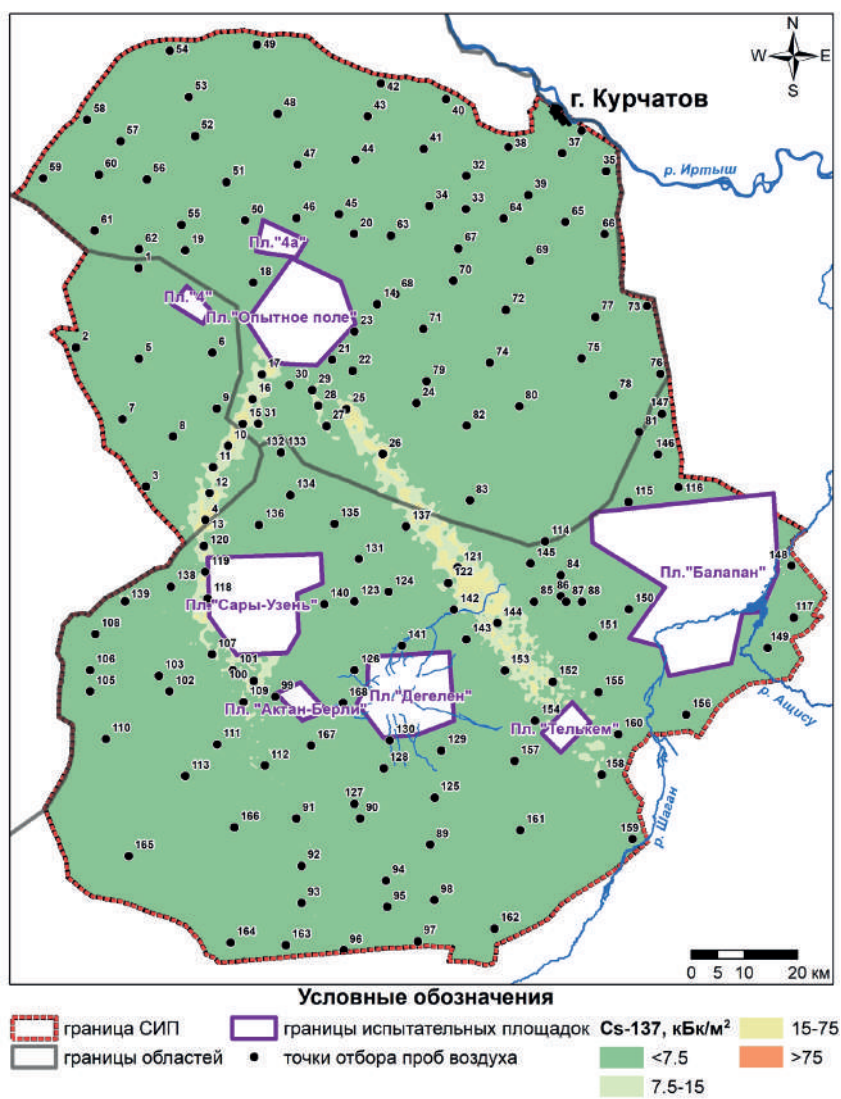


Рисунок 2.21. Схема расположения точек отбора проб почвы для расчетного метода определения среднегодовой объемной активности радионуклидов в атмосферном воздухе СИП

Выделение из проб почвы фракции размером <10 мкм выполнялось методом седиментации в водной среде [1].

В расчетах коэффициентов K_{ϕ_i} данные удельной активности радионуклидов в почвах и почвенных фракциях ниже предела обнаружения используемого аппаратурно-методического обеспечения не учитывались. Таким образом, объем выборки для расчета коэффициентов K_{ϕ_i} составил: ^{241}Am – 60, ^{137}Cs – 132, ^{90}Sr – 46, $^{239+240}\text{Pu}$ – 65 значений. Установленный диапазон значений коэффициентов K_{ϕ_i} для радионуклидов составил: ^{241}Am – 0,04-15; ^{137}Cs – 0,14-7,2; ^{90}Sr – 0,02-9,7; $^{239+240}\text{Pu}$ – 0,02-45. Вследствие различия механизмов формирования радиоактивных частиц глобальных выпадений и локальных выпадений, образовавшихся вследствие наземных взрывов, характер распределения радионуклидов по гранулометрическим фракциям на участках с повышенными (следы выпадений от наземных испытаний) и фоновыми уровнями концентрации радионуклидов в почвах может значительно отличаться. В связи с этим был произведен расчет средних значений коэффициентов K_{ϕ_i} отдельно для участков с повышенными уровнями концентрации радионуклидов в почвах (следы выпадений от наземных испытаний) и отдельно – для зон с фоновыми уровнями концентрации радионуклидов в почвах.

Средние значения коэффициентов K_{ϕ_i} на участках с повышенными (следы выпадений от наземных испытаний) и фоновыми уровнями концентрации радионуклидов в почвах составили: ^{241}Am – 2,22 и 1,43; ^{137}Cs – 1,25 и 2,41; ^{90}Sr – 1,77 и 2,57; $^{239+240}\text{Pu}$ – 3,37 и 2,38, соответственно. Максимальные средние значения коэффициентов K_{ϕ_i} радионуклидов ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$ определены на участках с повышенными уровнями концентрации радионуклидов в почвах (следы выпадений от наземных испытаний), радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr – в зонах с фоновыми уровнями концентрации радионуклидов в почвах.

При этом для консервативной оценки в расчете среднегодовой объемной активности были использованы максимальные средние значения коэффициентов $K_{\phi i}$: $^{241}\text{Am} - 2,22$; $^{137}\text{Cs} - 2,41$; $^{90}\text{Sr} - 2,57$; $^{239+240}\text{Pu} - 3,37$.

Однако в расчетном методе определения среднегодовой объемной активности существует еще одна сложность – это определение среднегодовой концентрации взвешенных частиц в атмосферном воздухе, другими словами, среднегодовой запыленности воздуха.

По результатам анализа экспериментальных исследований и метеорологических наблюдений на территории СИП было определено, что основное влияние на воздушную среду в условиях радиоактивного загрязнения оказывает концентрация взвешенных частиц в приземном слое атмосферы [81]. При этом данный показатель зависит от метеорологических параметров, таких, как скорость, направление ветра, относительная влажность воздуха и количество осадков. В процессе выпадения осадков (дождь) концентрация взвешенных частиц в воздухе кратковременно увеличивается в 2-3 раза. По мере насыщения поверхностного слоя почвы влагой, концентрация взвешенных частиц в атмосферном воздухе уменьшается. Можно предположить, что в дальнейшем, в процессе ветровой дефляции и испарения осадков с поверхности почвы, тонкие частицы почвы частично могут переходить во взвешенное состояние, тем самым оказывая влияние на загрязнение воздушной среды.

При этом, экспериментальное определение среднегодовой концентрации взвешенных частиц в атмосферном воздухе обеспечивается суточным режимом отбора проб воздушных аэрозолей в течение года, учитывающим физико-климатические характеристики района расположения исследуемого объекта, такие как ветровой режим (скорость и направление ветра), температура воздуха, атмосферное давление, состояние погоды и подстилающей поверхности [82].

Исследований, направленных на изучение запыленности воздуха, на полигоне не проводилось в силу нецелесообразности проведения круглогодичных измерений на огромной территории СИП.

Поэтому, в расчетах использовали среднее значение среднегодовой концентрации взвешенных частиц в атмосферном воздухе в ближайших к полигону крупных населенных пунктах – г. Караганда, г. Павлодар и г. Семей. Данные о среднегодовой концентрации взвешенных частиц в атмосферном воздухе городов Республики Казахстан предоставляются РГП «Казгидромет» в ежегодном информационном бюллетене о состоянии окружающей среды Республики Казахстан [83].

Эти данные тоже можно считать консервативными (оценка сверху), так как запыленность воздуха в городах, в силу объективных причин, превышает запыленность воздуха в сельской местности, к которой можно отнести территорию полигона. На полигоне отсутствуют промышленные предприятия, способные существенно повышать концентрацию взвешенных частиц на площади несколько тысяч квадратных километров, также на полигоне нет интенсивного автомобильного движения и других техногенных источников запыленности атмосферы.

Средние значения среднегодовых концентраций (период с 2016 по 2021 годы) взвешенных частиц в атмосферном воздухе городов Караганда, Павлодар и Семей, согласно официальным источникам, составили 0,1119, 0,1036 и 0,1045 мг/м³, соответственно.

Далее, на основании максимальных средних значений коэффициентов $K_{\text{фи}}$ радионуклидов, полученных экспериментальным путем, средних значений среднегодовой концентрации взвешенных частиц в атмосферном воздухе ρ_{sus} , а также значений удельной активности радионуклидов в верхнем слое (0-5 см) почвенного покрова в каждой точке площадного исследования

(из расчета одна точка на один квадратный километр) A_{vi} были рассчитаны значения среднегодовой объемной активности радионуклидов в атмосферном воздухе территории СИП A_{vi} .

Таблица 2.13. Результаты определения среднегодовой объемной активности радионуклидов в воздухе территории СИП, полученные теоретическим методом

Радионуклид	Среднегодовая объемная активность радионуклидов в воздухе СИП, рассчитанная теоретическим методом A_{vi} , Бк/м ³		Допустимая объемная активность радионуклидов в воздухе для населения ДОА _{нас} , Бк/м ³	Диапазон значений объемной активности радионуклидов в воздухе СИП, полученные экспериментальным методом, Бк/м ³
	Диапазон	Среднее значение		
²⁴¹ Am	$1,14 \times 10^{-8} - 2,75 \times 10^{-4}$	$1,13 \times 10^{-6}$	$2,9 \times 10^{-3}$	$< 5,0 \times 10^{-5}$
¹³⁷ Cs	$6,34 \times 10^{-9} - 3,84 \times 10^{-4}$	$7,46 \times 10^{-6}$	27	$4,5 \times 10^{-7} - 9,0 \times 10^{-6}$
⁹⁰ Sr	$3,38 \times 10^{-8} - 2,04 \times 10^{-3}$	$3,98 \times 10^{-5}$	2,7	$< 6,0 \times 10^{-5}$
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	$2,43 \times 10^{-7} - 9,1 \times 10^{-4}$	$2,41 \times 10^{-5}$	$2,9 \times 10^{-3}$	$< 1,8 \times 10^{-7} - 3,3 \times 10^{-5}$

Максимальные значения среднегодовой объемной активности радионуклидов в атмосферном воздухе территории СИП характерны для участков, расположенных в непосредственной близости к площадке «Опытное поле». Диапазон значений среднегодовой объемной активности радионуклидов в атмосферном воздухе территории СИП A_{vi} , рассчитанных теоретическим методом, варьирует в пределах пяти порядков ($10^{-8} - 10^{-3}$ Бк/м³), при этом максимальные значения A_{vi} меньше допустимых значений ДОА_{нас} на порядок и более [48]. На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что текущее состояние атмосферного воздуха территории СИП за пределами испытательных площадок не представляет радиационной опасности для населения.

Разовые измерения объемной активности радионуклидов в атмосферном воздухе

В отличие от расчетного метода разовые измерения объемной активности радионуклидов в атмосферном воздухе основаны на непосредственном измерении образцов.

Но, прежде чем рассматривать результаты измерений, следует несколько слов сказать об общих климатических условиях на полигоне, так как уже было сказано выше, разовые измерения проводились в летний период, в отсутствии сильных ветров, осадков и т.п., что позволяет выполнить оценку концентрации радионуклидов в воздухе, так сказать, «снизу», т.е. в благоприятных метеорологических условиях.

На территории СИП среднемесячные температуры воздуха в июле от +19 до +22 °С и январе от -14 до -18 °С характеризуют климат в регионе как резко континентальный. В то же время здесь наблюдается смена климатических поясов от сухого (вдоль долины реки Иртыш со средними годовыми температурами от +0,6 до +5 °С и среднегодовым количеством осадков 250-300 мм) до умеренно-влажного (в горном обрамлении региона, где среднегодовые температуры меняются от +1 до -4 °С, а среднегодовое количество атмосферных осадков достигает 400-600 мм). Максимум атмосферных осадков выпадает в мае – июне и октябре – ноябре.

Ветровой режим. Режим ветра носит преимущественно материковый характер и определяется, в основном, местными барико-циркуляционными условиями. В холодное время года режим ветра складывается под влиянием сибирского антициклона, обуславливающего устойчивую морозную погоду. В зимнее время года, по многолетним данным, преобладают юго-восточные (38,4 %) и южные ветры (16,3 %). Противоположные им по направлению ветры наблюдаются значительно реже (9,8 % – северо-западные, 1,8 % – северные, 1,1 % – северо-восточные, 3,2 % –

юго-западные). Зимние условия характеризуются большой повторяемостью антициклонов, поэтому довольно часто отмечаются штили.

В летнее время режим ветра резко меняется, преобладают ветры северо-западной (27,4 %), западной (16,8 %) и северной (14,9 %) части горизонта и отмечается повышенная повторяемость штилей. Ветровые условия весны и осени являются промежуточными между зимними и летними, что связано со сменой барических полей холодного и теплого полугодий. Май характеризуется тенденцией поворота преобладающих направлений ветра с юго-востока на северо-запад. В июне-июле эта перестройка завершается уже полностью.

В октябре летняя система ветров перестраивается на зимнюю, что обуславливается началом сезонного развития сибирского антициклона и резким ослаблением термической депрессии.

Годовой ход средних значений скорости ветра имеет максимум и минимум. Наибольшие в году средние месячные скорости ветра наблюдаются с февраля по июнь (3–3,6 м/с), наименьшие – в июле-августе и октябре (2,9 м/с).

Сильные ветры наблюдаются в основном весной (апрель, май), а также в феврале и ноябре. В результате просмотра результатов наблюдений было выявлено, что максимальная скорость ветра достигала 35-43 м/с. Штили наблюдались в 10 % случаях от общего количества наблюдений, наибольшее количество штилей наблюдается летом – начале осени (2 % от общего количества наблюдений).

При очень сильных и продолжительных ветрах возникают пыльные бури, их скорость достигает 20-30 м/с и более. Подъем почвенных частиц происходит быстрее на сухой неровной поверхности с бедной растительностью в условиях, характерных для засушливых и полузасушливых районов, а неровности по-

верхности почвы и разрушение почвенного покрова в результате выпаса животных, автомобильного движения и хозяйственной деятельности человека усиливают ветровой подъем пыли.

Чаще всего пыльные бури наблюдаются с мая по июль. В среднем за год пыльные бури наблюдались 5 раз в год. Средняя скорость ветра при прохождении пыльных бурь варьирует от 15 до 20 м/с. Зафиксировано несколько случаев начала пыльных бурь при довольно малых значениях скорости ветра (6-8 м/с).

Осадки. Территория полигона относится к числу районов, недостаточно обеспеченных осадками. Объясняется это тем, что барико-циркуляционные особенности Евразии обуславливают поступление преимущественно арктического воздуха и воздуха умеренных широт континентального происхождения, бедных влагой. Засушливость местного климата усиливается также за счет пустынь Средней Азии и юга Казахстана. Кроме того, Восточная часть степной зоны Казахстана чаще подвержена антициклоническим воздействиям и поэтому увлажнена меньше, чем Западная часть.

Континентальные местные условия определяют неустойчивый характер выпадения осадков, колебания их из года в год значительны. Для этой части Казахстана возможно полное отсутствие осадков или ничтожно малое их количество, а в отдельные годы месячные осадки бывают значительными.

В режиме осадков хорошо просматривается летний их максимум. Барико-циркуляционные условия теплого полугодия благоприятствуют значительному выпадению осадков с мая по август, когда выпадает от 50 до 60 % годовой суммы в виде ливневых дождей. Также значительные осадки наблюдаются в зимнее время года в виде редких обильных снегопадов. Однако осадки теплого полугодия сочетаются с высокими температурами, что снижает значение их как фактора увлажнения – при зна-

чительном возрастании испаряемости естественное увлажнение почвы недостаточно. В зимнее время года из-за низких температур осадки остаются на поверхности довольно долго (в среднем 2-3 месяца). В осенний период года, по сравнению с летними месяцами, количество осадков невелико, но в связи с понижением температуры воздуха в эти месяцы происходит значительное сокращение испарения, и выпадающие осадки удовлетворительно увлажняют почву.

Результаты измерений объемной активности радионуклидов

Для определения объемной активности радионуклидов в воздухе на территории СИП проводился выбор исследовательских точек с последующим отбором проб воздушных аэрозолей и выполнением лабораторных анализов γ -спектрометрическим и радиохимическим методами.

Точки отбора проб воздушных аэрозолей равномерно распределялись по всей территории СИП. Всего заложено 168 исследовательских точек (≈ 1 точка на 100 км^2).

Для получения численных значений радионуклидов в воздухе на фоновых территориях объем каждой отбираемой пробы воздушных аэрозолей составлял не менее 3000 м^3 . В качестве оборудования для отбора проб воздушных аэрозолей использовался стационарный пробоотборник, производительностью $1500 \text{ м}^3/\text{ч}$. Время отбора 1 пробы воздушных аэрозолей составляло 2-2,5 ч, в зависимости от климатических условий. Отбор проб воздушных аэрозолей проводился на высоте 1,5 м от поверхности земли, на открытой, проветриваемой со всех сторон, площадке с твердым грунтом – таким образом, были исключены искажения результатов измерений наличием строений и зеленых насаждений [84].

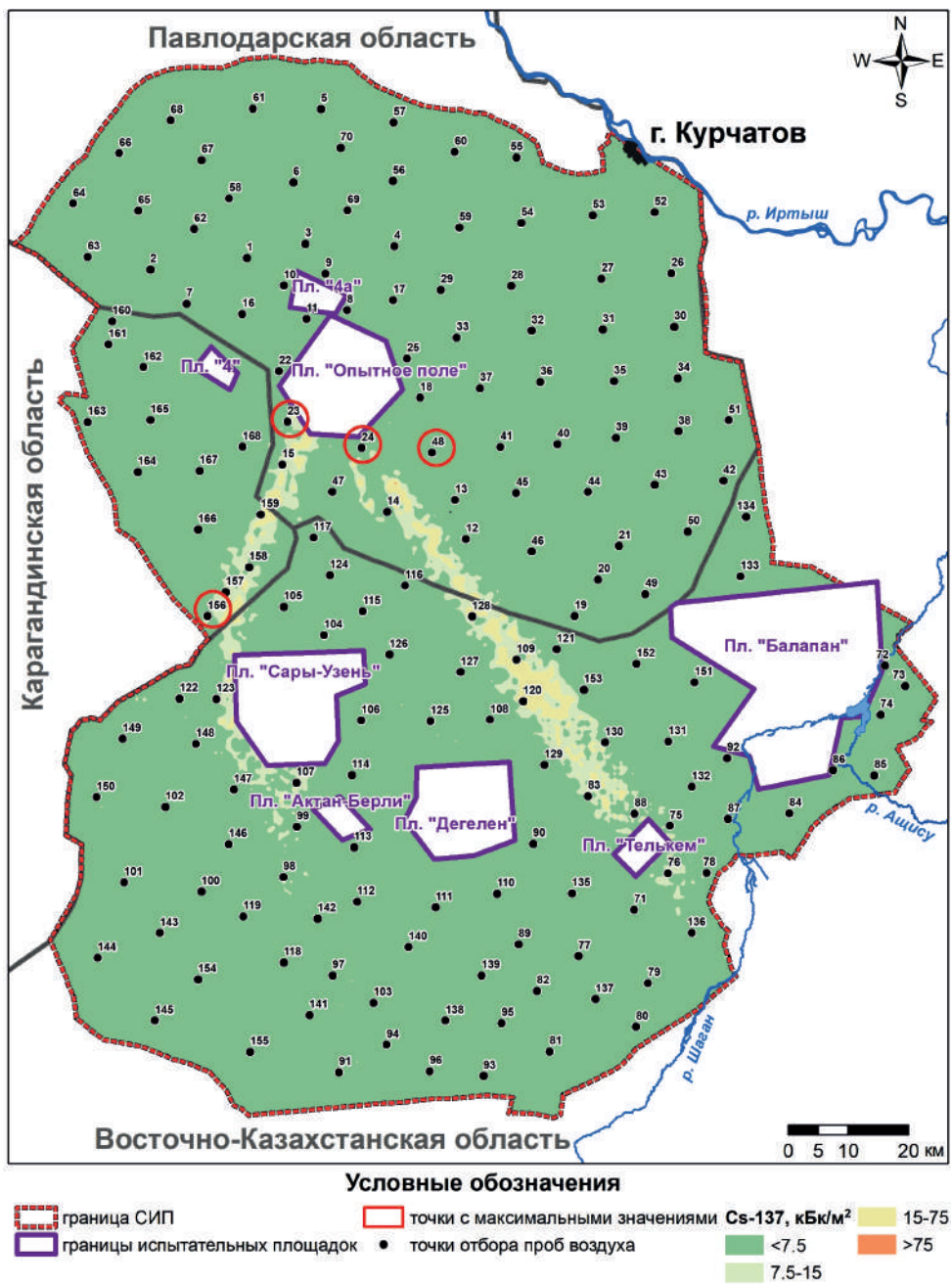


Рисунок 2.22. Карта расположения точек отбора проб воздушных аэрозолей на территории СИП, загрязнение почвенного покрова радионуклидом ^{137}Cs

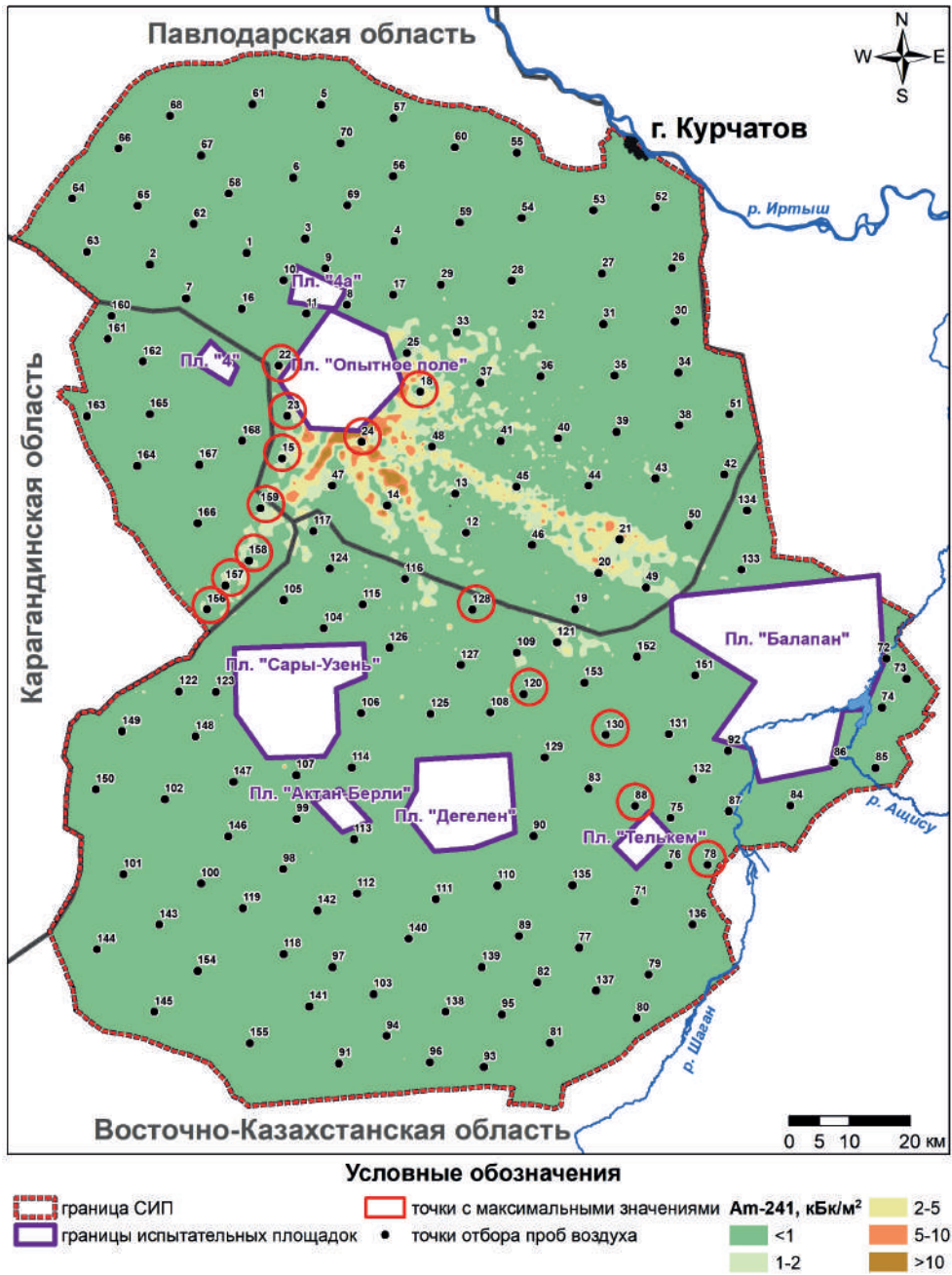


Рисунок 2.23. Карта расположения точек отбора проб воздушных аэрозолей на территории СИП, загрязнение почвенного покрова радионуклидом ^{241}Am

Для исключения возможности влияния неблагоприятных погодных условий отбор проб воздушных аэрозолей проводился при отсутствии осадков, скорость ветра не превышала 5 м/с, концентрация взвешенных частиц – не более 20 мг/м³. В случае превышения указанных параметров отбор проб воздушных аэрозолей прекращался и продолжался только после нормализации параметров.

Пробы воздушных аэрозолей подготавливались в лабораторных условиях методом озоления и анализировались гамма-спектрометрическим методом на содержание радионуклидов ²⁴¹Am, ¹³⁷Cs. Озоление проб воздушных аэрозолей осуществлялось в муфельной печи в течение 6 часов при температуре 390 °С. Для улучшения предела обнаружения измерение проб воздушных аэрозолей проводилось на гамма-спектрометре колодезного типа, с высокой эффективностью регистрации – до 100 %. После проведения гамма-спектрометрического анализа пробы воздушных аэрозолей анализировались радиохимическим методом на содержание радионуклидов ⁹⁰Sr и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu.

Максимальные значения объемной активности радионуклида ¹³⁷Cs зафиксированы в точках 23, 24, 48 и 156 (Рисунок 2.22). Диапазон максимальных значений объемной активности радионуклида ¹³⁷Cs составил от $1,5 \times 10^{-6}$ до $9,0 \times 10^{-6}$ Бк/м³.

Максимальные значения объемной активности радионуклида ²³⁹⁺²⁴⁰Pu зафиксированы на нескольких участках (Рисунок 2.23): 1 участок (точки 18, 22, 23, 24), расположен вблизи границы площадки «Опытное поле»; 2 участок (точки 15, 156, 157, 158, 159), расположен на следе от испытания 24.09.1951 года; 3 участок (точки 78, 88, 120, 128 и 130) расположен на следе от испытания 12.08.1953 года. Диапазон максимальных значений объемной активности радионуклида ²³⁹⁺²⁴⁰Pu составил от $5,1 \times 10^{-6}$ до $3,3 \times 10^{-5}$ Бк/м³.

Численных значений объемной активности радионуклидов ^{241}Am и ^{90}Sr в воздухе на территории СИП не обнаружено, объемная активность ^{241}Am и ^{90}Sr в воздухе определена на уровне предела обнаружения аппаратурно-методического обеспечения.

Данные объемной активности $^{239+240}\text{Pu}$ были отсортированы по зонам (фоновая территория, зона следов) и рассчитаны средние значения объемной активности радионуклидов для каждой зоны. В таблице представлены средние значения объемных активностей искусственных радионуклидов ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ на территории СИП (Таблица 2.14). При расчете средних значений, предел обнаружения принят за численное значение, в скобках указано количество усредненных проб.

Таблица 2.14. Средние значения объемной активности радионуклидов на территории СИП

Радионуклид	Фоновая территория	Участки радиоактивного загрязнения
^{241}Am , Бк/м ³	$< 1,7 \times 10^{-5}$ (55)	$< 4,6 \times 10^{-5}$ (14)
^{137}Cs , Бк/м ³	$< 2,3 \times 10^{-6}$ (65)	$6,5 \times 10^{-6}$ (4)
^{90}Sr , Бк/м ³	$< 2,3 \times 10^{-5}$ (55)	$< 5,1 \times 10^{-5}$ (14)
$^{239+240}\text{Pu}$, Бк/м ³	$9,8 \times 10^{-7}$ (55)	$5,6 \times 10^{-6}$ (14)

Согласно полученным экспериментальным данным на территории СИП диапазон объемной активности искусственных радионуклидов составил: для ^{241}Am – $< 5,0 \times 10^{-5}$ Бк/м³, для ^{137}Cs – от $4,5 \times 10^{-7}$ до $9,0 \times 10^{-6}$ Бк/м³, для ^{90}Sr – $< 6,0 \times 10^{-5}$ Бк/м³, для $^{239+240}\text{Pu}$ $< 1,8 \times 10^{-7}$ до $3,3 \times 10^{-5}$ Бк/м³, что не превысило допустимую объемную активность по каждому из перечисленных радионуклидов для категории населения, указанной в Гигиенических нормативах «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» [84].

Диапазон значений среднегодовой объемной активности радионуклидов в атмосферном воздухе, полученный расчетным путем, перекрывает область значений разовых экспериментальных определений объемной активности в воздухе СИП, что позволяет обоснованно использовать данные расчетного метода для оценки дозы облучения от ингаляционного поступления радионуклидов в организм.

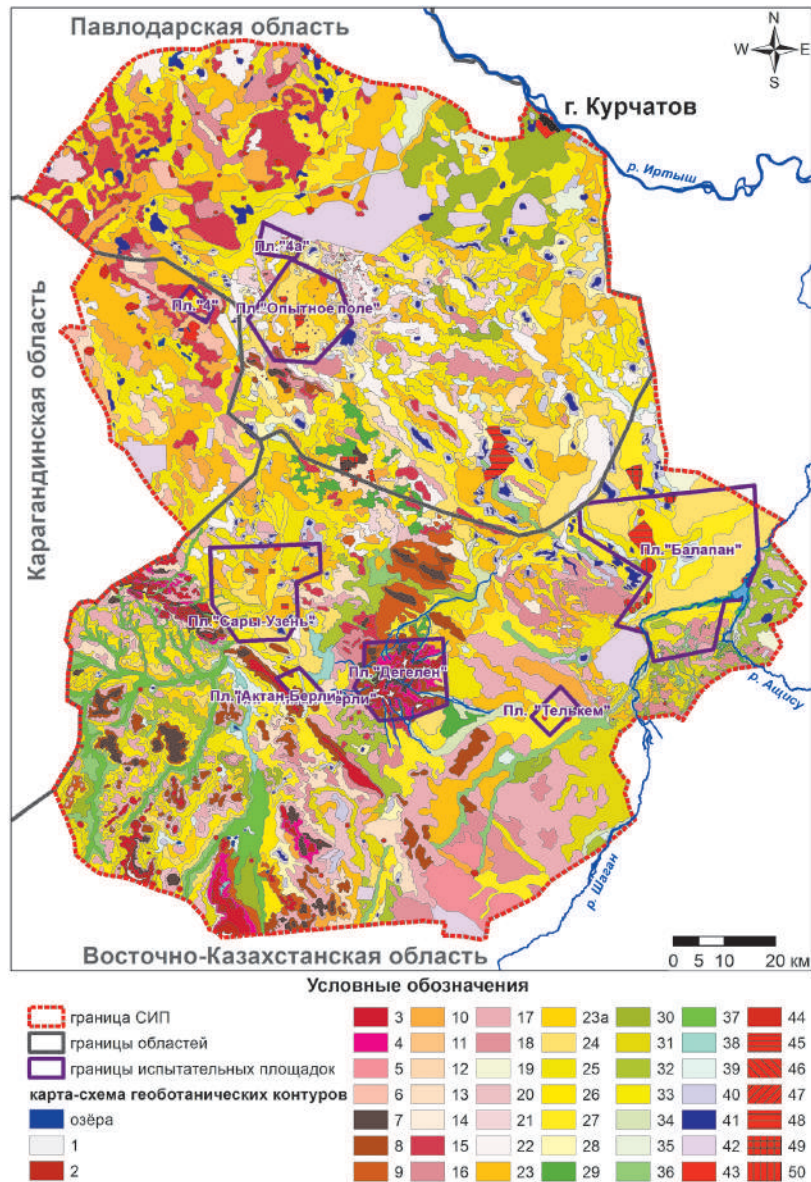
Выводы

Если говорить в целом о радиационном состоянии воздушной среды на СИП, то можно констатировать тот факт, что значения объемной активности радионуклидов в атмосферном воздухе (вне испытательных площадок), полученные как расчетным методом, так и методом прямых измерений, более чем в сотни раз ниже допустимых значений.

2.8 Радиационное состояние растительного покрова

Оценка радиационного состояния растительного покрова СИП имеет огромное значение, поскольку растения являются неотъемлемым звеном на пути возможной миграции радионуклидов в трофической цепи «растение-животное-человек». В данном аспекте основные фитоценозы СИП представлены многочисленными видами, которые входят в состав кормовой базы как диких, так и сельскохозяйственных копытных животных.

По ботанико-географическому районированию степной части центрального казахского мелкосопочника территория СИП находится в пределах сухих типчаково-ковыльных степей на каштановых почвах и опустыненных полынно-ковыльных степей на светло-каштановых почвах; входит в состав Семипалатинского и Экибастузского округов Восточно-Казахстанской подпровинции [85].



1, 2, 3, 4, 5, 6 – экосистемы низкогогорья;
 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 – экосистемы высокого мелкосопочника;
 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 – экосистемы низкого мелкосопочника;
 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 – экосистемы делювиально-пролювиальных равнин;
 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40 – экосистемы аллювиальных равнин;
 41 – экосистемы соров; 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51 –
 антропогеннопроизводные экосистемы

Рисунок 2.24. Схематическая карта распределения растительных экосистем

Более 90 % территории СИП представлено степной растительностью на каштановых и светло-каштановых почвах. Оставшуюся часть территории фрагментарно заполняют кустарниковый тип растительности, пустынный (на солонцах и солончаках), а также лесной и луговой (наиболее широко представленные на площадке «Дегелен») [86].

В результате деятельности по проведению испытаний на некоторых участках площадок «Опытное поле», «Дегелен», «Балапан», «Сары-Узень» растительность была частично уничтожена и на сегодняшний день представлена различными стадиями восстановления сообществ [87].

Сообщества степного типа растительности формируются на равнинах, шлейфах и склонах сопок и низкогорий. Сухие караганово-холоднополынно-типчаково-тырсовые (*Stipa capillata*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia frigida*, *Caragana pumila*) степи на делювиально-пролювиальных равнинах и склонах мелкосопочника характерны для северо-западной части СИП. В высоком мелкосопочнике этой части полигона типичны сообщества с доминированием *Stipa kirghisorum*, *Helictotrichon desertorum*.

Плакорные типы опустыненных тонковатополыно-типчаково-тырсиковых (*Stipa sareptana*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia gracilescens*) степей на светло-каштановых суглинистых почвах типичны для пологонаклонных равнин в северо-восточной и восточной части СИП. Полынно-типчаково-ковылковые (*Stipa lessingiana*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia sublessingiana*, *A. albida*) степи на светло-каштановых дресвянистых и щебнистых почвах характерны для межсопочных и подгорных равнин гранитных низкогорий центральной и юго-западной части полигона. Гемипсаммофитные варианты степей – маршалловополынно-типчаково-тырсиковые (*Stipa sareptana*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia marschalliana*) с участием *Spiraea hypericifolia* на светло-каштановых легкосуглинистых и супесчаных почвах представлены на древнеаллювиальных равнинах восточной части СИП.



а)

б)

**Рисунок 2.25. Типчаково-тырси́ковая степь (а);
холоднопо́лынная с дерновинными злаками предгорная степь (б)**

Кустарниковые заросли, встречающиеся на территории СИП, группируются по приуроченности к определенным местообитаниям. К межсочным ложбинам, степным западинам приурочены заросли степных кустарников из *Spiraea hypericifolia*, *Caragana pumila*, иногда *Halimodendron halodendron*. На матрацевидных плиточных гранитах характерны кустарниковые ценозы с участием *Spiraea trilobata*, *Rosa spinosissima*, *Cotoneaster oliganthus*, *C. melanocarpus*, *Lonicera microphylla*, *Pentaphylloides parvifolia*, иногда в их составе встречаются *Berberis sibirica*, *Ribes saxatile*, *Juniperus sibirica*. На каменистых осыпях по распадкам обычны заросли *Juniperus sabina*. На осыпях и песчано-галечниковых сухих руслах распространены ценозы из *Caragana pumila*, *Atraphaxis frutescens*, *Convolvulus fruticosus*. В тенистых ущельях и под пологом березово-осиновых рощиц типичны кустарниковые заросли с участием *Rosa majalis*, *R. glabrifolia*, *Padus avium*, *Lonicera tatarica*, *Ribes nigrum*, *Rubus idaeus*. Ивовые заросли, сложенные *Salix cinerea*, *S. viminalis*, *S. rosmarinifolia*, *S. triandra*, произрастают в поймах ручьев, вокруг родников и техногенных водоемов.



а)

б)

Рисунок 2.26. Караганово-дерновинно-злаковая степь на равнине(а), кустарниково-дерновиннозлаковая степь на высоком мелкосопочнике (б)

На территории СИП широко представлены петрофитные варианты степей. Гранитные низкогорья, например, горный массив Дегелен, высокие и низкие мелкосопочники создают разнообразие экологических условий для формирования петрофитной растительности. В гранитных низкогорьях хорошо выражена высотная поясная смена растительности. Для предгорных равнин и шлейфов низкогорий характерны караганово-холодно-полынно-типчачково-тырсовые (*Stipa capillata*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia frigida*, *Caragana pumila*). На дресвянистых участках склонов представлены сообщества с доминированием *Ziziphora clinopodioides*, *Thymus serpyllum*, *Veronica incana*, *Festuca valesiaca*. На малоразвитых и неполноразвитых почвах склонов северной и северо-восточной экспозиции формируются разнотравно-осоково-злаковые (*Helictotrichon desertorum*, *Stipa kirghisorum*, *Festuca valesiaca*, *Carex pediformis*, *Thalictrum foetidum*, *Vupleurum aureum*, *Chamaerhodos erecta*, *Pulsatilla patens*) сообщества. Для южных склонов типичны злаково-разнотравные (*Fragaria viridis*, *Dianthus acicularis*, *Veronica spuria*, *Artemisia latifolia*, *A.rupestris*, *Festuca valesiaca*, *Stipa capillata*,

Agropyron cristatum) с участием кустарников (*Spiraea trilobata*, *S.hypericifolia*, *Caragana pumila*, *Lonicera microphylla*). На гранитных плитах распространены петрофитноразнотравно-кустарниковые (*Spiraea trilobata*, *Rosa spinosissima*, *Cotoneaster oliganthus*, *Lonicera microphylla*, *Pentaphylloides parvifolia*, *Orostachys spinosa*, *Sedum hybridum*, *Onosma simplicissima*, *Thalictrum simplex*) ценозы. На каменистых вершинах обычны петрофитноразнотравно-лишайниковые группировки с преобладанием *Parmelia vagans*, *P. cetrata*, *Diploschistes scropsus*, *Orostachys spinosa*, *Euphorbia humilis*, *Patrinia intermedia*, *Onosma simplicissima*, *Silene suffrutescens*, *Hieracium echioide*.

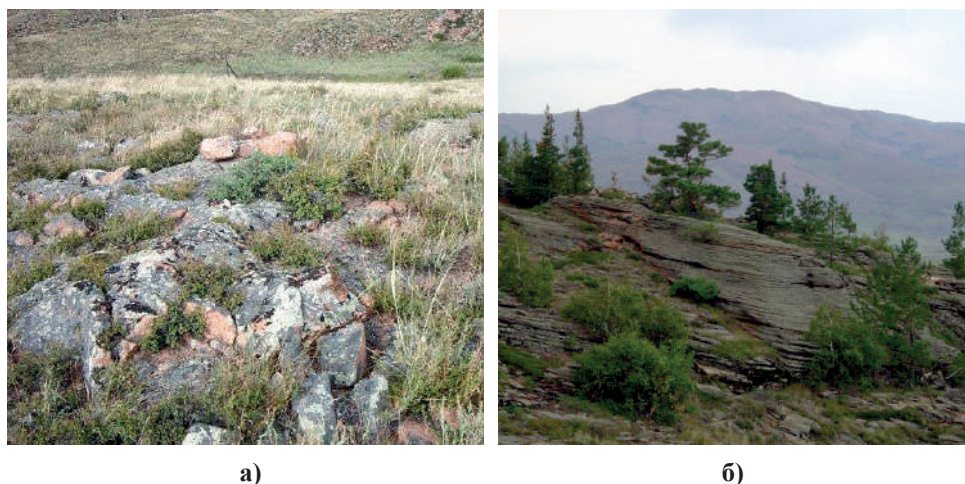


Рисунок 2.27. Петрофиты на высоком мелкосопочнике (а), фрагменты лесного типа растительности с *Pinus sylvestris* на площадке «Дегелен» (б)

Фрагменты лесного типа растительности встречаются в особо благоприятных условиях: небольшие осиново-березовые (*Betula pendula*, *Populus tremula*) рощицы с участием *Populus canescens*, *Crataegus clorocarpa*, *Rosa majalis*, *Padus avium*, *Lonicera tatarica*, *Ribes nigrum*, *Rubus caesius* и богатым злаково-разнотравным (*Angelica sylvestris*, *Sanguisorba officinalis*, *Thalictrum flavum*, *Galium boreale*, *Agrimonia pilosa*, *Calamagrostis epigeios*, *Poa angustifolia*, *Melica transsilvanica*) травяным ярусом формируются

в долинах ручьев и на склонах тенистых ущелий гранитных низкогорий.

На слабонарушенном высоком гранитном гребне выявлено единственное на площадке «Дегелен» местопроизрастание *Pinus sylvestris*. Древесный ярус образуют *Pinus sylvestris* и *Betula pendula*. В тенистых расщелинах гранитных плит характерны папоротники из родов *Asplenium* и *Woodsia*. На поверхности гранитных плит хорошо развит мохово-лишайниковый ярус с доминированием *Parmelia vagans*, *P. cetrata*, *Cladonia sylvatica*, а единичные растения *Pentaphylloides parvifolia*, *Orostachys spinosa*, *Sedum hybridum*, *Veronica incana* обрамляют трещины с мелкоземом.

Болотистые луга с доминированием *Phragmites australis*, *Typha angustifolia*, *T. laxmannii*, *Bolboschoenus planiculmis*, *Carex omskiana* характерны для природниковых луговин, зоны влияния водохранилища Чаган, понижений пересыхающих русел, окраин фильтрационных водоемов у «Атомного озера» и окраин техногенных водоемов. Полидоминантные настоящие луга из *Calamagrostis epigeios*, *Elytrigia repens*, *Bromopsis inermis*, *Glycerhiza uralensis* встречаются фрагментарно в поймах рек. Остепненные луга с участием *Leymus angustus*, *Poa angustifolia*, *Bromopsis inermis*, *Medicago falcata*, *Potentilla bifurca* характерны для межсопочных ложбин, склонов террас рек, внутренних подгорных долин. Галофитные варианты лугов представлены ценозами с доминированием *Rusciniella dolicholepis*, *Hordeum brevisubulatum*, *H. bogdanii*, *Aeluropus littoralis*, *Achnatherum splendens*. Они распространены в поймах рек и на надпойменных террасах, озерных впадинах, вокруг техногенных водоемов. Широко луговая растительность представлена в поймах ручьев горного массива Дегелен.



Рисунок 2.28. Луговая растительность в пойме ручья горного массива Дегелен (а), поташниково-соранговое сообщество на солончаке луговом (б)

Пустынные сообщества в пределах степной области формируются в особых условиях местообитания – на почвах засоленного ряда (солонцах и солончаках). Подобные местообитания встречаются в солончаковых депрессиях равнин, местах выхода засоленных палеозойских глин, озерных впадинах, а также на надпойменных террасах рек. Пустынный тип растительности представлен сообществами, образованными гиперксерофильными и галоксерофильными полукустарничками – представителями семейства Маревых и некоторых видов рода *Artemisia*. Пустынные сообщества сформированы следующими доминантными видами: *Atriplex cana*, *Anabasis salsa*, *Halimione verrucifera*, *Nanophyton erinaceum*, *Halocnemum strobilaceum*, *Kalidium schrenkianum*, *Artemisia schrenkiana*, *A. pauciflora*, *A. nitrosa*.

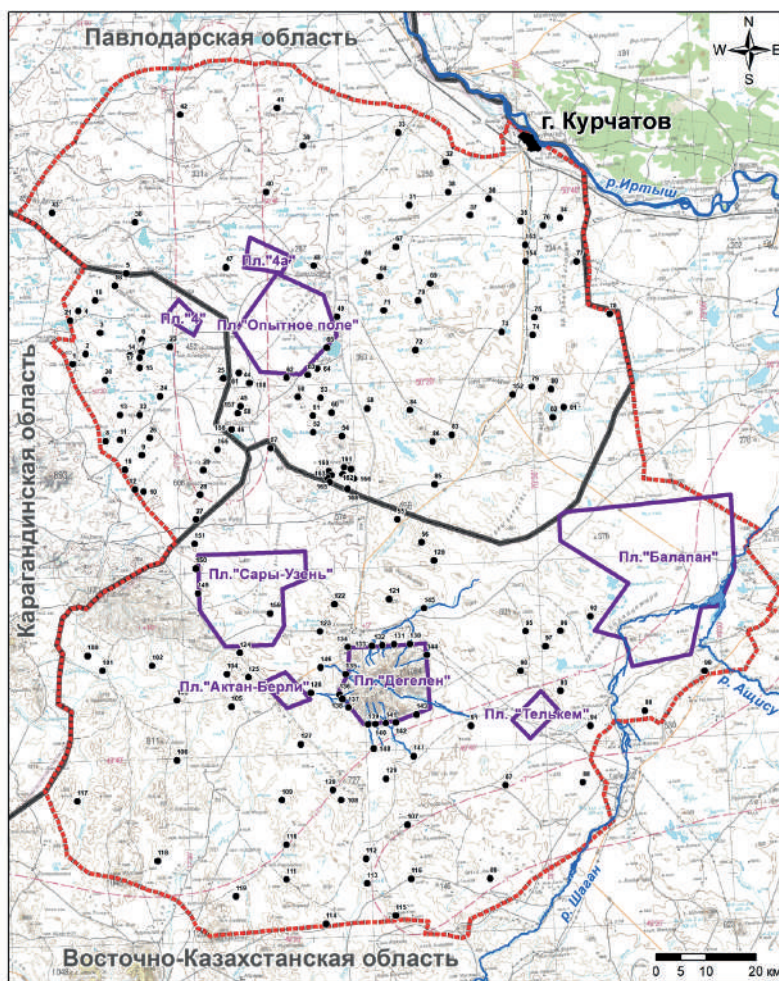
Результаты исследований.

С целью получения данных о содержании радионуклидов в растительном покрове на территории СИП закладывались исследовательские участки для отбора проб растений. Для корректной оценки радиационного состояния растительного мира при определении участков отбора проб, в первую очередь, учитывались следующие условия:

- 1) места радиоактивных выпадений;
- 2) зоны выноса радионуклидов с водотоками;
- 3) условно «фоновые» территории СИП.

Затем расположение выбранных участков корректировалось с учетом схемы распределения геоботанических контуров на обследу-

емой территории. Выбранные участки максимально охватывали выделенные экосистемы СИП, особенно те, которые характеризуются относительно высокой продуктивностью (экосистемы аллювиальных и аккумулятивных равнин и т.д.). Всего с учетом всех условий заложено более 160 исследовательских участков: из них 30 – в области радиоактивных выпадений, более 10 – в зоне выноса радионуклидов с водотоками и более 120 – на условно «фоновой» территории СИП.



Условные обозначения

- граница СИП
- границы испытательных площадок
- границы областей
- точки отбора проб растений

Рисунок 2.29. Карта-схема отбора проб растений и почвы

На каждом исследовательском участке производился отбор проб растений. Пробы растений отбирались с площади 1 м² или более, в зависимости от проективного покрытия участка. Растительные образцы включали смешанную надземную часть степного разнотравья с доминированием ковылей (*Stipa capillata*, *S. sareptana*, *S. lessingiana*), типчака (*Festuca valesiaca*) и полыней (*Artemisia gracilescens*, *A. Frigida* и др.), так как данные представители фитоценозов СИП составляют основу кормовой базы копытных животных. Надземную часть растений срезали на расстоянии 3 см от поверхности почвы.

Во всех отобранных образцах растений и почвы определялась удельная активность радионуклидов ¹³⁷Cs, ²⁴¹Am, ⁹⁰Sr и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu.

Результаты вариационно-статистического анализа полученных значений удельной активности радионуклидов ¹³⁷Cs, ²⁴¹Am, ⁹⁰Sr и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в растительных образцах представлены в таблице.

Таблица 2.15. Статистические показатели значений удельной активности радионуклидов ¹³⁷Cs, ²⁴¹Am, ⁹⁰Sr и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в растительном покрове СИП

Радионуклид	Вариационно-статистические показатели			
	Кол-во	мин - макс, Бк/кг сред.арифм.(ст.откл.)	Медиана	V, %
Область радиоактивных выпадений				
¹³⁷ Cs	61	<u>(0,3 – 79)</u> 4,4 (2,2)	2,3	98
²⁴¹ Am		<u>(0,12 – 22)</u> 1,6 (0,8)	0,6	87
⁹⁰ Sr		<u>(1,9 – 171)</u> 17 (15)	5,7	106
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu		<u>(0,1 – 160)</u> 8,6 (26)	0,7	299
Область выноса радионуклидов с водотоками				
¹³⁷ Cs	15	<п.о.	-*	-*
²⁴¹ Am		<п.о.	-*	-*
⁹⁰ Sr		<u>(0,6 – 330)</u> 34 (98)	3,6	286
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu		<u>(0,1 – 1,5)</u> 0,5 (0,5)	0,2	112

Радионуклид	Вариационно-статистические показатели			
	Кол-во	мин - макс, Бк/кг сред.арифм.(ст.откл.)	Медиана	V, %
Условно «фоновая» территория				
¹³⁷ Cs	92	$\frac{(0,2 - 4,4)}{1,1 (0,8)}$	0,9	78
²⁴¹ Am		$\frac{(0,1 - 0,3)}{0,2 (0,04)}$	0,2	23
⁹⁰ Sr		$\frac{(0,9 - 42)}{7,0 (8,5)}$	5,0	120
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu		$\frac{(0,1 - 0,6)}{0,2 (0,2)}$	0,2	67
п.о. – предел обнаружения; *- данные не получены.				

В результате измерений образцов растений установлено, что содержание радионуклидов ¹³⁷Cs, ²⁴¹Am, ⁹⁰Sr и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в растительном покрове на обследуемой территории СИП варьирует в широком диапазоне значений. Так, сравнительный анализ средних значений удельной активности в растениях с медианами показал, что максимальный разброс концентраций отмечен для радионуклидов ⁹⁰Sr и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в растительном покрове области радиоактивных выпадений, а также для ⁹⁰Sr – в области выноса с радиоактивными водотоками. Высокие показатели коэффициентов вариации удельной активности указывают на значительную неоднородность содержания радионуклидов в растительном покрове обследуемой территории СИП, особенно это характерно для ⁹⁰Sr и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu. Большой разброс и неоднородность концентраций радионуклидов в растительном покрове очевидно обусловлены как характером радиоактивного загрязнения почвы, так и физико-химическими свойствами форм нахождения радионуклидов в ней.

По полученным данным построены карты распределения радионуклидов ¹³⁷Cs, ²⁴¹Am, ⁹⁰Sr и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в объектах растительного мира на обследуемой территории СИП (Рисунок 2.30, Рисунок 2.31, Рисунок 2.32, Рисунок 2.33).

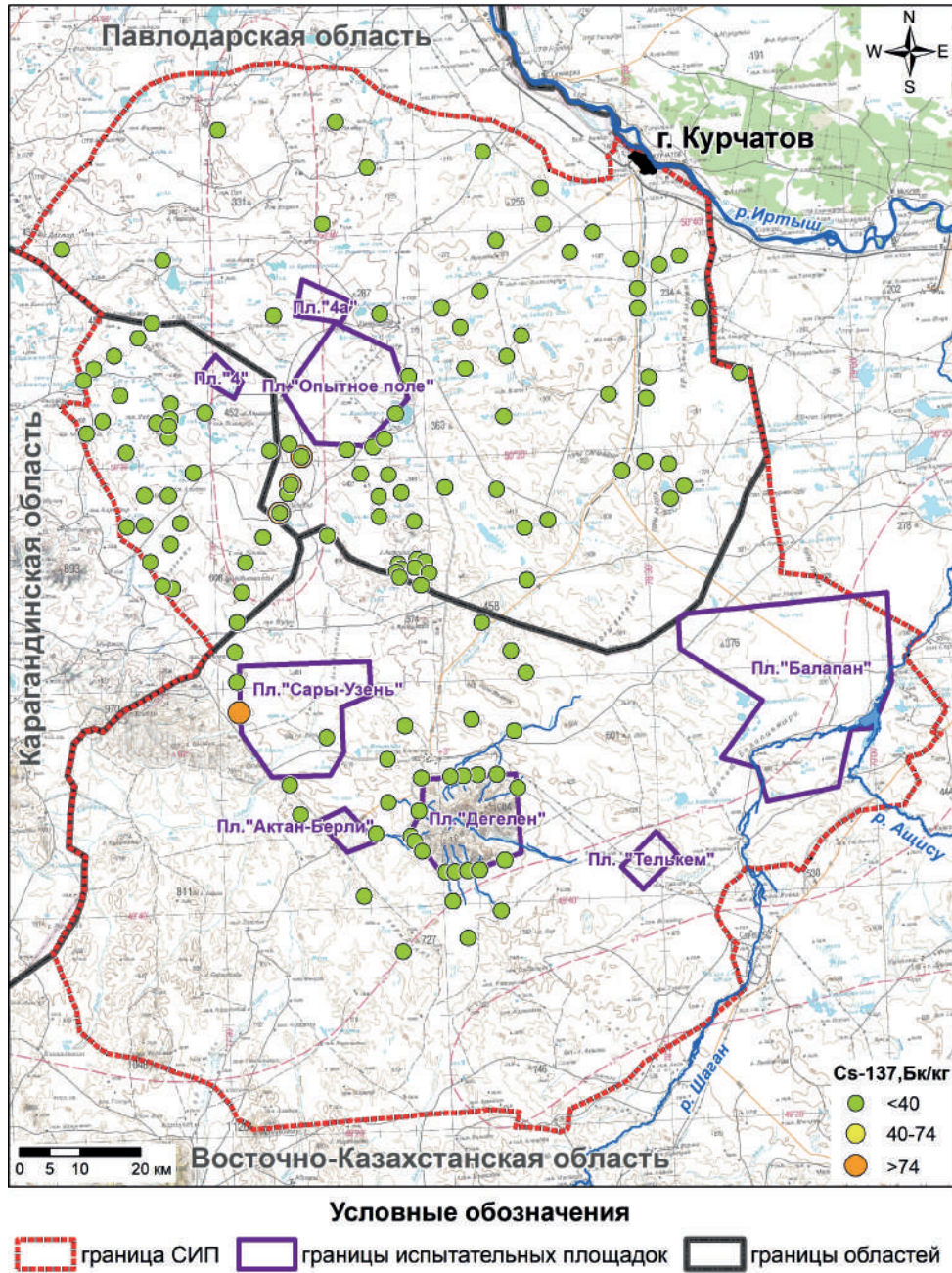
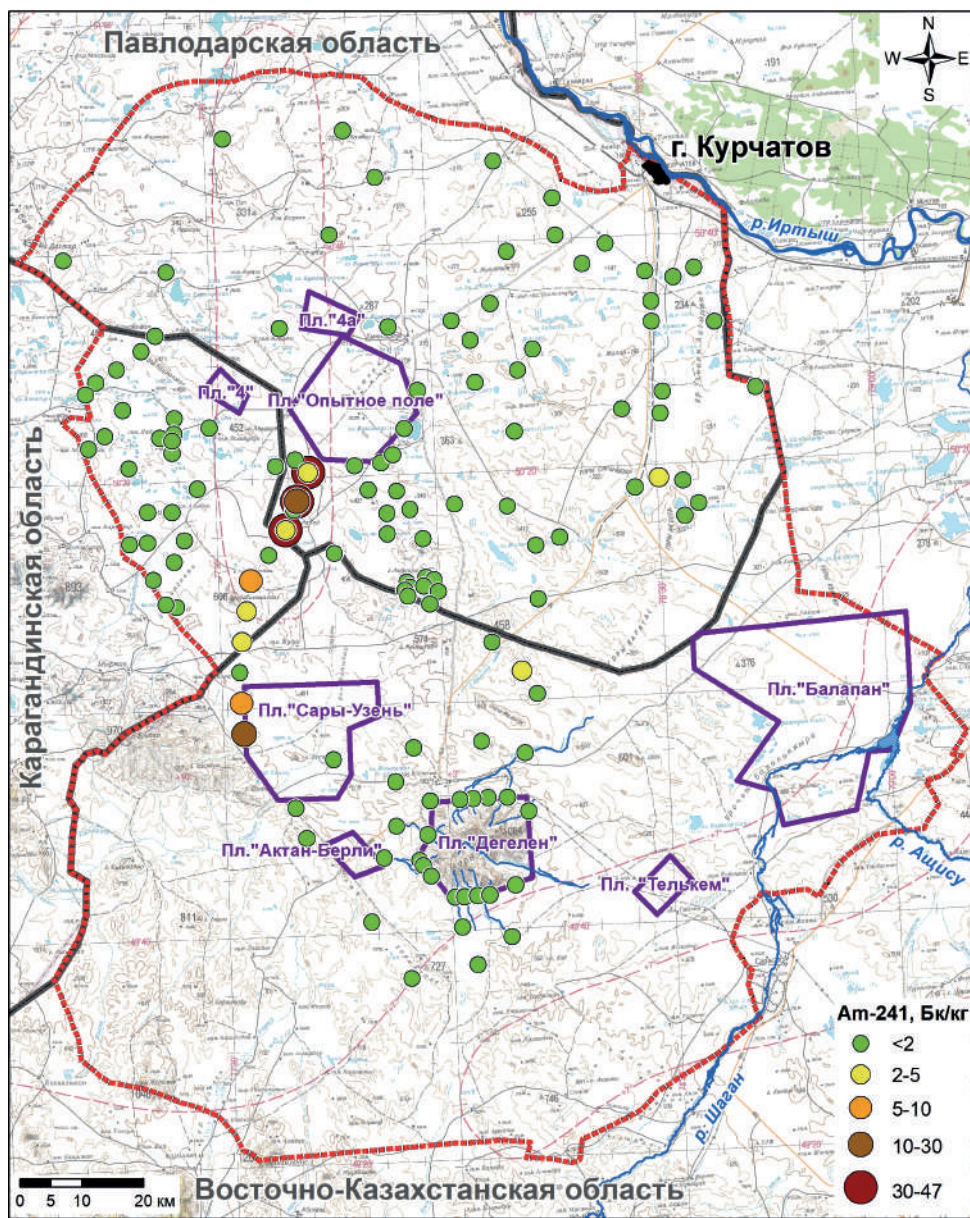


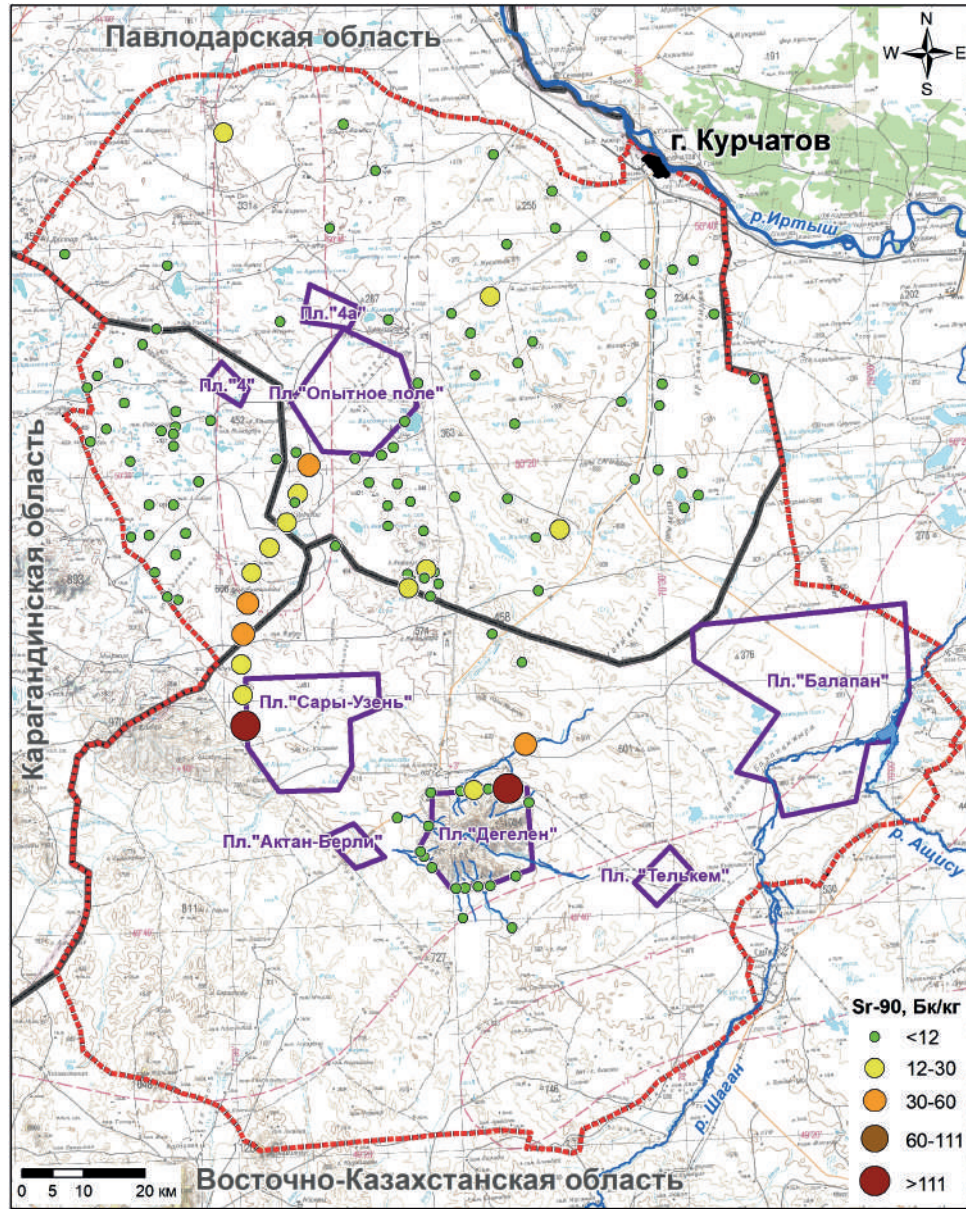
Рисунок 2.30. Распределение радионуклида ^{137}Cs в растительном покрове СИП



Условные обозначения

 граница СИП
 границы испытательных площадок
 границы областей

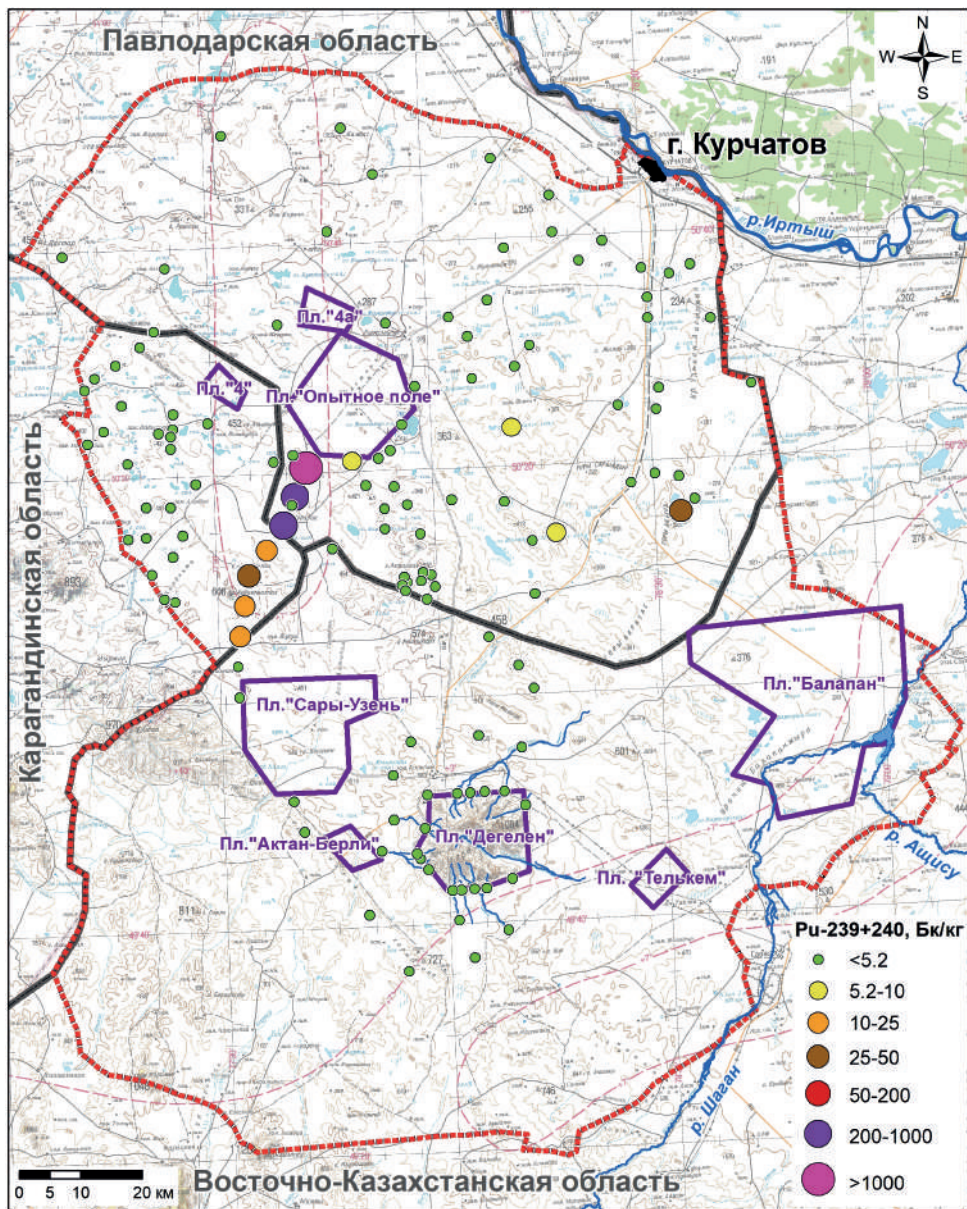
Рисунок 2.31. Распределение радионуклида ^{241}Am в растительном покрове СИП



Условные обозначения

--- граница СИП --- границы испытательных площадок --- границы областей

Рисунок 2.32. Распределение радионуклида ^{90}Sr в растительном покрове СИП



Условные обозначения

- граница СИП
 границы испытательных площадок
 границы областей

Рисунок 2.33. Распределение радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ в растительном покрове СИП

В растительном покрове условно «фоновой» территории СИП содержание радионуклидов характеризуется минимальными значениями, либо находится ниже пределов используемого аппаратно-методического обеспечения.

В области радиоактивных выпадений для всех исследуемых радионуклидов отмечаются повышенные значения удельной активности в растительном покрове. Так, в районе «следа» радиоактивных выпадений от ядерного испытания, произведенного 24 сентября 1951 года, на границе с площадкой «Сары-Узень», установлено превышение предельно-допустимых уровней радиоактивного загрязнения кормовых растений для радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr (^{137}Cs – 74 Бк/кг; ^{90}Sr – 111 Бк/кг) (Рисунок 2.30) [88].

Концентрация трансурановых радионуклидов ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ в растениях не нормируется, но, исходя из степени их радиотоксичности, можно предположить, что допустимые уровни будут ориентировочно на порядок меньше, чем для ^{90}Sr (111 Бк/кг) [88]. Учитывая расчетные предельно-допустимые уровни для трансурановых радионуклидов также отмечено превышение их содержания вдоль следа радиоактивных выпадений от ядерного испытания 1951 года: от 2 до 3 раз – для ^{241}Am и от 2 до 15 раз – для $^{239+240}\text{Pu}$ (Рисунок 2.30).

В области выноса радиоактивных водотоков удельная активность ^{137}Cs и ^{241}Am в растительном покрове находится ниже пределов используемого аппаратно-методического обеспечения. Содержание $^{239+240}\text{Pu}$ в большинстве случаев не превышает 0,2 Бк/кг, что ниже расчетного предельно-допустимого уровня. Для радионуклида ^{90}Sr в растениях отмечено превышение предельно-допустимого уровня (^{90}Sr – 111 Бк/кг) [88] только на одном исследовательском участке на границе с площадкой «Дегелен» в русле ручья Карабулак.

В растительном покрове остальной территории СИП содержание всех радионуклидов характеризуется минимальными значениями и не превышает допустимых уровней [88].

Выводы

В целом, радиационное состояние растительного мира на большей части территории СИП, в том числе в районе бывших испытательных площадок (за их границами) с точки зрения содержания радионуклидов ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{90}Sr , ^{137}Cs не представляет опасности при ее использовании в хозяйственной деятельности. Исключение составляет лишь область «следа» радиоактивных выпадений от ядерного испытания, произведенного 24 сентября 1951 года и участок выноса радиоактивных водотоков на границе площадки «Дегелен» в районе ручья Карабулак.

2.9 Радиационное состояние животного мира

Фауна позвоночных и беспозвоночных животных территории СИП достаточно разнообразна.

Проводимые в ходе полевых работ наблюдения, а также анализ литературных материалов [1, 2; 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13] позволили установить, что фауна позвоночных животных обследуемой территории состоит из 199 видов, в том числе птиц – 147, млекопитающих – 45, пресмыкающихся – 7. В Красные книги Международного союза охраны природы и Казахстана внесены 16 видов.

Необходимо отметить, что наличие целого ряда видов животных на обследуемой территории СИП, нужно рассматривать как вероятное, исходящее из имеющихся в литературе данных по ареалам распространения и точек их обнаружения в более ранние сроки.

Ихтиофауна. Ихтиофауна на обследуемой территории, обитает, в основном, в реках Иртыш и Шаган, «Атомном озере», ручьях горного массива Дегелен, а также в многочисленных соленых озерах. Она представлена 2 видами круглоротых и 18 видами костных рыб (из 104 обитающих в Казахстане). Наи-

более многочисленны представители отряда карпообразных – 11 видов. К ценным промысловым рыбам относятся осетрообразные (сибирский осетр, стерлядь), лососеобразные (щука) и трескообразные (налим). Один представитель отряда лососеобразных – нельма – занесен в Красную книгу Республики Казахстан.



Рисунок 2.34. Отлов сазана в «Атомном озере» для исследований

Класс Пресмыкающиеся. Пресмыкающиеся на обследуемой территории СИП представлены 7 видами (в Казахстане 49 видов). Наиболее многочисленны представители подотряда ящериц – такырная круглоголовка, разноцветная ящурка и прыткая ящерица, плотность заселения которых может достигать значительных величин. Подотряд змей представлен 4 видами, самый распространенный и массовый из них узорчатый полоз, остальные 3 довольно редки и малочисленны [100].

Класс Земноводные. Земноводные представлены двумя видами – зеленая жаба (*Bufo viridis*), и остромордая лягушка (*Rana arvalis*). Оба вида зафиксированы на территории горного массива Дегелен.



Рисунок 2.35. Самец прыткой ящерицы

Класс Птицы. Орнитофауна обследуемой территории СИП чрезвычайно многообразна, здесь встречаются 147 видов птиц из 15 отрядов (всего в Казахстане 488 видов птиц). Наиболее разнообразно представлены околородные птицы. По берегам рек и озер обитают и гнездятся гусеобразные – 13 видов; ржанкообразные – 23 вида. Много также и мелких воробьиных птиц – 51. Представителей отряда дневных хищников (соколообразных) – 19 видов. Велико число редких и охраняемых птиц, в Красную книгу Казахстана занесено 14 видов [89, 93, 102, 103, 104].



Рисунок 2.36. Птенец степного орла

Класс Млекопитающие. Из 178 видов млекопитающих, обитающих на территории Казахстана, на территории СИП встречаются 45 видов из 6 отрядов. Большинство видов принадлежит отряду грызунов. В Красную книгу Казахстана занесено два вида – перевязка (*Vormela peregusna*) из отряда хищных и архар (*Ovis ammon*) из отряда парнокопытных [103, 93, 97].



Рисунок 2.37. Архар, запечатленный фотоловушкой на площадке «Дегелен»

В ходе выполнения полевых работ на территории СИП зафиксировано наличие 4-х видов млекопитающих, относящихся к объектам промысловой и любительской охоты. Это заяц русак (*Lepus europaeus*), обыкновенный барсук (*Meles meles*), обыкновенная лисица (*Vulpes vulpes*) и сибирская косуля (*Capreolus pygargus*). Также зафиксировано 8 видов птиц, являющихся объектами промысловой и любительской охоты. Это тетерев (*Lagopus lagopus*), серая куропатка (*Perdix perdix*), серый гусь (*Anser anser*), кряква (*Anas platyrhynchos*), чирок-свистунок (*A. crecca*), серая утка (*A. strepera*), шилохвость (*A. acuta*), широконоска (*A. clu-peata*). Отмечена достаточно большая численность сайги (*Saiga tatarica*), отнесенной Международным союзом охраны природы к категории CR (находящийся в критическом состоянии). От-

дельные группы этих животных превышали 700-800 голов. В пределах площадки «Дегелен» фиксировалось до 54 особей этого животного.

Оценка радиационного состояния животного мира проводилась двумя способами: прямым измерением концентраций радионуклидов в организме диких животных, которых удалось отловить, а также расчетным методом определения содержания радионуклидов в организме животных, который основан на измерениях рациона животных и его фекалий, т.е. без отлова животного.

Прямые измерения

Для оценки радиационного состояния животного мира СИП проводилось определение содержания радионуклидов в мышечных тканях (в мясе) диких животных. Для этой цели добывались виды диких животных, относящихся к объектам любительской и промысловой охоты – заяц русак (*Lepus europaeus*), обыкновенный барсук (*Meles meles*), сибирская косуля (*Capreolus pygargus*). Также отбирались птицы, являющиеся объектами промысловой и любительской охоты – тетерев (*Lagopus tetrix*), серая куропатка (*Perdix perdix*), серый гусь (*Anser anser*), кряква (*Anas platyrhynchos*), чирок-свистунок (*A. crecca*), серая утка (*A. strepera*), шилохвость (*A. acuta*), широконоска (*A. clupeata*). В мышечной ткани (в мясе) добытых животных определялась удельная активность радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$.

Полученные результаты определения содержания радионуклидов в мышечных тканях (в мясе) диких животных участков СИП, на которых не проводились испытания ядерного оружия показали, что удельная активность радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ не превышает пределов обнаружения для используемой аппаратурно-методической базы. Для ^{137}Cs , ^{90}Sr полученные значения удельной активности не превышают допустимых уровней,

указанных в Гигиенических нормативах «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» для мяса диких животных [48]. ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ в мясе диких животных не нормируется.

Расчетная оценка радиационного состояния животного мира

В связи со сложностью отлова диких животных, необходимых для отбора проб мышечных тканей (мяса) по равномерной сети, ввиду различных факторов (отсутствие животных на момент отлова и др.), дополнительно применялся расчетный метод определения удельной активности радионуклидов в объектах животного мира, который основан на предположении, что основными загрязнителями организма диких животных в местах, где отсутствуют промышленные предприятия и другие объекты хозяйственной деятельности, являются компоненты природной среды, входящие в состав их рациона. Учитывая, что ареал обитания дикого животного может достигать нескольких сотен квадратных километров, практически невозможно определить удельную активность радионуклидов в его рационе. Поэтому принимается допущение, что удельная активность радионуклидов в рационе животного соответствует удельной активности радионуклидов в фекалиях этого животного. Следовательно, расчетный метод основан на измерении удельной активности радионуклидов в фекалиях животного, с последующим пересчетом на удельную активность радионуклидов в организме животного.

Так как удельная активность радионуклидов ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ в мясе диких животных не нормируется, мясо диких животных не используется при расчете дозовой нагрузки, а также данные радионуклиды обладают очень низкими миграционными свойствами по пищевым цепям, то расчетная оценка была проведена только для радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr . Для определения удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в мышечных тканях (в мясе) диких животных расчетным методом проведен отбор 168 проб фекалий ко-

пытных животных (как диких, так и сельскохозяйственных на свободном выпасе) – козулей, сайгаков, архаров, лошадей. Отбор проб проведен из расчета одна проба на 100 км². Пробы отбирались по относительно равномерной сети на обследуемой территории (Рисунок 2.38).

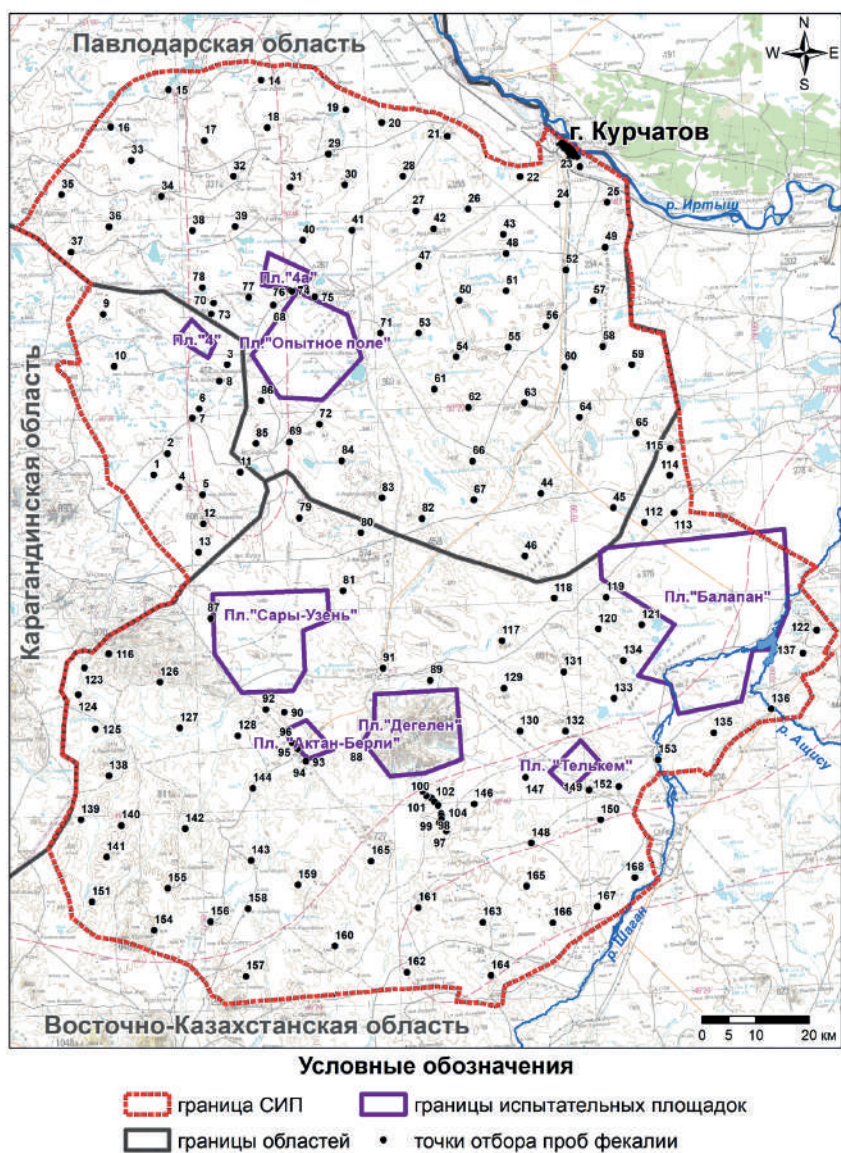


Рисунок 2.38. Схема расположения точек отбора проб фекалий копытных животных

На рисунках (Рисунок 2.39, Рисунок 2.40) показано распределение удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в фекалиях крупных копытных животных относительно их расположения на территориях СИП, на которых не проводились ядерные испытания (вне испытательных площадок).

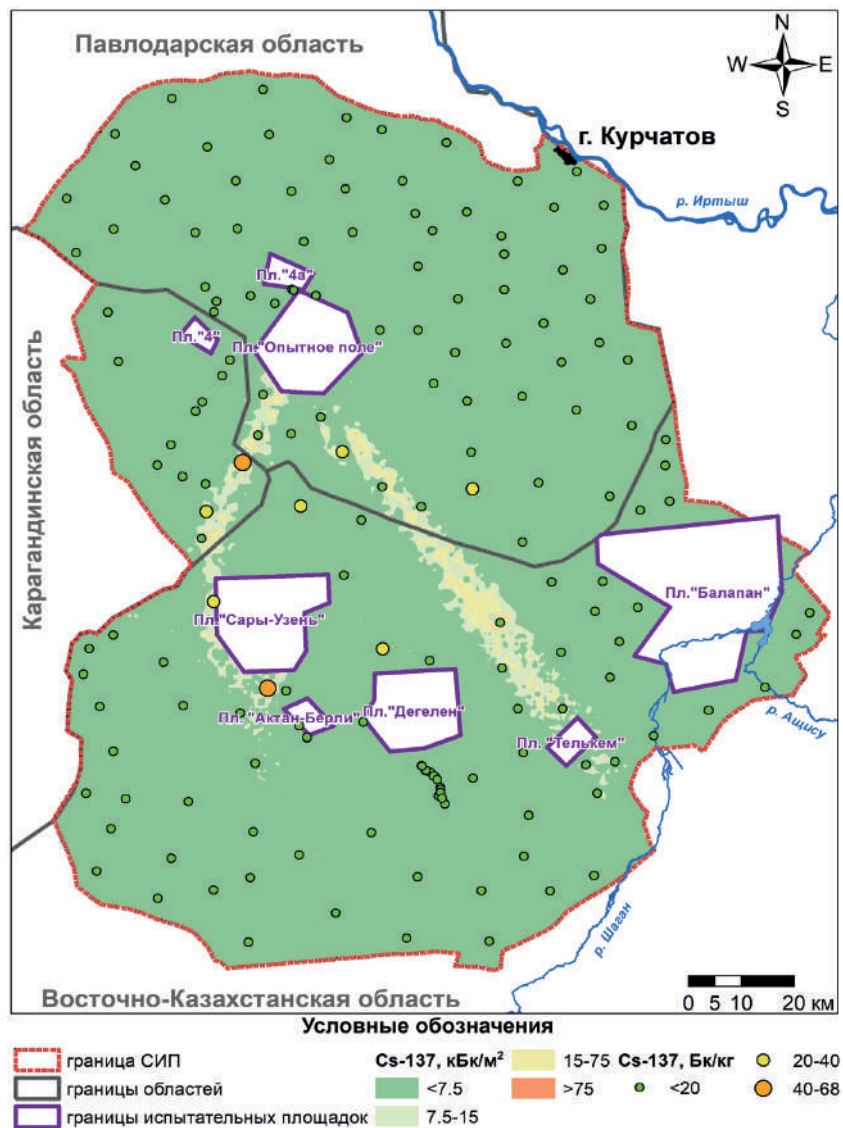


Рисунок 2.39. Удельная активность радионуклида ^{137}Cs в фекалиях крупных копытных животных

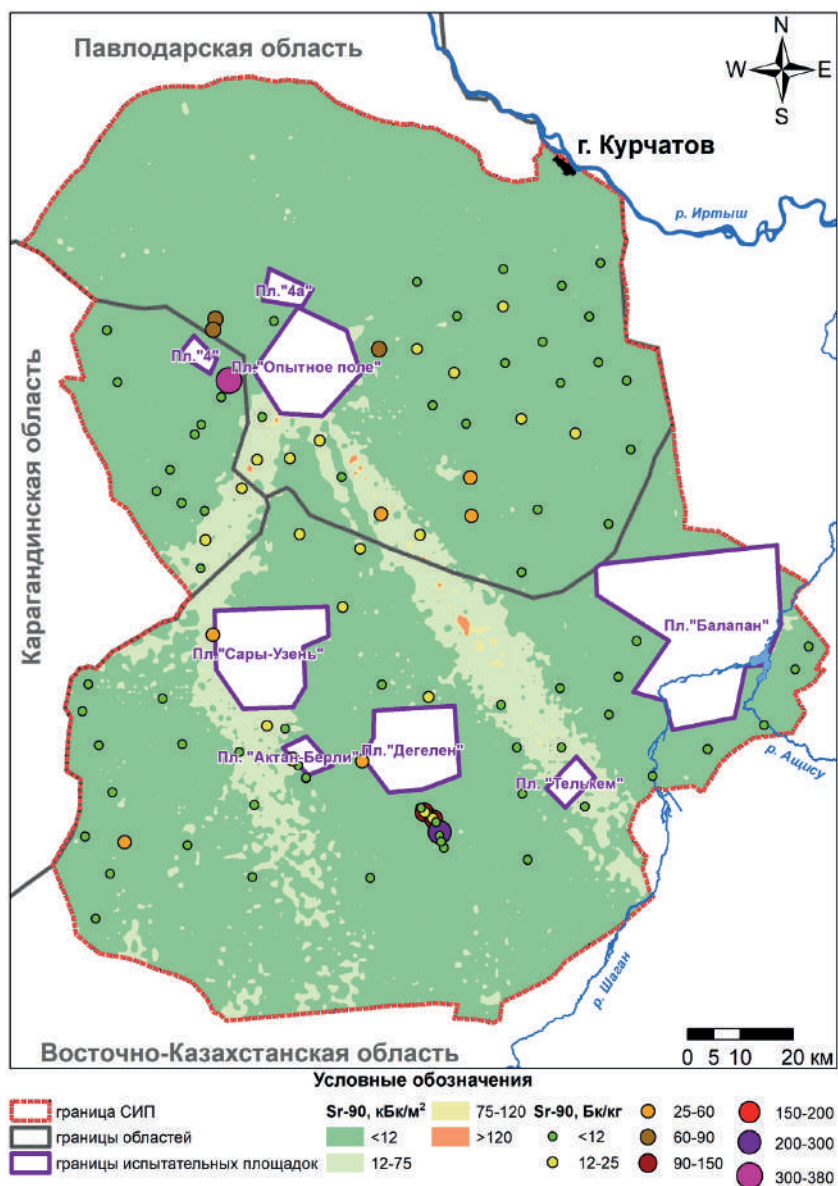


Рисунок 2.40. Удельная активность радионуклида ^{90}Sr в фекалиях крупных копытных животных

Видно, что повышенные значения удельной активности радионуклидов фиксируются в фекалиях крупных копытных животных, обитающих или выпасаемых в районах, прилегающих непосредственно к испытательным площадкам «4», «4А», «Опытное поле»,

«Дегелен», либо в областях повышенных значений удельной активности радионуклидов в почвенном покрове, обусловленных радиоактивными выпадениями в виде следов от ядерных испытаний. При этом случаи фиксирования повышенных значений удельных активностей радионуклидов единичны. Так, при полученных значениях удельной активности радионуклида ^{137}Cs в фекалиях животных на всей территории СИП, изменяющихся в пределах $<0,1-66,5$ Бк/кг, среднее значение составило $4,9$ Бк/кг. При изменении удельной активности радионуклида ^{90}Sr в пределах $<0,6-353,5$ Бк/кг его среднее значение составило $22,6$ Бк/кг. Из-за свободного перемещения животных по территории СИП, включая территории испытательных площадок, выделять какую-либо территорию повышенных значений удельной активности радионуклидов в фекалиях крупных копытных животных нецелесообразно. Поэтому при расчете возможного содержания радионуклидов в организме диких животных (мышечной ткани) использовали средние значения удельной активности радионуклидов в фекалиях крупных копытных животных ($^{137}\text{Cs} - 4,9$ Бк/кг, $^{90}\text{Sr} - 22,6$ Бк/кг).

Полученные значения удельной активности радионуклидов в фекалиях используются для расчета возможного поступления радионуклидов в организм диких животных с рационом, при их кормлении на обследуемом участке.

Расчет удельной активности радионуклидов в мясе диких животных по удельной активности радионуклидов в их фекалиях выполнялся по формуле:

$$A_{m,i,n, пр} = V_{корм} \times A_{m,i,k, корм} \times K_{n,i,корм}$$

где:

$A_{m,i,n, пр}$ – удельная активность i -го радионуклида в мясе диких животных;

$V_{корм}$ – суточное потребление корма, кг/сутки;

$A_{m,i,k, корм}$ – удельная активность i -го радионуклида в корме (фекалиях), Бк/кг;

$K_{n,i,корм}$ – коэффициент перехода i -го радионуклида из корма на 1 килограмм (литр) продукции.

Суточное потребление растительного корма для сайги и косули принималось равным 2 кг в сутки (как для овец), для лося – 18 кг (как для лошади) [105].

Коэффициенты перехода радионуклидов в мышечную ткань (мясо) приведены в документе МАГАТЭ – TRS-472 (Ff – «Feed transfer coefficient») [106]. Оценка проводилась для копытных животных, наиболее распространенных на обследуемом земельном участке (лось, сайга, косуля). Для сайги и косули взяты Ff, приведенные для овец, для лося – для крупного рогатого скота. В таблице (Таблица 2.16) приведены средние значения коэффициентов перехода радионуклидов в баранину и говядину.

Таблица 2.16. Средние значения коэффициентов перехода радионуклидов в тело животного

Вид продукции	F _f из корма на 1 кг (л) продукции	
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Баранина (для сайги, косули)	$1,9 \times 10^{-1}$	$1,5 \times 10^{-3}$
Говядина (для лося)	$2,2 \times 10^{-2}$	$1,3 \times 10^{-3}$

Значения удельной активности радионуклидов в мышечных тканях (в мясе) диких животных расчетным методом рассчитаны по формуле (1) и представлены в таблице (Таблица 2.17).

Таблица 2.17. Прогнозируемая удельная активность радионуклидов в мясе диких животных, обитающих на участках СИП, на которых не проводились испытания ядерного оружия (территория между площадками)

Вид продукции	Содержание радионуклидов, Бк/кг					
	¹³⁷ Cs			⁹⁰ Sr		
	среднее	минимум	максимум	среднее	минимум	максимум
Мясо (сайга, косуля)	1,9	0,01	172,9	0,07	0,0004	2,8
Мясо (лось)	1,9	0,08	114,9	0,5	0,002	58,5
Допустимый уровень [48]	300			100		

Полученные значения ожидаемой удельной активности радионуклидов ^{137}Cs в мясе диких животных варьируют в пределах от 0,01 до 173 Бк/кг, ^{90}Sr – от 0,0004 до 58,5 Бк/кг, что не превышает допустимых уровней, указанных в Гигиенических нормативах «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» для мяса диких животных [48].

Таким образом, прямыми измерениями и расчетным методом установлено, что на территории СИП, на которой не проводились испытания ядерного оружия, превышения допустимых значений удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в мясе диких животных не ожидается. Ожидаемые максимальные значения удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в мясе диких животных в 1,7 раз (для обоих радионуклидов) меньше допустимых уровней содержания радионуклидов в мясе диких животных согласно Гигиеническим нормативам «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» [48].

Выводы

Таким образом, прямыми измерениями и расчетным методом установлено, что на территории СИП, вне испытательных площадок, превышения допустимых значений удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в мясе диких животных не ожидается. Так как удельная активность радионуклидов ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ в мясе диких животных не нормируется, мясо диких животных не используется при расчете дозовой нагрузки, а также данные радионуклиды обладают очень низкими миграционными свойствами по пищевым цепям оценка их содержания в мясе диких животных не проводилась. Однако прямые измерения содержания радионуклидов ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ в мясе диких животных показали, что они не превышают пределов обнаружения для используемой аппаратурно-методической базы.

2.10 Оценка радиационного состояния сельскохозяйственной продукции

Для расчета дозы облучения населения, помимо информации о содержании радионуклидов в объектах окружающей среды, необходима информация о содержании радионуклидов в растениеводческой и животноводческой продукции, производимой на обследуемых земельных участках. Поэтому в рамках комплексного обследования СИП проведена оценка радиационного состояния данной продукции.

Практически вся обследуемая территория по своим природным особенностям (почвенно-растительная характеристика, рельеф) представляет собой пастбищные угодья. Поэтому основной отраслью сельского хозяйства в перспективе является животноводство. Однако, вследствие ведения бессистемной пастьбы происходит деградация растительного покрова и, как следствие, кормовой базы, поскольку на данной территории пастбища дают не менее 80-90 % годового баланса кормов [107]. Поэтому при условии научно-обоснованной организации пастбищных территорий перспективным является развитие небольших животноводческих ферм, занимающихся разведением традиционных для данного региона сельскохозяйственных животных – овец, коров, лошадей.

Также могут получить распространение степные сенокосы – периодически выкашиваемые сельскохозяйственные угодья, то есть пастбища с зональной растительностью степного типа. При применении комплексных приемов мелиорации (внесение минеральных и органических удобрений, микроэлементов, орошения и др.) на обследуемой территории возможно получение зерновых злаков (рожь, пшеница, ячмень, овес). Однако, такой вид деятельности, вероятнее всего, будет нерентабелен в связи с необходимостью сооружения протяженных систем орошения, связанных с рекой Иртыш, ввиду практического отсутствия пресных водоемов на территории СИП (за исключением ручьев горного массива Дегелен). Для обеспечения потребностей населения фермерских

хозяйств возможно получение огородной растительной продукции с приусадебных участков, организованных на этих фермах.

Таким образом, возможной отраслью сельского хозяйства на обследуемой территории является животноводство, основанное на принципе «Фермер, ведущий подсобное хозяйство». Из отрасли растениеводства могут получить распространение приусадебные участки, организованные на этих фермах для обеспечения потребностей населения фермерских хозяйств огородной продукцией.

Радиационное состояние растениеводческой продукции, которая может быть произведена на обследуемом земельном участке

На территории СИП растениеводческая продукция не производится. Однако данные о возможном содержании радионуклидов в растениеводческой продукции нужны для оценки дозовой нагрузки на население от внутреннего облучения с продуктами питания. Поэтому было принято решение оценить радиационное состояние растениеводческой продукции, которая может быть произведена на обследуемом земельном участке, расчетным методом, на основании данных о содержании радионуклидов в почвенном покрове и коэффициентов переноса радионуклидов из почвы в сельскохозяйственные растения. В используемой методике расчета доз внутреннего облучения человека [108] используются значения удельных активностей радионуклидов в таких видах продукции как пшеница (зерно), картофель (клубни), овощи и фрукты (плоды). Поэтому расчет проводился именно для этих растениеводческих культур.

Для оценки радиационного состояния растениеводческой продукции рассчитывалась удельная активность основных долгоживущих искусственных радионуклидов ^{137}Cs , ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{90}Sr в ней.

Расчет удельной активности радионуклидов в растениеводческой продукции выполнялся по формуле:

$$A_{m,i,n, \text{ прод}} = A_{i,0-20} \times F_v \times \frac{K_{\%}}{100}$$

где:

$A_{m,i,n, \text{ прод}}$ – удельная активность i -го радионуклида в растениеводческой продукции, Бк/кг;

$A_{i,0-20}$ – удельная активность i -го радионуклида в слое почвы 0-20 см, Бк/кг;

F_v – коэффициент переноса радионуклидов из почвы в растения, определяющий отношение удельной активности i -го радионуклида в растениеводческой продукции к удельной активности i -го радионуклида в слое почвы 0-20 см.;

$K_{\%}$ – процент содержания сухого вещества в общей массе пробы растениеводческой продукции.

При выборе значений коэффициентов переноса радионуклидов из почвы в растения (F_v), в первую очередь, учитывалось их наличие именно для исследуемого региона. Специалистами Национального ядерного центра РК на территории СИП проведена серия натуральных экспериментов, направленных на получение параметров перехода радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию на организовываемых на участках радиоактивного загрязнения так называемых «экспериментальных фермерских хозяйств». В результате проведенных исследований удалось получить параметры перехода искусственных радионуклидов из почвы в основную растениеводческую продукцию, выращиваемую в регионе. Данные параметры возможно применять в различных прогностических моделях оценки миграции радионуклидов по пищевым цепям, оценки дозовых нагрузок и оценки рисков для человека. Основные результаты работ опубликованы в отчетах и публикациях [109, 110, 111, 112].

Таким образом, для расчета удельной активности радионуклидов в пшенице, картофеле и овощах использовались коэффициенты переноса полученные в ходе проведения серии натуральных

экспериментов в 2010–2013 годах на испытательной площадке «Опытное поле» [110]. Для фруктов подобные коэффициенты получены не были, в связи с чем использовались данные из материалов МАГАТЭ – TRS-472 (Таблица 2.18) [113].

Таблица 2.18. Значения коэффициентов переноса радионуклидов из почвы в растения (F_v) для растениеводческой продукции

Растениеводческая продукция	F_v			
	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$	^{241}Am
Пшеница	$4,1 \times 10^{-4}$	$2,6 \times 10^{-2}$	$8,1 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-3}$
Картофель (клубни)	$3,3 \times 10^{-3}$	$1,9 \times 10^{-2}$	$4,3 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-3}$
Овощи	$1,1 \times 10^{-2}$	$1,1 \times 10^{-1}$	$1,2 \times 10^{-3}$	$8,1 \times 10^{-4}$
Фрукты (плоды)	$3,6 \times 10^{-2}$	$3,6 \times 10^{-1}$	$6,2 \times 10^{-5}$	$7,9 \times 10^{-4}$

Используемые значения коэффициентов переноса радионуклидов из почвы в растения получены для сухой массы растений, а в методике расчета доз используются значения активности радионуклидов в сырой растениеводческой продукции. Поэтому для пересчета удельной активности на сырую массу использовались значения процента содержания сухого вещества в сельскохозяйственной продукции, приведенные в материалах МАГАТЭ (Таблица 2.19) [114].

Таблица 2.19. Процент содержания сухого вещества в общей массе пробы растениеводческой продукции ($K_{\%}$)

Вид растений	Сухое вещество, %
Пшеница (зерно)	88,0
Картофель (клубни)	49,0
Овощи	28,0
Фрукты (плоды)	18,4

Для пересчета сухой массы на сырой вес овощей и фруктов использованы значения, приведенные для капусты и винограда соответственно (как максимальные значения в своих подгруппах).

Расчет ожидаемой удельной активности радионуклидов произведен для каждой точки площадного обследования (более 20000

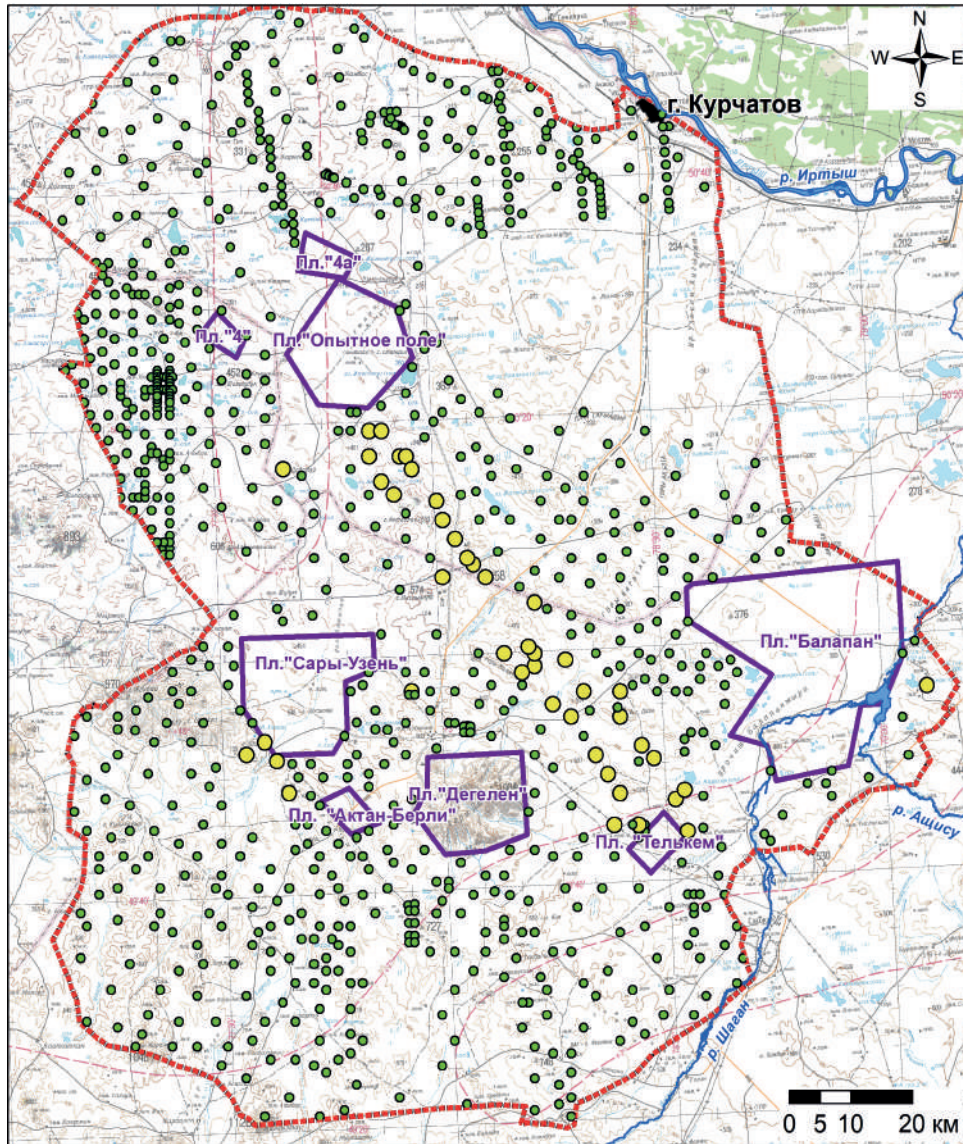
точек). Напомним, что на основании значений удельной активности радионуклидов в слое почвы 0-5 см и на основании информации о характере распределения радионуклидов по глубине почвенного профиля получены значения удельной активности радионуклидов в слое почвы 0-20 см ($A_{i,0-20}$), а именно эта глубина, как сказано выше, используется с применяемыми коэффициентами переноса радионуклидов из почвы в сельскохозяйственные растения. Поскольку комплексное обследование территории СИП проводилось с 2008 года по 2021 год, предварительно проведен пересчет удельных активностей радионуклидов в слое почвы 0-5 см с учетом их периодов полураспада на 2021 год.

Таким образом, диапазоны значений и средние значения рассчитанной удельной активности радионуклидов ^{137}Cs , ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{90}Sr в растениеводческой продукции, в сравнении с допустимыми уровнями их содержания в продукции, представлены в таблице (Таблица 2.20).

Таблица 2.20. Удельная активность радионуклидов в растениеводческой продукции

Вид продукции	Радионуклид	Среднее	Минимум	Максимум	Допустимый уровень
Пшеница (зерно)	^{241}Am	0,001	$1,3 \times 10^{-5}$	0,3	4
	^{137}Cs	0,003	$2,4 \times 10^{-6}$	0,1	70
	^{90}Sr	0,61	0,0002	72	40
	$^{239+240}\text{Pu}$	0,007	$5,5 \times 10^{-5}$	3,1	4
Картофель (клубни)	^{241}Am	0,0007	$6,9 \times 10^{-5}$	0,2	5
	^{137}Cs	0,1	$1,1 \times 10^{-5}$	0,7	500
	^{90}Sr	0,3	$9,7 \times 10^{-5}$	29	50
	$^{239+240}\text{Pu}$	0,002	$1,6 \times 10^{-5}$	0,9	5
Овощи	^{241}Am	0,0003	$2,9 \times 10^{-6}$	0,07	4
	^{137}Cs	0,02	2×10^{-5}	1,2	120
	^{90}Sr	0,8	0,0003	97	40
	$^{239+240}\text{Pu}$	0,003	$2,6 \times 10^{-5}$	1,5	4
Фрукты (плоды)	^{241}Am	$8,4 \times 10^{-5}$	$8,6 \times 10^{-6}$	0,02	3
	^{137}Cs	0,05	4×10^{-5}	2,4	40
	^{90}Sr	1,8	0,0007	209	30
	$^{239+240}\text{Pu}$	0,00012	$8,7 \times 10^{-5}$	0,05	3

Допустимые уровни содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческой продукции, установленные в Гигиенических нормативах «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» [48]. Содержание радионуклидов $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в пищевых продуктах не нормируется, однако, ввиду того, что в Гигиенических нормативах «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» [48] предел годового поступления с пищей для населения на порядок меньше, чем аналогичная величина для ^{90}Sr ($^{239+240}\text{Pu}$ – $2,4 \times 10^3$ Бк/год, ^{241}Am – $2,7 \times 10^3$ Бк/год, ^{90}Sr – $1,3 \times 10^4$ Бк/год) то, с учетом их большой радиотоксичности, можно предположить, что допустимые уровни по ним будут на порядок меньше, чем по ^{90}Sr . Допустимые уровни для $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в таблице (Таблица 2.20) приведены из этого расчета. Таким образом, максимальные ожидаемые значения для ^{137}Cs в растениеводческой продукции составили: для пшеницы – 0,1 Бк/кг, для картофеля – 0,7 Бк/кг, для овощей – 1,2 Бк/кг и для фруктов – 2,4 Бк/кг. Это в 700, 714, 100 и 16,7 раз, соответственно, меньше допустимых уровней. Максимальные ожидаемые значения для радионуклида ^{90}Sr в растениеводческой продукции составили: для пшеницы – 72 Бк/кг, для овощей – 97 Бк/кг и для фруктов – 209 Бк/кг. Это в 1,8, 2,4, и 7 раз, соответственно, больше допустимых уровней. Максимальное содержание ^{90}Sr в картофеле – 29 Бк/кг, что в 1,7 раз меньше допустимых уровней. Нужно отметить, что все значения удельной активности радионуклида ^{90}Sr , превышающие допустимые уровни [48], зафиксированы в районе испытательной площадки «4» и на территориях радиоактивных выпадений в виде следов (Рисунок 2.41, Рисунок 2.42, Рисунок 2.43, Рисунок 2.44).



Условные обозначения


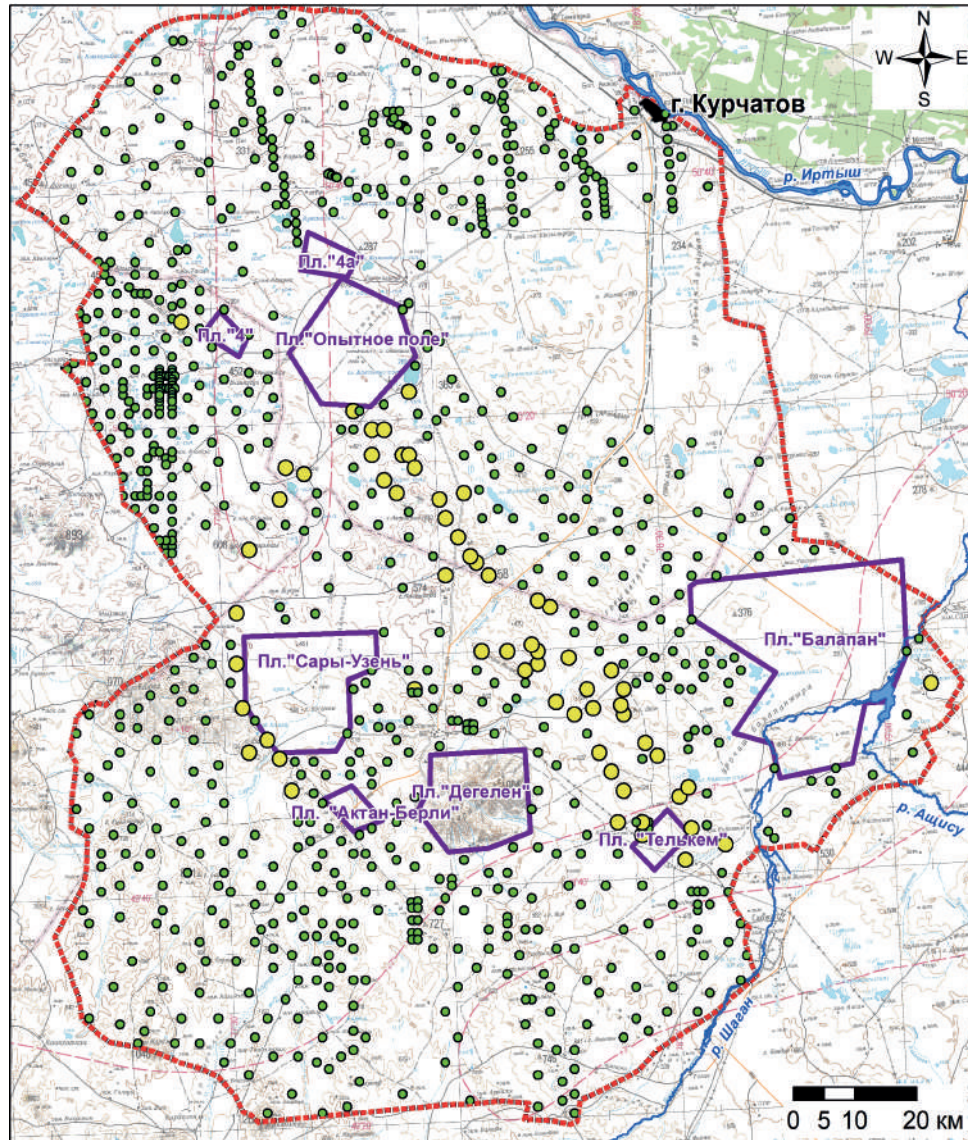
- | | |
|--|---|
|  граница СИП | Sr-90 в картофеле, Бк/кг |
|  границы испытательных площадок |  <50 |
| |  >50 |

Рисунок 2.41. Распределение по территории СИП прогнозируемой удельной активности радионуклида ^{90}Sr в картофеле



Условные обозначения





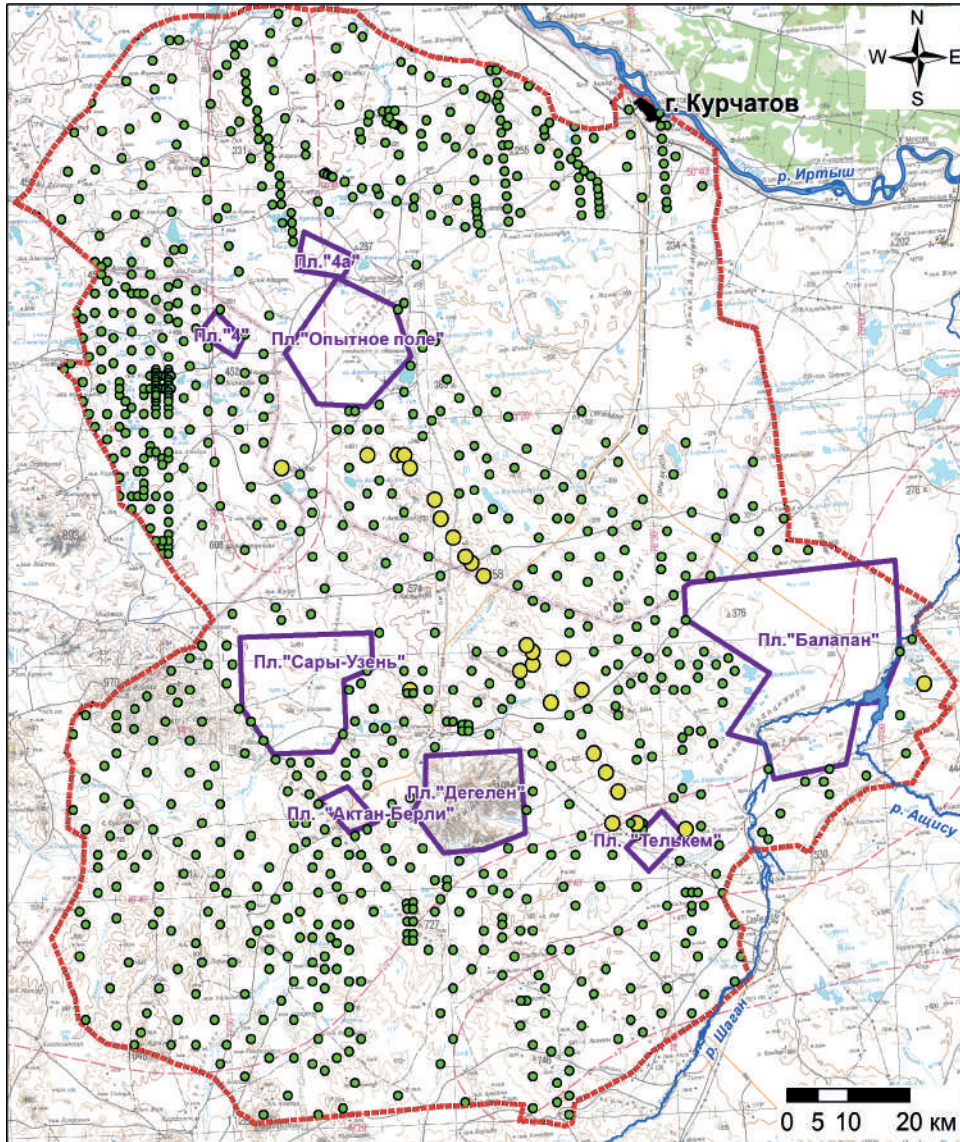
- | | |
|--|---|
|  граница СИП | Sr-90 в овощах, Бк/кг |
|  границы испытательных площадок |  <40 |
| |  >40 |

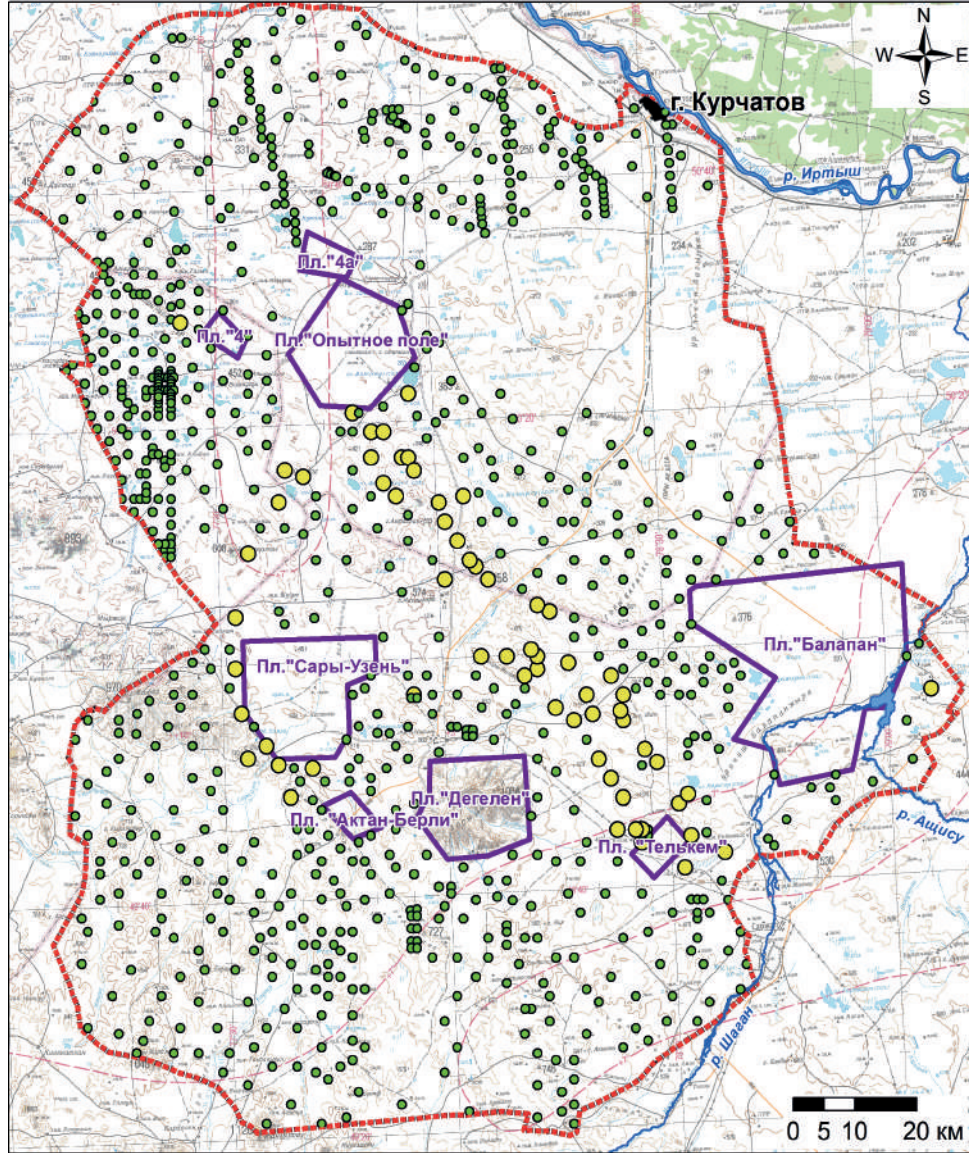
Рисунок 2.42. Распределение по территории СИП прогнозируемой удельной активности радионуклида ^{90}Sr в овощах



Условные обозначения

- | | |
|--|---|
|  граница СИП | Sr-90 в пшенице, Бк/кг |
|  границы испытательных площадок |  <40 |
| |  >40 |

Рисунок 2.43. Распределение по территории СИП прогнозируемой удельной активности радионуклида ^{90}Sr в пшенице



Условные обозначения


- | | |
|--|---|
|  граница СИП | Sr-90 в фруктах, Бк/кг |
|  границы испытательных площадок |  <30 |
| |  >30 |

Рисунок 2.44. Распределение по территории СИП прогнозируемой удельной активности радионуклида ^{90}Sr во фруктах

Ожидаемые максимальные удельные активности радионуклидов $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am для всех видов растениеводческой продукции не превышают расчетных допустимых уровней.

Выводы

Таким образом, по результатам обследования радиационного состояния растениеводческой продукции расчетным методом установлено, что в случае выращивания сельскохозяйственных культур (пшеница, картофель, фрукты и овощи) на территории полигона, в среднем, превышений удельной активности радионуклидов в продукции растениеводства не ожидается. Однако на участках протяженных следов радиоактивных выпадений и в районе испытательной площадки «4» ожидается превышение допустимого уровня содержания радионуклида ^{90}Sr в пшенице, овощах и фруктах. Стоит отметить, что произведенный расчет достаточно консервативен, поскольку в нем не учитывается комплекс агротехнических мероприятий, предшествующий получению растениеводческой продукции. К примеру, для улучшения плодородности почвы в условиях СИП необходимо внесение органических удобрений, что несомненно приведет к значительному разбавлению концентрации радионуклидов в почвенном покрове. Внесение калийных и фосфорных удобрений влечет за собой снижение перехода радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr , поскольку последние являются аналогами калия и фосфора соответственно. Также, возможная вспашка почвы на глубину, превышающую 20 см, повлечет за собой снижение исходной активности в почве, подготовленной для посадки сельскохозяйственных культур.

Радиационное состояние животноводческой продукции, производимой на обследуемом земельном участке

Разводимые на обследуемой территории СИП сельскохозяйственные животные – это овцы курдючного грубошерстного направления, крупный рогатый скот – помеси мясных и молочных пород, а также лошади казахской породы (Джабе, Абаевская).

Сельскохозяйственных животных содержат в стойлово-пастбищных условиях. Система пастбы скота – вольная или бессистемная. Пастбища данной территории используются круглогодично. Некоторые участки используются только в летний период, где выпас скота на естественных пастбищах начинают в первой декаде мая и заканчивают в начале октября.

Оценка радиационного состояния животноводческой продукции экспериментальным методом

Для оценки качества сельскохозяйственной продукции, производимой на территории СИП, на которой не проводились испытания ядерного оружия, произведен отбор проб животноводческой продукции на отдельных летниках и зимовках. В основном было отобрано мясо и молоко, дополнительно также отобрана костная ткань для определения ^{90}Sr , так как она является основным местом аккумуляции этого радионуклида. Всего в ходе исследований отобрано 20 проб молока, 20 проб мяса (баранина, говядина, конина), 6 проб костной ткани.

Мясная продукция отбиралась в сыром и/или замороженном виде массой от 0,7 до 1,2 кг, молочная продукция – объемом от 0,5 до 1 литра. Для мясной продукции устанавливалась дата забоя, вид животного.

Основными дозообразующими и наиболее распространенными радионуклидами на СИП являются ^{137}Cs , ^{241}Am , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$. Поэтому, при оценке радиационного состояния животноводческой продукции, получаемой на СИП, рассмотрены именно эти радионуклиды. Для определения удельной активности изучаемых радионуклидов в образцах сельскохозяйственной продукции проводились γ -спектрометрические и радиохимические анализы в соответствии со стандартизованными методическими указаниями на поверенном оборудовании [114, 115]. Предварительно пробы проходили стадию подготовки к анализу. Гамма-спектрометрическое измерение (^{137}Cs , ^{241}Am) проводилось в сырых пробах мяса и молока. При этом мясо очищалось от соединитель-

но-жировой ткани и гомогенизировалось. Для определения радионуклида ^{90}Sr молоко, мясо и костная ткань высушивались и озолялись при температуре 500°C (костная ткань предварительно подвергалась процессу обвалки). Далее, зола передавалась на радиохимический метод выделения изотопов ^{90}Sr .

В результате лабораторных анализов количественных значений удельной активности радионуклидов для всех проб молока, мяса и костной ткани не получено. Все значения оказались ниже предела чувствительности обнаружения при использованном аппаратурно-методическом обеспечении, и, следовательно, не превышают допустимые уровни содержания радионуклидов в продукции животноводства, приведенные в таблице (Таблица 2.21).

Содержание радионуклидов $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в пищевых продуктах не нормируется. Ввиду того что, согласно Гигиеническим нормативам «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» [48], предел годового поступления с пищей для населения на порядок меньше, чем аналогичная величина для ^{90}Sr ($^{239+240}\text{Pu} - 2,4 \times 10^3$ Бк/год, $^{241}\text{Am} - 2,7 \times 10^3$ Бк/год, $^{90}\text{Sr} - 1,3 \times 10^4$ Бк/год), можно предположить, что допустимые уровни по ним будут на порядок меньше, чем по ^{90}Sr . Данные для $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am , приведены из этого расчета.

Таблица 2.21. Допустимые уровни содержания радионуклидов в продукции животноводства

Группы продуктов питания	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг			
	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}^*$	$^{241}\text{Am}^*$
Мясо, мясные продукты и субпродукты	200	50	5	5
Молоко-сырье, сливки-сырье	100	25	2,5	2,5
Примечание: * – значения, полученные расчетным методом				

Выводы

Таким образом, проведенная экспериментальная оценка содержания радионуклидов в продукции животноводства, получаемой

на обследуемой территории, показала, что продукция по своим радиационным характеристикам не представляет опасности при ее потреблении и соответствует Гигиеническим нормативам «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» (для радионуклидов ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ использовались расчетные предельно-допустимые уровни, так как их содержание не нормируется) [48].

Оценка радиационного состояния животноводческой продукции расчетным методом

Ввиду невозможности произвести оценку радиационного состояния животноводческой продукции на всей территории СИП из-за отсутствия фермерских хозяйств на большей части полигона, отсутствия количественных значений удельной активности в проанализированных образцах животноводческой продукции, необходимых для оценки дозы внутреннего облучения от продукции животноводства, дополнительно проведена оценка радиационного состояния животноводческой продукции расчетным методом. Данный расчетный метод определения удельной активности радионуклидов в животноводческой продукции основан на измерении удельной активности радионуклидов в фекалиях крупных копытных животных, отобранных на территории СИП, исходя из предположения, что удельная активность радионуклидов в рационе животного соответствует удельной активности радионуклидов в фекалиях этого животного. То есть, удельная активность радионуклидов в фекалиях животного равна удельной активности радионуклидов в корме этого животного. Оценка проведена для мясомолочной продукции. В качестве мясной продукции выбрано мясо овец (баранина), конина и говядина, молочной продукции – коровье молоко, как наиболее распространенные в обследуемом регионе.

Определение удельной активности радионуклидов ^{137}Cs , ^{241}Am , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ в животноводческой продукции расчетным методом проведено по методологии, описанной в разделе 2.9 Радиационное состояние животного мира. Также в разделе 2.9 описан характер распределения удельной активности радионуклидов ^{137}Cs

и ^{90}Sr в фекалиях крупных копытных животных относительно их расположения на территориях СИП, на которых не проводились ядерные испытания (Рисунок 2.36, Рисунок 2.37).

Распределение удельной активности радионуклида ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ в фекалиях крупных копытных животных по территории СИП приведены на рисунках (Рисунок 2.45, Рисунок 2.46).

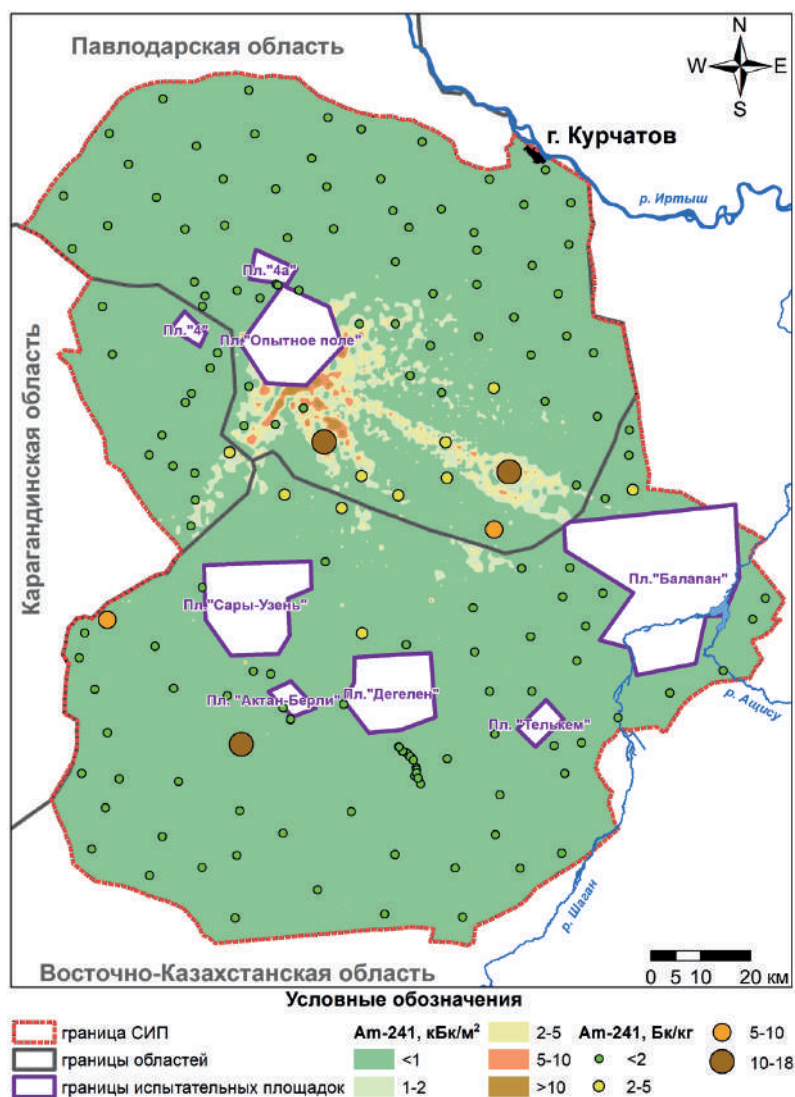


Рисунок 2.45. Удельная активность радионуклида ^{241}Am в фекалиях крупных копытных животных

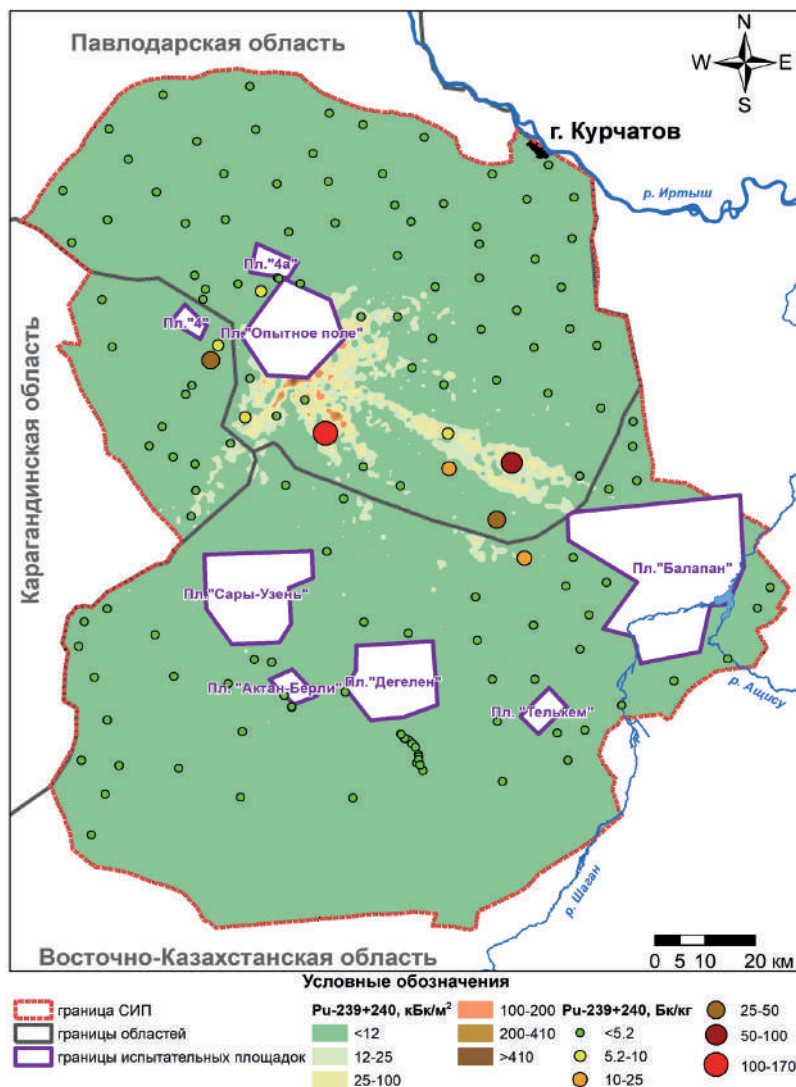


Рисунок 2.46. Удельная активность радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ в фекалиях крупных копытных животных

Для определения удельной активности радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ в пробах фекалий проводились γ -спектрометрические и радиохимические анализы в соответствии со стандартизованными методическими указаниями на поверенном оборудовании [115, 116].

Как и в случае с радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr , можно отметить, что повышенные значения удельной активности радионуклидов

^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ регистрируются в фекалиях крупных копытных, обитающих или пасущихся на территориях, непосредственно прилегающих к испытательным площадкам, в частности, к площадке «Опытное поле» или в районах с повышенной удельной активностью радионуклидов в наземном покрове, вызванной выпадением радиоактивных осадков в виде следов ядерных испытаний. При этом повышенные значения удельной активности этих радионуклидов, как и в случае с ^{137}Cs и ^{90}Sr , малочисленны. При изменении удельной активности радионуклида ^{241}Am в пределах $<0,06-18$ Бк/кг среднее значение составило 0,9 Бк/кг. При изменении удельной активности радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ в пределах $<0,01-170$ Бк/кг его среднее значение составило 3,0 Бк/кг. Из-за возможности свободного перемещения животных по территории СИП, включая территории испытательных площадок, выделять какую-либо территорию повышенных значений удельной активности радионуклидов в фекалиях крупных копытных животных нецелесообразно. Поэтому при расчете удельной активности радионуклидов в животноводческой продукции использовали средние значения удельной активности радионуклидов в фекалиях крупных копытных животных (^{137}Cs – 4,9 Бк/кг, ^{241}Am – 0,9 Бк/кг, ^{90}Sr – 22,6 Бк/кг, $^{239+240}\text{Pu}$ – 3,0 Бк/кг).

Расчет удельной активности радионуклидов в животноводческой продукции производился по формуле:

$$A_{t,i,прод.} = V_{корм} \times A_{t,i,корм} \times K_{n,i,корм}$$

где:

$V_{корм}$ – суточное потребление корма, кг/сутки;

$A_{t,i,корм}$ – удельная активность i -го радионуклида в фекалиях травоядных животных, Бк/кг;

$K_{n,i,корм}$ – коэффициент перехода i -го радионуклида из корма на 1 килограмм (литр) продукции.

Коэффициенты перехода радионуклидов в продукцию взяты из документа МАГАТЭ – TRS-472 (F_f – «Feed transfer coefficient») [1]. Оценка проводилась для копытных животных, наиболее распро-

страненных на обследуемом земельном участке (крупный рогатый скот, мелкий рогатый скот, конина). В таблице (Таблица 2.22) приведены средние значения коэффициентов перехода радионуклидов в баранину, говядину, конину и в коровье молоко.

Таблица 2.22. Коэффициенты перехода радионуклидов в животноводческую продукцию ($K_{п,и,корм}$)

Вид продукции	$K_{п}$ из корма на 1 кг (л) продукции			
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{241}Am	$^{239+240}\text{Pu}$
Баранина	$1,9 \times 10^{-1}$	$1,5 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-4}$	$5,3 \times 10^{-5}$
Коровье молоко	$4,6 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-3}$	$4,2 \times 10^{-7}$	$1,0 \times 10^{-5}$
Говядина	$2,2 \times 10^{-2}$	$1,3 \times 10^{-3}$	$5,0 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-6}$
Конина	$2,2 \times 10^{-2}$	$1,3 \times 10^{-3}$	$5,0 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-6}$

Для расчета удельной активности радионуклидов в животноводческой продукции суточное потребление корма ($V_{корм}$) овцами и коровами принято равным 2 кг/сут. и 15 кг/сут., для конины – 18 кг/сут. [117]. На основании приведенных данных рассчитаны ожидаемые значения удельной активности радионуклидов в животноводческой продукции.

Таблица 2.23. Ожидаемые значения удельной активности радионуклидов в животноводческой продукции

Вид продукции	Радионуклид	Среднее	Минимум	Максимум	Допустимый уровень
Коровье молоко	^{241}Am	$5,7 \times 10^{-6}$	$3,8 \times 10^{-7}$	$1,1 \times 10^{-4}$	2,5
	^{137}Cs	$3,4 \times 10^{-1}$	$9,0 \times 10^{-4}$	67,8	100
	^{90}Sr	$4,4 \times 10^{-1}$	$3,1 \times 10^{-3}$	22,8	25
	$^{239+240}\text{Pu}$	$4,5 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-6}$	$2,6 \times 10^{-2}$	2,5
Баранина	^{241}Am	$2,0 \times 10^{-4}$	$1,3 \times 10^{-5}$	$4,0 \times 10^{-3}$	5
	^{137}Cs	1,9	$1,1 \times 10^{-2}$	172,9	200
	^{90}Sr	$6,8 \times 10^{-2}$	$3,6 \times 10^{-4}$	2,8	50
	$^{239+240}\text{Pu}$	$3,2 \times 10^{-4}$	$4,0 \times 10^{-7}$	$2,9 \times 10^{-2}$	5

Вид продукции	Радионуклид	Среднее	Минимум	Максимум	Допустимый уровень
Говядина	^{241}Am	$6,8 \times 10^{-3}$	$4,5 \times 10^{-4}$	$1,4 \times 10^{-1}$	5
	^{137}Cs	1,6	$7,1 \times 10^{-3}$	95,8	200
	^{90}Sr	$4,4 \times 10^{-1}$	$1,8 \times 10^{-3}$	48,8	50
	$^{239+240}\text{Pu}$	$5,0 \times 10^{-5}$	$1,3 \times 10^{-8}$	$7,7 \times 10^{-1}$	5
Конина	^{241}Am	$8,1 \times 10^{-3}$	$5,4 \times 10^{-3}$	$1,6 \times 10^{-1}$	5
	^{137}Cs	1,9	$8,5 \times 10^{-3}$	115,0	200
	^{90}Sr	$5,3 \times 10^{-1}$	$2,2 \times 10^{-3}$	58,5	50
	$^{239+240}\text{Pu}$	$5,9 \times 10^{-5}$	$1,6 \times 10^{-8}$	$9,2 \times 10^{-1}$	5
—					

Допустимые уровни содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в животноводческой продукции, установленные в Гигиенических нормативах «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» [48]. Допустимые уровни содержания радионуклидов $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am , получены расчетным методом. Согласно полученным данным максимальные значения удельной активности радионуклида ^{137}Cs в мясе и молоке составили 172,9 Бк/кг и 67,8 Бк/кг, ^{90}Sr – 58,5 Бк/кг и 22,8 Бк/кг соответственно. Максимальные значения удельной активности радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ в мясе и молоке составили $7,7 \times 10^{-1}$ Бк/кг и $2,6 \times 10^{-2}$ Бк/кг соответственно, ^{241}Am – $1,6 \times 10^{-1}$ Бк/кг и $1,1 \times 10^{-4}$ Бк/кг соответственно.

Выводы

Определение возможного содержания радионуклидов в животноводческой продукции, в случае ее получения на территориях, на которых не проводились ядерные испытания, показало, что превышение допустимых уровней, указанных в Гигиенических нормативах Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» для мясомолочной продукции, не ожидается (для радионуклидов ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ ис-

пользовались расчетные предельно-допустимые уровни, так как их содержание не нормируется) [48].

2.11 Оценка дозовых нагрузок на население

Регулирование деятельности на территории СИП и обоснование реабилитационных мероприятий требуют оценки радиационных рисков в результате какой-либо деятельности, которая фактически имеет место или планируется на данной территории. Для этого необходимо провести расчет среднегодовых эффективных доз облучения, которые может получить человек в случае проживания и ведения хозяйственной деятельности на полигоне.

Категорирование радиационно-загрязненных территорий по уровням потенциальной опасности для населения и окружающей среды также основано на дозах облучения. Дозовый подход определен в основных законодательных и нормативных актах, регулирующих вопросы радиационной безопасности [118]. Согласно Критериям оценки экологической обстановки территорий, основным критерием, характеризующим степень радиационно-экологической безопасности человека, является среднегодовое значение эффективной дозы от техногенных источников ионизирующего излучения.

Искусственные радионуклиды, поступающие в организм человека с вдыхаемым воздухом, с водой и пищей вносят дополнительный вклад в ожидаемую годовую эффективную дозу облучения населения, которая характеризует степень радиационной опасности территории СИП.

Для того, чтобы учесть все параметры при оценке дозовых нагрузок необходимо определить условия поведения человека. Т.е. при проведении объективной оценки доз необходимо рассмотреть типичный сценарий поведения человека, который занимается растениеводством или животноводством, выращивает и производит

продукты на этой территории и потребляет их. Продукты питания растительного и животного происхождения являются еще одним звеном биологической цепи, по которой радиоактивные вещества могут поступать непосредственно в организм человека. Поэтому определение степени загрязнения радиоактивными веществами продуктов питания, употребляемых жителями населенных пунктов, находящихся в зоне влияния ядерных испытаний, являлось условием, необходимым для полной характеристики радиационной обстановки.

Для оценки доз внутреннего облучения населения, при проживании на территории СИП и потреблении продуктов местного производства, необходимо знать количество радионуклидов, которые могли поступить в организм человека вместе с пищей и водой. По данным проведенного опроса жителей населенных пунктов Долонь, Канонерка, Бескарагай, расположенных на прилегающих к полигону территориях, а также жителей летников и зимовок, находящихся на территории СИП, установлено, что объем и структура питания населения, проживающего в зоне влияния СИП, различны. Поэтому для оценки доз внутреннего облучения от поступления радионуклидов с продуктами питания выбраны значения годового потребления из минимальных норм потребления основных продуктов питания для различных социальных групп населения РК [119].

Дозы облучения населения рассчитывались на основании результатов определения содержания радионуклидов в объектах окружающей среды, растениеводческой и животноводческой продукции, производимой на территории СИП.

Расчет доз проводился в соответствии с методическими рекомендациями по определению эффективной дозы ионизирующего излучения на персонал и население [120]. Исходными данными для расчетов являлись как переменные величины, такие как содержание радионуклидов в объектах природной среды, так и

постоянные величины, такие как нормы потребления продуктов питания и воды, объем вдыхаемого воздуха, коэффициенты перехода радионуклидов по пищевым цепям и среднегодовая запыленность, интенсивность дыхания и т.д.

На обследуемой территории СИП потенциальными путями воздействия на человека являются следующие:

- внешнее облучение от гамма-излучения искусственных радионуклидов, содержащихся в поверхностном слое почвы;
- внешнее облучение от загрязненной почвы, попавшей на кожу;
- внутреннее облучение от ингаляционного поступления радионуклидов;
- внутреннее облучение от поступления радионуклидов с водой и продуктами питания, произведенными на обследуемой территории;
- внутреннее облучение от непреднамеренного перорального поступления загрязненной почвы.

Проведенные ранее оценки доз на население в случае проживания и ведения деятельности на территории СИП показали, что вклад в суммарную годовую эффективную дозу внешнего облучения от излучения бета-частиц, внешнего облучения от загрязненной почвы на коже и внутреннего облучения от непреднамеренного перорального поступления загрязненной почвы составляет менее 0,1 % от суммарной дозы по всем рассматриваемым путям воздействия ионизирующего излучения на человека [121, 122]. Проведенные расчетные оценки ожидаемой годовой эффективной дозы внутреннего облучения от перорального поступления радионуклидов в организм человека с загрязненной почвой показали, что вклад данного пути облучения будет на 2-4 порядка ниже дозы внешнего гамма облучения от загрязненной поверхности почвы.

Таким образом, пути облучения, которые будут вносить основной вклад в формирование ожидаемой годовой эффективной дозы облучения на население, в случае проживания на территории СИП:

- внешнее облучение от гамма-излучения искусственных радионуклидов, содержащихся в поверхностном слое почвы;
- внутреннее облучение от ингаляционного поступления радионуклидов;
- внутреннее облучение от поступления радионуклидов с водой и продуктами питания, произведенными на обследуемой территории.

Основными дозообразующими искусственными радионуклидами на территории СИП являются радионуклиды ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am и ^3H в воде.

Общая методика расчета доз

Ожидаемая годовая эффективная доза E_{ef} от искусственных радионуклидов выражена в виде суммы парциальных доз по j -м факторам радиационного воздействия:

$$E_{ef} = E_{\gamma} + E_{inh} + E_{ing}$$

где:

E_{ef} – среднегодовая эффективная доза облучения населения от искусственных радионуклидов, Зв;

E_{γ} – доза внешнего облучения от гамма-излучения искусственных радионуклидов, содержащихся в поверхностном слое почвы, Зв/год;

E_{inh} – доза внутреннего облучения от ингаляционного поступления радионуклидов, Зв/год;

E_{ing} – доза внутреннего облучения от поступления радионуклидов с водой и продуктами питания, произведенными на обследуемой территории, Зв/год.

Доза внешнего гамма-излучения

Доза от внешнего гамма-излучения радионуклидов от подстилающей поверхности проводилась расчетным путем на основе значений площадной активности искусственных радионуклидов.

$$E_{\gamma} = \sum E_{\gamma i}$$

$$E_{\gamma i} = P_{\gamma i} \times T,$$

где:

E_{γ} – доза внешнего гамма-излучения i -того радионуклида от подстилающей поверхности, Зв/год;

$P_{\gamma i}$ – мощность эквивалентной дозы гамма-излучения, Зв/с;

T – время облучения за год, с/год.

Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на высоте 1 м от поверхности земли рассчитывалась согласно выражению:

$$P_{\gamma i} = \sum K_{\gamma_{\text{пов}}} \times A_{Si}$$

где:

$P_{\gamma i}$ – мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на высоте 1 метр от поверхности земли, Зв/с;

$K_{\gamma_{\text{пов}}}$ – мощность эквивалентной дозы при загрязнении i -м радионуклидом в количестве 1 Бк на 1 м², Зв×м²/(с×Бк);

A_{Si} – площадная активность i -того искусственного радионуклида, Бк/м².

Таблица 2.24. Значения коэффициентов, используемых при проведении оценок дозовых нагрузок от внешнего гамма-излучения

Коэффициент	Значения коэффициентов			
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am
$K_{\gamma_{\text{пов}}}$, Зв×м ² /(с×Бк)	2,9×10 ⁻¹⁶	2,8×10 ⁻¹⁹	3,6×10 ⁻¹⁹	1,3×10 ⁻¹⁷

Доза внутреннего облучения при ингаляционном поступлении радионуклидов

Расчет дозы внутреннего облучения при ингаляционном пути поступления проводился на основании расчетных значений среднегодовой объемной активности радионуклида относительно его содержания в поверхностном слое почвы.

Ожидаемая эффективная доза от поступления радионуклидов ингаляционным путем определялась по формуле:

$$E_{inhi} = \sum q_i \times e_{inhi}$$

где:

E_{inhi} – доза внутреннего облучения при ингаляционном поступлении i -го радионуклида в организм, Зв/год;

q_i – годовое поступление i -го радионуклида, поступившего в организм через дыхательный тракт, Бк/год;

e_{inhi} – дозовый коэффициент i -го радионуклида при поступлении его ингаляционным путем, Зв/Бк, приведенный в Гигиенических нормативах «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» [48].

Величина годового поступления рассчитывалась согласно выражению:

$$q_i = A_{v,i} \times V,$$

где:

q_i – годовое поступление i -го радионуклида в организм через дыхательный тракт, Бк/год;

$A_{v,i}$ – среднегодовая объемная активность i -го радионуклида в воздухе, Бк/м³;

V – объем вдыхаемого воздуха в год, м³/год, приведенный в Гигиенических нормативах «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» [48]).

Доза внутреннего облучения от поступления радионуклидов с водой и продуктами питания, произведенными на обследуемой территории

Расчет ожидаемой эффективной дозы от поступления искусственных радионуклидов через пищеварительный тракт определялся по формуле:

$$E_{ingi} = \sum q_{ingi} \times e_{ingi}$$

где:

E_{ingi} – доза внутреннего годового облучения от перорального поступления i -го радионуклидов в организм, Зв/год;

q_{ingi} – годовое поступление i -го радионуклида с продуктами питания, водой, Бк/год;

e_{ingi} – дозовый коэффициент i -го радионуклида при поступлении его через пищеварительный тракт, Зв/Бк, указанный в Гигиенических нормативах «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» [48].

Годовое поступление искусственных радионуклидов определялось по содержанию радионуклидов в основных пищевых продуктах рациона и величине годового потребления этих продуктов.

$$q_{ingi} = A_{mi} \times V_p,$$

где:

q_{ingi} – годовое поступление i -го радионуклида с продуктами питания, водой, Бк/год;

A_{mi} – удельная активность i -го радионуклида в p -ом пищевом продукте, воде, Бк/кг;

V_p – годовое потребление p -го продукта питания, воды, кг/год.

В таблице (Таблица 2.25) приведены рациональные среднелюдские нормы потребления продуктов питания, утвержденные приказом Министра национальной экономики РК от 09.12.2016 года № 503 [123].

Таблица 2.25. Рациональные среднелюдские нормы потребления продуктов питания РК

Наименование продукта	Вода	Молоко и молочные продукты	Мясо	Хлеб	Картофель	Овощи
Потребляемое количество, кг/год	730	301*	78,4	109	100	149
*– молоко коровье составляет 45 л/год						

Результаты оценки дозовой нагрузки населения, в случае проживания и ведения хозяйственной деятельности на территории полигона

Оценка доз проводилась по консервативному подходу, который подразумевает использование максимальных величин (содержания радионуклидов, объемов потребления) и максимальное время влияния при оценке доз. Дозы рассчитывались для условного взрослого человека, проживающего на территории СИП, и употребляющего продукты растительного и животного происхождения, производимые на этой территории. Диапазон значений ожидаемой годовой эффективной дозы на человека составил от 0,02 до 8,4 мЗв. Максимальные значения доз получены вблизи испытательных площадок и территории следов радиоактивных выпадений. На остальной территории СИП (вне испытательных площадок и следов) ожидаемая годовая эффективная доза – менее 0,3 мЗв.

На рисунках (Рисунок 2.47, а, б) показан вклад основных путей облучения от искусственных радионуклидов в суммарную ожидаемую годовую эффективную дозу населения, в случае проживания и ведения хозяйственной деятельности на обследуемой территории.

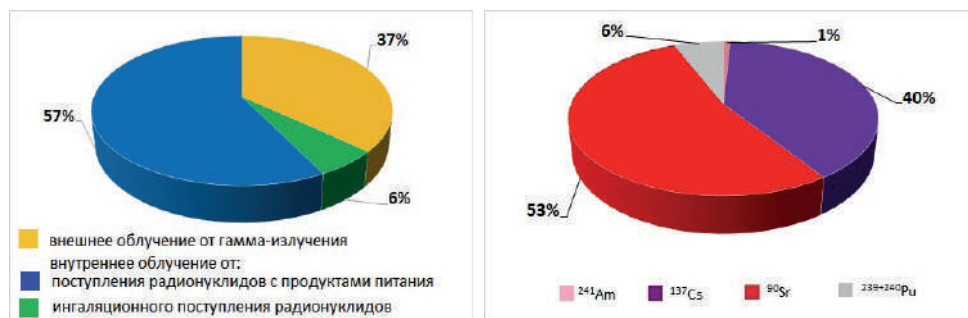


Рисунок 2.47. Вклад основных путей облучения (а) и основных дозообразующих радионуклидов (б) в суммарную ожидаемую годовую эффективную дозу населения при проживании на территории СИП

Основной вклад в дозовую нагрузку человека, при проживании на территории СИП, будет вносить доза внутреннего облучения от перорального поступления радионуклидов с продукта-

ми питания, где основной вклад вносит радионуклид ^{90}Sr . Доза внутреннего облучения от продуктов питания, выращиваемых и производимых на обследуемой территории составляет ~57 % от общей годовой эффективной дозы.



Рисунок 2.48. Вклад продукции в ожидаемую годовую эффективную дозу внутреннего облучения при пероральном поступлении

Вклад в эффективную годовую дозу при поступлении с продуктами питания для взрослого человека составляет ~68 % в растениеводческой продукции и 32 % в животноводческой продукции. Основные категории продуктов, которые вносят наибольший вклад в дозу внутреннего облучения от перорального поступления – фрукты (35 %), овощи (19 %) и молоко (22 %).

На следующем рисунке представлен вклад искусственных радионуклидов в ожидаемую годовую эффективную дозу внутреннего облучения при потреблении продуктов питания, выращенных и производимых на территории СИП.

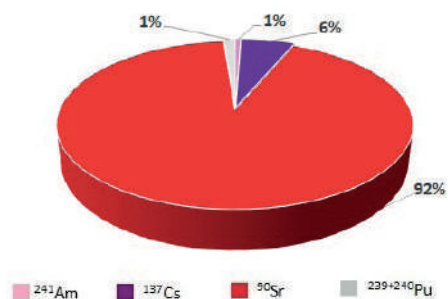


Рисунок 2.49. Вклад искусственных радионуклидов в ожидаемую годовую эффективную дозу внутреннего облучения при потреблении продуктов питания

На территории СИП имеются поверхностные источники воды – озера, ручья и реки, расположенные, как на удаленном расстоянии от испытательных площадок, так и вблизи их границ (раздел 2.6 Радиационное состояние водной среды). Поверхностные водоемы непригодны для питья и водопоя животных по химическим параметрам (степень минерализации, жесткости, содержание хлоридов) [124]. Однако в рамках консервативного подхода были рассчитаны дозы внутреннего облучения от поступления радионуклидов с водой из поверхностных водоемов.

Уровни содержания радионуклидов ^3H , ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ на удалении от испытательных площадок находятся ниже значений минимальной детектируемой активности и не превышают уровень вмешательства согласно Гигиеническим нормативам (раздел 2.6 Радиационное состояние водной среды) [48]. Доза внутреннего облучения от поступления радионуклидов ^3H , ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ из этих источников может составить 0,09 мЗв. Однако, есть участки с повышенным содержанием радионуклидов ^3H и ^{90}Sr в поверхностных водоемах, которые расположены вблизи испытательных площадок (раздел 2.6 Радиационное состояние водной среды). К таким объектам относятся ручьи Узынбулак, Карабулак, Байтлес, Токтакушык и Актыбай, расположенные в районе площадки «Дегелен», озеро Кишкенсор и река Шаган, расположенные в районе площадки «Балапан».

Результаты консервативной оценки дозы внутреннего облучения от потребления воды с повышенными значениями концентрации искусственных радионуклидов приведены на рисунке (Рисунок 2.50).

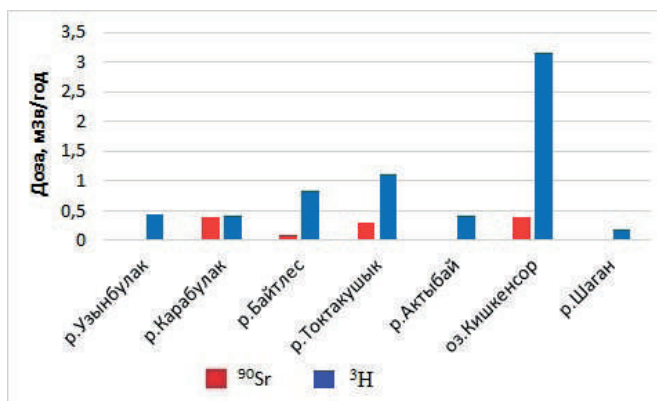


Рисунок 2.50. Ожидаемая годовая доза внутреннего облучения от потребления воды с повышенным содержанием искусственных радионуклидов ^3H и ^{90}Sr

Ожидаемая годовая эффективная доза внутреннего облучения от поступления ^3H и ^{90}Sr с водой из поверхностных водоемов, расположенных вблизи испытательных площадок территории СИП находится в диапазоне от 0,2 до 3,5 мЗв. Полученные результаты показывают, что основной вклад в суммарную дозу внутреннего облучения от потребления воды ручьев Байтлес и Токтакушык, озера Кишкенсор и реки Шаган вносит ^3H (~ 90 %). Хотелось бы, еще раз, отметить, что вода из поверхностных водоемов, расположенных вблизи испытательных площадок, непригодна для питья и водопоя животных [125]. Поэтому вклад данного пути поступления на человека при проживании на территории СИП не учитывается в суммарной ожидаемой годовой эффективной дозе.

Выводы:

Значения ожидаемой годовой эффективной дозы на человека на всей территории полигона находятся в диапазоне от 0,02 до 8,4 мЗв. Максимальные значения доз получены вблизи испытательных пло-

щадок и на территории следов радиоактивных выпадений. Основной вклад в суммарную дозовую нагрузку на человека вносит доза внутреннего облучения от поступления радионуклидов с продуктами питания, где основным дозообразующим радионуклидом является ^{90}Sr (92 %) и его содержание в растениеводческой продукции. Значения дозы внутреннего облучения в случае поступления радионуклидов с водой, из поверхностных водоемов, расположенных в районе испытательных площадок находятся в диапазоне от 0,2 до 3,5 мЗв, что превышает уровень вмешательства, согласно установленным в РК нормам [48]. Поверхностные водоемы на территории СИП непригодны для питья и водопоя животных [126], расчет доз внутреннего облучения от поступления радионуклидов с водой из данных водоемов был проведен в рамках консервативного подхода. Однако учитывая факт возможного повышенного облучения при использовании данной воды необходимо ограничить доступ населения и домашних животных к поверхностным водоемам с повышенными значениями радиационных параметров.

Значения ожидаемой годовой эффективной дозы за пределами испытательных площадок и следов радиоактивных выпадений не превышают уровня вмешательства, равного 0,3 мЗв, и основного предела дозы для населения, равного 1 мЗв, регламентируемых Гигиеническими нормативами «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» [48].

Исходя из вышеизложенного и по результатам оценок ожидаемой годовой эффективной дозы на человека территорию СИП условно можно разделить на 2 зоны – территория с повышенными значениями дозовых нагрузок (более 0,3 мЗв) и территория со значениями доз менее 0,3 мЗв. К зоне с повышенными значениями дозовых нагрузок относятся территории вблизи испытательных площадок и следов радиоактивных выпадений (на данной территории расположены все поверхностные водоемы с повышенными значениями радиационных параметров). Эти территории непригодны для использования в хозяйственной деятельности и

проживания населения. Вся остальная территория, где значения ожидаемой годовой эффективной дозы составляют менее 0,3 мЗв потенциально может быть передана и использована для развития какой-либо деятельности или проживания.

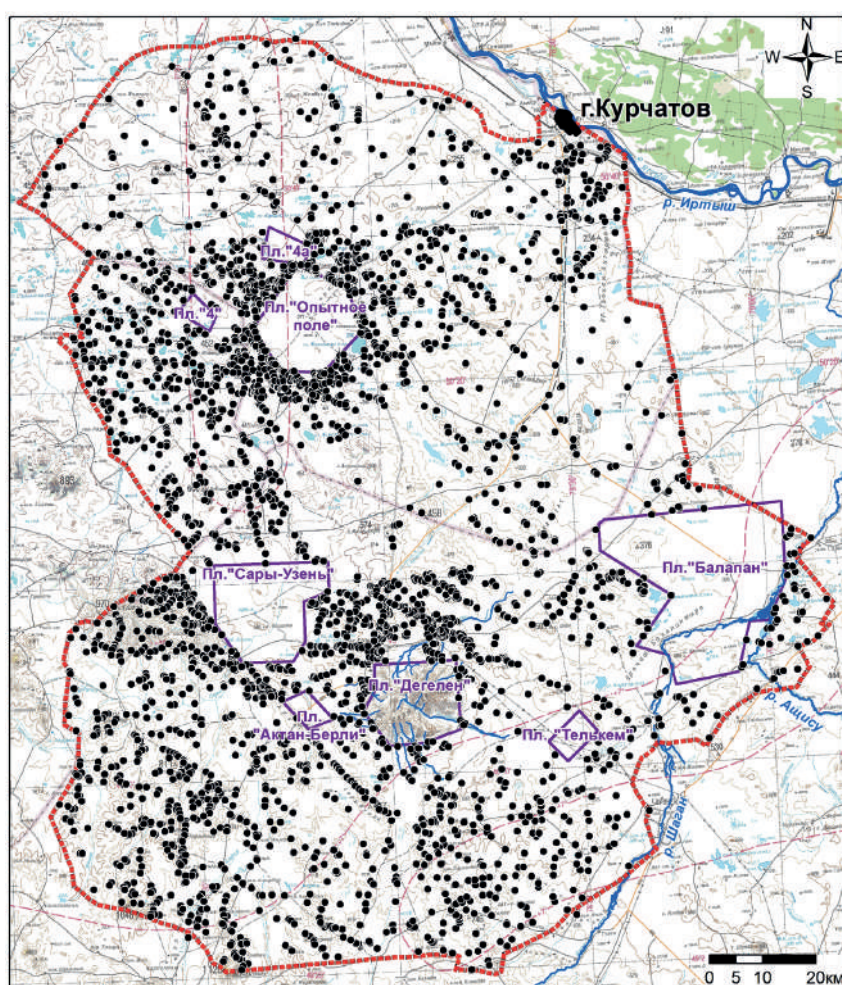
2.12 Дополнительные исследования

При проведении комплексного радиоэкологического обследования территории СИП применялась равномерная сеть отбора проб поверхностного слоя почвы с шагом 1×1 км, позволяющая выявлять крупные пятна радиоактивного загрязнения. Однако, при таком шаге, существовала вероятность пропуска небольших локальных участков радиоактивного загрязнения. Как правило, подобные участки загрязнения приурочены к объектам техногенного происхождения (скважины, могильники, штольни и др.). С целью детального изучения местности и идентификации возможных радиационно-опасных объектов техногенного происхождения, оставшихся со времен проведения ядерных испытаний, а также возникших в результате несанкционированной деятельности после закрытия полигона, выполнялись работы по дешифрированию космических снимков. Дешифрирование космических снимков перекрывает возможные «пробелы» сети отбора проб, что в свою очередь значительно расширяет возможности комплексного экологического обследования территории СИП в целом.

Выявление объектов техногенного характера, имеющих небольшие размеры, при учете значительных размеров обследуемой территории, невозможно выполнить прямым поиском на местности. Для выявления возможных радиационно-загрязненных объектов техногенного происхождения была применена специально разработанная методология, которая включала в себя 2 основных этапа:

- камеральные работы – выявление техногенных объектов с использованием дешифрирования космических снимков высокого разрешения;
- полевые работы – визуальный осмотр состояния выявленного техногенного объекта и измерение его радиационных параметров.

Технология визуального метода дешифрирования основывается на сопоставлении доступной информации (картографические и архивные материалы) о ключевых участках (эталонах) с соответствующими фрагментами космических снимков. Полагаясь на сведения из данных источников и основываясь на дешифровочных признаках, было проведено визуальное дешифрирование объектов техногенного происхождения с последующим их нанесением на обзорную карту СИП.



Условные обозначения

— граница СИП — границы испытательных площадок • объекты дешифрирования

Рисунок 2.51. Результаты камерального дешифрирования

Исходными материалами для выполнения работ по дешифрированию послужили космические снимки с максимально доступным разрешением, полученные с различных картографических сервисов (Bing Maps, Google Maps и Яндекс Карты). Для увеличения эффективности выполняемых работ, все полученные космические снимки группировались по номенклатуре карт соответствующего масштаба (1:25 000, 1:50 000 и т.д.).

По результатам выполненных работ на территории СИП выявлено около 4000 объектов техногенного происхождения. На выявленные объекты составлен подробный каталог, где указаны: схема расположения выявленных объектов на космическом снимке и их описание, порядковый номер и географические координаты.

Визуальная оценка объектов техногенного происхождения при проведении полевых работ заключалась в сличении космического снимка с местностью. Этот способ обеспечивает полностью, качество и достоверность результатов дешифрирования объектов.

Полевое дешифрирование объектов включало следующие этапы:

- выезд на объект, определенный по результатам камерального дешифрирования;
- визуальный осмотр и описание объекта (размер, происхождение (техногенное или природное), особые приметы, а также качественные и/или количественные характеристики);
- уточнение географических координат;
- фотографирование объекта;
- измерение радиационных параметров – мощности экспозиционной дозы (МЭД) и плотности потока бета-частиц;
- обновление информации в каталоге.

При визуальном осмотре объектов дешифрирования, к потенциально радиационно-загрязненным объектам отнесены такие объекты, которые образованы в результате антропогенной деятельности, например:

- ямы, визуально напоминающие воронки от взрывов;
- протяженные земляные выемки (траншеи);
- объекты, на которых найдены предметы, имеющие сходство с химическим, физическим или биологическим оборудованием, емкостями, лабораторными материалами, посудой или их фрагментами.

Все остальные выявленные объекты, образовавшиеся в результате хозяйственной деятельности на территории полигона, не являются радиационно-загрязненными.

В процессе обследования территории СИП, сопровождаемом одновременным анализом космических снимков, в ряде случаев, за пределами испытательных площадок, были отмечены участки, где наблюдались следы работы тяжелой техники, при этом радиационный фон не вписывался в общую картину загрязнения местности. Визуально такие участки, как правило, представляли собой продольные полосы перемещенного грунта, параллельные линии засыпанных траншей, следы отсыпки котлованов чистым грунтом, либо, просто земляные выемки.

По полученным результатам было обнаружено несколько объектов. Один из объектов, находится в северной части территории СИП. Данный могильник, расположенный на расстоянии около 15 км от г. Курчатова, представляет собой участок с приповерхностным захоронением отходов промышленной деятельности. Участок захоронения радиоактивных материалов по периметру огражден проволокой и с наружной стороны – рвом. В настоящее время ров практически полностью разрушен. При обследовании участка

обнаружены 4 искусственные насыпи и 3 раскопа, возле которых находились алюминиевые крышки от неизвестных емкостей, сменные фильтры от противогозов, металлические сетки и контейнеры, кости крупного рогатого скота и мелких животных [127].



Рисунок 2.52. Могильник в северной части территории СИП

На небольшом расстоянии от всех раскопов был найден металлический контейнер, не имеющий запорной крышки, со следами частичного разрушения, предположительно, предназначенный для хранения радиоактивных материалов. На расстоянии около 40 см от горловины контейнера идентифицировано радиоактивное загрязнение со следующими параметрами: значение МЭД – 160 мкЗв/ч, плотность потока бета-частиц – около 10000 част/(см²×мин) [128].

В северо-восточной части испытательной площадки «Опытное поле» обнаружен могильник, получивший название «М-3», представляющий собой прямоугольную площадку с захоронением траншейного типа. Под слоем отсыпного грунта, на глубине от 10 см и более, обнаружены радиационно-загрязненные материалы [128]. Данный объект по периметру огражден искусственным защитным барьером, состоящим из колючей проволоки и рва.



Рисунок 2.53. Могильник «М-3»

При обследовании юго-восточной части территории СИП, в 5 км от восточной границы испытательной площадки «Дегелен», обнаружен могильник со следами захоронения изделий техногенного происхождения. Как и другие объекты данного типа, выявленный могильник был огражден колючей проволокой с табличкой предупреждающего характера. На территории могильника находятся 40 прямоугольных углублений (ячеек), с бетонными стенами толщиной до 50 см, размещенных в 2 ряда по 20 ячеек в каждом. В ячейках находились различные техногенные изделия (металлические емкости, фрагменты пластмассовых боксов и т.д.). Первоначально, ячейки были накрыты бетонными плитами и засыпаны грунтом, однако, при проведении дешифрирования установлено, что часть ячеек вскрыта. При измерении радиационных параметров объекта не было выявлено превышений МЭД и плотности потока бета-частиц [129].



Рисунок 2.54. Могильник на территории юго-восточной части СИП

На расстоянии около 100 м от восточной границы испытательной площадки «Дегелен» обнаружен аналогичный могильник с захоронением изделий техногенного происхождения. В момент проведения дешифрирования, данный объект не имел ограждения.

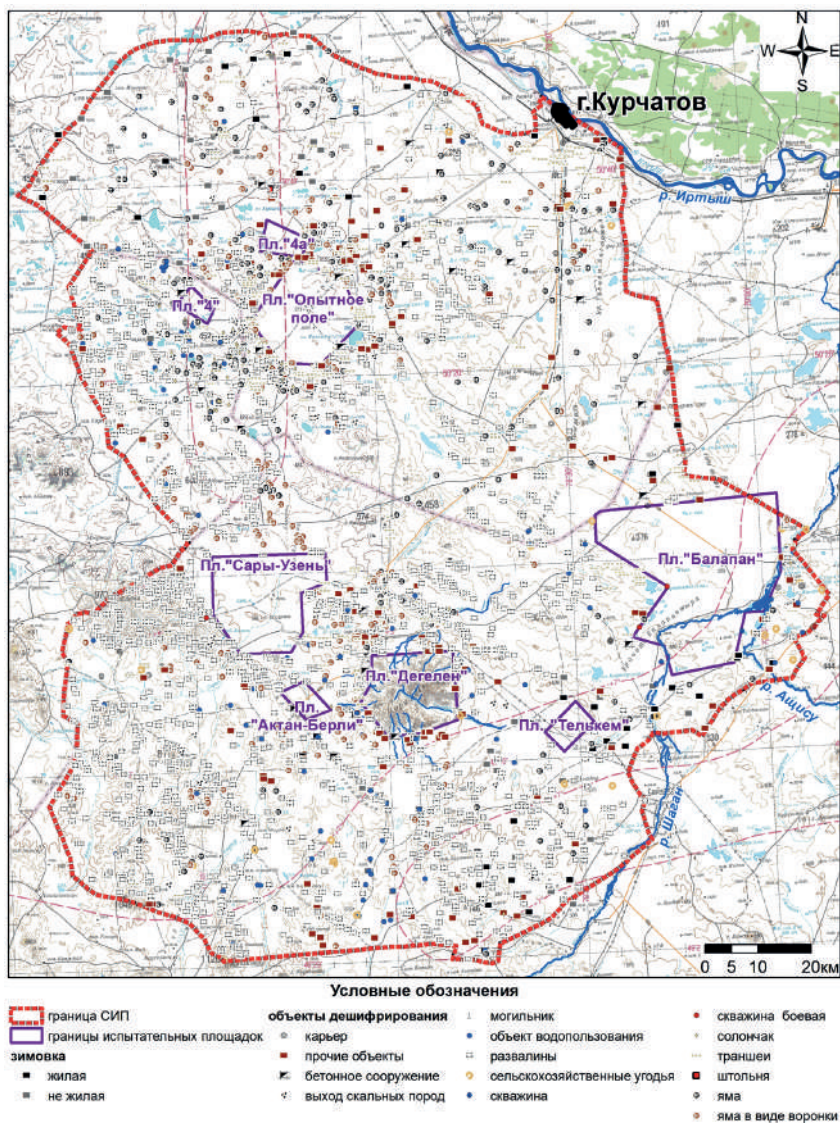


Рисунок 2.55. Результаты дешифрирования территории СИП

После проведения работ по дешифрированию, объекты были сгруппированы по основным, наиболее часто встречающимся ха-

ра характеристикам: развалины, траншеи, ямы в виде воронок, зимовки, объекты водопользования, карьеры, бетонные сооружения, солончак и посты водного мониторинга, для составления карты их расположения на территории СИП. Объекты, предназначение которых не определено, были обозначены как «прочие».

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о том, что за пределами испытательных площадок имеются объекты, представляющие радиационную опасность, которые в результате проведенных работ были дешифрованы и внесены в каталог радиационно-загрязненных объектов территории СИП.

ГЛАВА 3. РАДИАЦИОННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК

3.1 Методология обследования

Сразу после закрытия полигона начался сбор информации о радиационных параметрах на отдельных, наиболее крупных или заведомо радиоактивно-загрязненных объектах. В дальнейшем, обследование осуществлялось уже на всей территории испытательных площадок.

Первые крупные работы были приурочены к обследованию площадки «Дегелен» в конце 90-х годов. Особый интерес именно к этой площадке был вызван наличием открытого доступа к большому количеству материала ядерных зарядов, что представляло серьезную угрозу с точки зрения радиационной безопасности. На основании проведенных работ по радиационному обследованию площадки «Дегелен» был получен довольно большой объем данных, и первая информация о радиационной ситуации на площадке на тот период времени.

В период с 2000 по 2007 годы проводились различные исследования испытательных площадок СИП, по результатам которых появилось первое представление о радиационной обстановке на территории площадок, но информация зачастую была разрозненной, так как не было единой системы выполнения исследований и, в ряде случаев, информация не была исчерпывающей. Принимая во внимание данный факт, а также необходимость проведения оценки возможности выноса радиоактивного материала за границы испытательных площадок, встал вопрос о необходимости тщательного и систематизированного обследования испытательных площадок полигона, включая почвенно-растительный покров, водную среду, воздушный бассейн и фауну, совместное исследование которых способно наиболее точно оценить суще-

ствующую радиоэкологическую ситуацию и выполнить прогнозную оценку ее развития.

Первой площадкой, к которой был применен данный подход, стала площадка «Опытное поле», характеризующаяся наибольшим поверхностным радиоактивным загрязнением. Само обследование осуществлялось в несколько этапов. На первом этапе проведена общая оценка площадного распределения радиоактивного загрязнения. Для этого было проведено дешифрирование местности для установления всех имеющихся техногенных и природных объектов, применена радиометрическая съемка и поверхностный отбор проб почвы по сети 500×500 м. Данный подход позволил установить характер поверхностного почвенного загрязнения, установить области с повышенными значениями основных искусственных радионуклидов, определить имеющиеся водные объекты.

В ходе проведения обследования и получении информации о радиационной обстановке на объектах с различными механизмами образования радиоактивного загрязнения появилась необходимость в развитии новых методов обследования. В 2012 году впервые была выполнена пешеходная гамма-спектрометрическая съемка, которая позволила повысить детализацию карт радиоактивного загрязнения.

Суть метода заключалась в проведении непрерывной пешеходной гамма-спектрометрической съемки по заданной сети движения с одновременной фиксацией географических координат.

Предварительно, вся обследуемая территория была разбита на сектора со сторонами 500×500 м, на которые накладывалась сеть профилей движения «оператора» с расстоянием между профилями 20 м. Принятое расстояние между профилями практически гарантировало обнаружение следов радиоактивных выпадений, а также относительно небольших по площади (20×20 м) участков радиоактивного загрязнения, что вполне соответствовало

цели данного вида съемки. «Оператор», производящий гамма-съемку, передвигался по маршруту вдоль профилей с непрерывной скоростью 1-2 км/ч, используя спутниковый навигационный прибор. Детектор фиксировался на теле «оператора» на высоте 0,5 м от дневной поверхности. При движении «оператора» по профилям осуществлялся непрерывный набор гамма-спектров. Время набора одного гамма-спектра составляло 10 с. Координатная привязка и запись спектрометрических данных осуществлялись автоматически, с сохранением на портативный компьютер (ноутбук). Затем проводилась обработка полученных гамма-спектров, по результатам которой строились карты радиоактивного загрязнения обследуемой территории. Особенностью данного метода площадного обследования являлось то, что полученный гамма- спектр характеризует не «точку», в которой зафиксированы координаты, а участок, расположенный между точками фиксирования (записи) координат, т.е. набор спектра происходил в течение 10 с при движении от одной точки к другой.

На втором этапе осуществлялось изучение растительного покрова, воздушной и водной среды, фауны, а также характера радиоактивного загрязнения по глубине почвенного профиля. Данные исследования позволили определить возможные дозовые нагрузки на человека.

В результате работ на площадке «Опытное поле» был сформирован основной подход к обследованию испытательных площадок СИП. Конечно, при обследовании других площадок в дальнейшем методика обследования претерпевала изменения в зависимости от местности или условий проведенных испытаний. В частности, на площадках «Балапан» и «Сары-Узень», используемых для проведения подземных ядерных испытаний в скважинах, одним из важных аспектов стало обследование подземных вод.

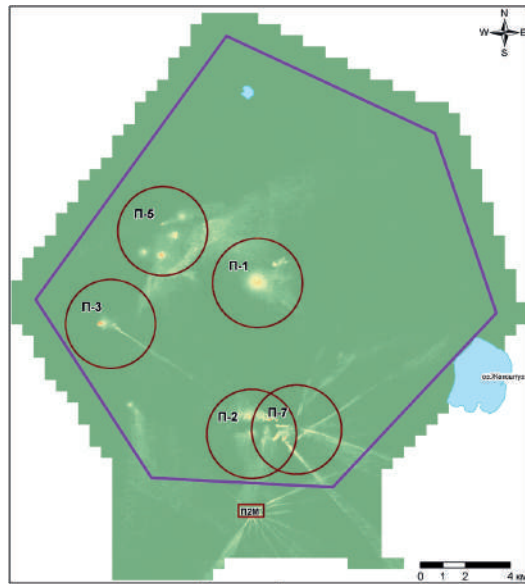
3.2 Характеристика полученных результатов

В результате проведенных работ был получен и проанализирован огромный массив данных. В ходе обследования СИП установлен тот факт, что не все испытательные площадки имеют радиоактивное загрязнение на дневной поверхности. Так, поверхностное радиоактивное загрязнение не установлено на площадке «Актан-Берли». Для каждой площадки присущ свой характер радиоактивного загрязнения в зависимости от вида испытаний и расположения самой площадки. В ряде случаев область с повышенным содержанием техногенных радионуклидов представляет собой локальный участок площадью в несколько квадратных метров, а в отдельных случаях – крупный след радиоактивных выпадений, тянущийся на десятки километров. Для получения полной картины текущей радиозоологической ситуации на территории испытательных площадок СИП необходимо их отдельное рассмотрение, при этом, ряд площадок рассмотрен совместно по причине схожести проведенных испытаний и сформированного радиоактивного загрязнения (площадки «4» и «4А»).

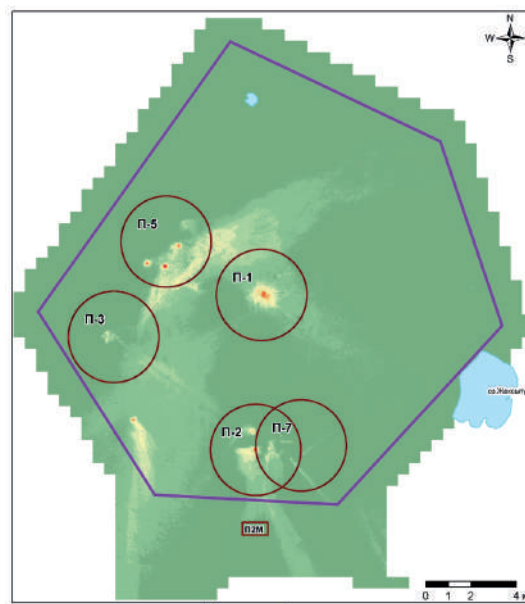
Площадка «Опытное поле»

Логичней всего начать с первой испытательной площадки СИП, на которой проводились атмосферные (наземные и воздушные) ядерные испытания в период с 1949 по 1962 годы. К наиболее значимым событиям относятся 3 наземных испытания, проведенные 29.08.1949 года (22 кт), 24.09.1951 года (38 кт), 12.08.1953 года (400 кт), вследствие которых образовались следы радиоактивных выпадений, вышедшие не только за территорию площадки «Опытное поле», но и за территорию полигона.

Результаты исследований показали, что радиоактивное загрязнение местности на площадке не является повсеместным, а приурочено непосредственно к местам проведения испытаний – эпицентрам и эпицентральной зоне, а также к следам радиоактивных выпадений от проведенных испытаний.



а)



б)

Рисунок 3.1. Карты распределения на территории площадки «Опытное поле»: а) ^{241}Am ; б) ^{137}Cs

Все места проведения испытаний можно условно разделить на три группы:

1) места проведения ядерных испытаний с большим энерговыделением, характеризующиеся наличием значительных количеств продуктов деления (^{137}Cs , ^{90}Sr) ядерного взрыва;

2) места ядерных экспериментов с малым или полным отсутствием ядерного энерговыделения, отличительной особенностью которых является высокая концентрация материала заряда ($^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am);

3) места проведения испытаний с высоким (интенсивным) нейтронным потоком, для которых характерно наличие значительных количеств продуктов нейтронной активации (^{60}Co , изотопы Eu , ^3H и др.).

Технические площадки «Опытного поля» (П-1, П-2, П-3, П-5), а также техническая площадка П-2М, находящаяся в непосредственной близости к «Опытному полю» и приуроченная к нему, использовались для проведения разных атмосферных испытаний и, соответственно, характер радиоактивного загрязнения, сформированный этими испытаниями, может отличаться.

Техническая площадка П-1 – место отработки самых первых ядерных испытаний, при проведении которых сформировалось 3 крупных следа радиоактивных выпадений, выходящих за территорию полигона. Несмотря на это, основная часть радиоизотопов сконцентрирована именно в эпицентральной зоне. Диапазон удельной активности в почве для ^{241}Am составил от $<1,8$ до $7,9 \times 10^4$ Бк/кг, ^{137}Cs – от <2 до $1,2 \times 10^5$ Бк/кг, ^{90}Sr – от <2 до $1,6 \times 10^5$ Бк/кг, $^{239+240}\text{Pu}$ – от 28 до $1,8 \times 10^5$ Бк/кг.

Технические площадки П-2, П-7 и П-2М использовались для отработки наземных ядерных испытаний, а также для осуществления модельных неядерно-взрывных экспериментов. При их проведении обеспечивается взрывное сжатие делящегося ядерного вещества с помощью оболочки из химического взрывчатого вещества до такой степени, при которой материал ядерного заряда теряет свою механическую прочность и начинает вести себя как жидкость. При проведении данных экспериментов диспергированию (распылению)

подвергался материал ядерного заряда (уран или плутоний). Очевидно, что подобные испытания на сравнительно небольшой территории должны были сформировать существенное радиоактивное загрязнение почвенного покрова. На основе лабораторных данных измеренных проб поч-вы, отобранных на обследуемых площадках, определены соотношения $^{241}\text{Am}/^{137}\text{Cs}$, величина которых в ряде случаев достигала 1700, что, в свою очередь, свидетельствует о проведении испытаний ядерных устройств с низким коэффициентом реализации ядерной реакции, либо о проведении неядерно-взрывных экспериментов. Диапазон удельной активности в почве для ^{241}Am составил от $<1,0$ до $7,9 \times 10^6$ Бк/кг, ^{137}Cs – от $<1,0$ до $2,1 \times 10^5$ Бк/кг, ^{90}Sr – от <2 до $4,3 \times 10^6$ Бк/кг, $^{239+240}\text{Pu}$ – от $<1,0$ до $1,5 \times 10^8$ Бк/кг.

Технические площадки П-3 и П-5 использовались для проведения воздушных и наземных ядерных испытаний различной мощности (П-3 – воздушные испытания ядерных бомб малой и средней мощности, П-5 – наземные испытания бомб малой мощности и воздушные испытания ядерных бомб средней и большой мощности). В результате подобных экспериментов территория технических площадок подверглась сильному радиоактивному загрязнению как материалами ядерного заряда, так и продуктами деления. В местах проведения наземных испытаний имеются воронки с навалами грунта и фрагментами оплавленной почвы, содержащей продукты ядерных взрывов. Диапазон удельной активности в почве для ^{241}Am составил от $<1,0$ до $7,9 \times 10^7$ Бк/кг, ^{137}Cs – от $<1,0$ до $3,4 \times 10^5$ Бк/кг, ^{90}Sr – от <2 до $2,8 \times 10^5$ Бк/кг, $^{239+240}\text{Pu}$ – от $<1,0$ до $2,1 \times 10^6$ Бк/кг.

При рассмотрении растительного покрова, можно отметить, что территория всех технических площадок характеризуется относительно высоким содержанием как трансурановых радионуклидов $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am , так и продуктами деления ^{137}Cs и ^{90}Sr . Диапазон удельной активности для ^{241}Am составил от $<0,3$ до $5,3 \times 10^2$ Бк/кг, ^{137}Cs – от $2,1$ до $1,0 \times 10^2$ Бк/кг, ^{90}Sr – от 11 до $2,0 \times 10^3$ Бк/кг, $^{239+240}\text{Pu}$ – от $<1,8$ до $9,5 \times 10^3$ Бк/кг.

В воздушной среде площадки «Опытное поле» максимальные концентрации радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ фиксируются в эпицентрах испыта-

ний, которые достигают $1,1 \times 10^{-2}$ и $1,6 \times 10^{-2}$ Бк/м³, что в 3 раза превышает уровень ДОА_{нас}, установленный Гигиеническими нормативами «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» [48]. Концентрация искусственных радионуклидов ²⁴¹Am, ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в воздушной среде ниже предела обнаружения используемого аппаратурно-методического обеспечения.

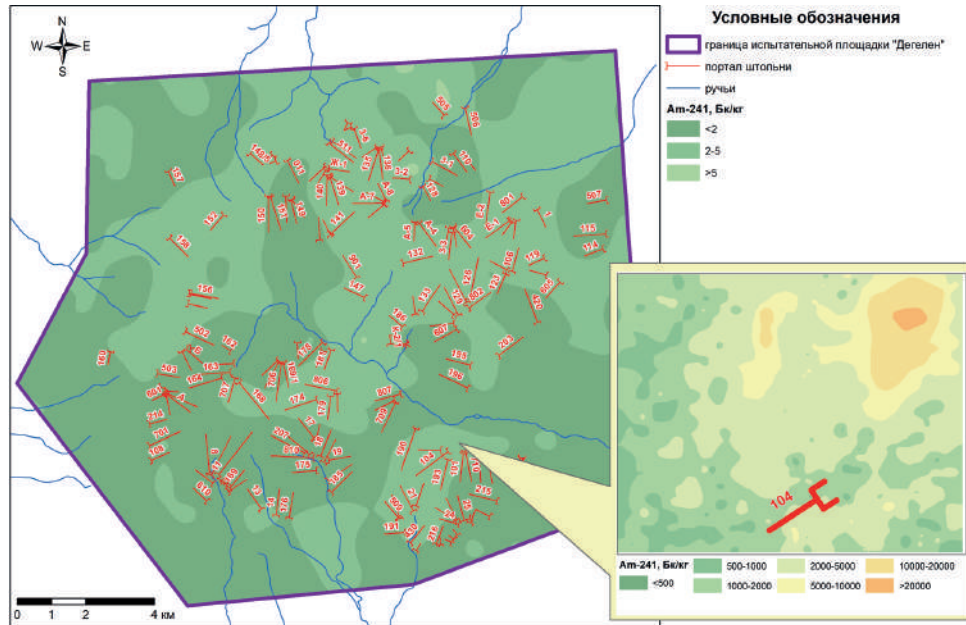
Площадка «Дегелен»

Как отмечалось выше, с 1949 по 1962 годы, в основном, проводились атмосферные испытания на территории испытательной площадки «Опытное поле», вплоть до вступления в силу международного договора о запрете проведения ядерных испытаний в космосе, воздухе и воде [31]. В результате принятия договора и вступления моратория на атмосферные ядерные взрывы все испытания переместились под землю. Первой в СССР площадкой, на которой было проведено подземное ядерное испытание, стала площадка «Дегелен». Испытание проходило в штольне № В-1 11 октября 1961 года (мощность 1 кт).

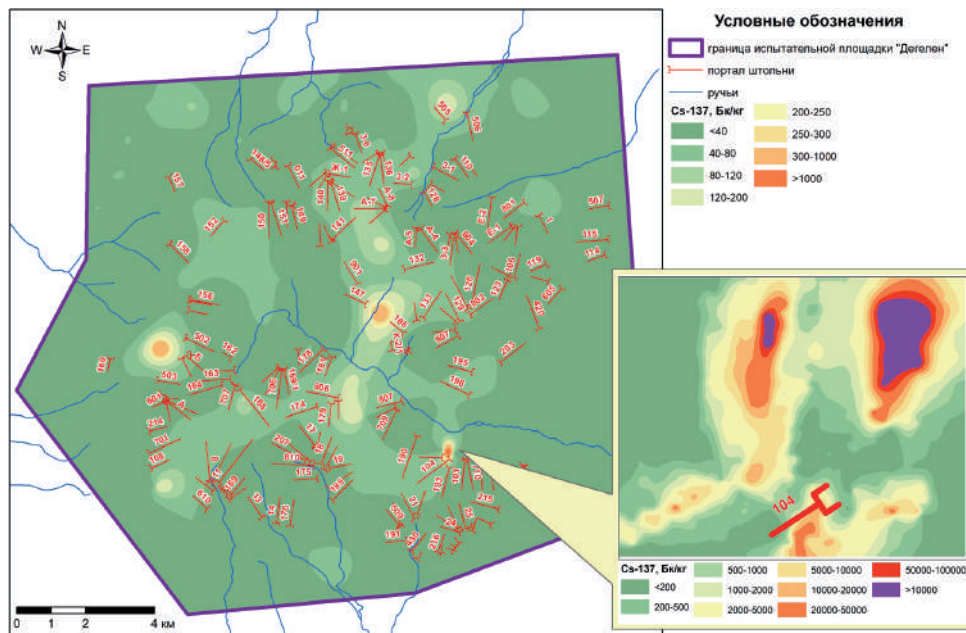
Радиоэкологическое обследование площадки «Дегелен» показало, что большая часть территории площадки не имеет радиоактивного загрязнения, так как основная доля (более 90 %) радиоактивности, наработанная в процессе ядерных испытаний, сосредоточена в полостях штолен. Однако существуют участки с повышенными концентрациями радионуклидов в объектах окружающей среды (почва, вода, растительность). Такие участки сформированы, в основном, тремя путями:

- 1) нештатные ситуации при проведении ядерных испытаний;
- 2) вскрытие штолен после проведения испытаний;
- 3) вынос радиоактивности из полостей штолен водным путем.

Максимальных значений радиоактивное загрязнение достигает, как правило, вблизи порталов штолен, около выхода водотоков на дневную поверхность. По мере удаления от припортальной площадки загрязнение местности уменьшается. Диапазон удельной активности в почве для ²⁴¹Am составил от <0,3 до $5,4 \times 10^6$ Бк/кг, ¹³⁷Cs – от <0,1 до $3,1 \times 10^6$ Бк/кг, ⁹⁰Sr – от <0,2 до $3,7 \times 10^6$ Бк/кг, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu – от <1,0 до $4,8 \times 10^5$ Бк/кг.



а)



б)

Рисунок 3.2. Карты распределения на территории площадки «Дегелен»:
а) ^{241}Am ; б) ^{137}Cs

Проведение подземных ядерных испытаний в штольнях привело к существенной деформации массива горных пород с образованием многочисленных зон дробления, провальных воронок и зияющих трещин, в результате чего значительно увеличилась проницаемость горных пород, что способствовало усилению нисходящей фильтрации и частичному переводу поверхностных водотоков в подземные. Таким образом, после проведения ядерных взрывов, в горном массиве Дегелен образовался совершенно новый тип подземных вод, объединяющий потоки трещинно-жильных и трещинных вод зоны фильтрации атмосферных осадков, в дальнейшем именуемых штольневые воды [130].

В результате поступления атмосферных осадков и трещинно-жильных вод в зоны необратимых деформаций и непосредственно в котловую полость, происходит формирование радионуклидного состава штольневых вод. Перемещаясь по системам трещин и полостей штолен, загрязненные радионуклидами воды пополняют бассейн подземных вод или выходят на дневную поверхность в районе порталов, загрязняя сопряженные с ними компоненты экосистем. Анализ имеющейся информации о максимальных значениях удельной активности радионуклидов в воде водотоков из различных штолен показал, что они достигали для ^{137}Cs – 820 Бк/кг (штольня № 504), для ^{90}Sr – 2100 Бк/кг (штольня № 177), для $^{239+240}\text{Pu}$ – 6,4 Бк/кг (штольня № 503), для ^{241}Am – 2,6 Бк/кг (штольня № 177) и для ^3H – $9,9 \times 10^5$ Бк/кг (штольня № 160).

Наибольшие значения удельной активности радионуклидов в растительности, как правило, отмечаются на берегах водотоков из штолен. Для ^{137}Cs это значение может достигать порядка 1×10^4 Бк/кг, ^{90}Sr – 1×10^4 Бк/кг, $^{239+240}\text{Pu}$ – 1×10^1 Бк/кг. Удельная активность ^{241}Am в растениях фиксировалась на уровне пределов обнаружения – 2-4 Бк/кг. Радионуклид ^3H включен в гидродинамическую систему горного массива Дегелен, поэтому его присутствие в растительности обусловлено не только наличием постоянного по-

верхностного водотока, но и глубиной залегания грунтовых вод. В долинах ручьев и межсопочных понижений уровень залегания грунтовых вод неглубок, поэтому ^3H присутствует в растительности, произрастающей в экосистемах равнин и межсопочных понижениях в пределах площадки «Дегелен».

В воздухе площадки «Дегелен» численных значений радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am не установлено, за исключением ^3H , содержание которого, в ряде случаев, может достигать 1000 Бк/м^3 . Это значение находится в одном порядке с пределом средней допустимой объемной активности в воздухе для населения $\text{ДОА}_{\text{нас}}$, составляющей 1900 Бк/м^3 и приведенной в Гигиенических нормативах «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» [48]. При этом установлено, что концентрация ^3H в атмосферном воздухе прямо пропорциональна концентрации ^3H в водном источнике, почвенном воздухе, растениях и также может зависеть от продуктивности растительного покрова при значительных концентрациях ^3H в растениях. Максимальные концентрации ^3H в воздухе наблюдаются вблизи открытых водоемов (водоток, запруда, родники), загрязненных ^3H .

Площадка «Балапан»

Площадка «Балапан» использовалась для проведения подземных ядерных взрывов в вертикальных скважинах. В отличие от атмосферных испытаний, радиоактивное загрязнение местности от проведения подземных ядерных взрывов в скважинах несравнимо мало. Основная доля радиоактивных продуктов остается «захороненной» в геологической толще пород. При проведении подземных ядерных взрывов в скважинах со штатной радиационной ситуацией доминирующая часть наработанной радиоактивности остается в эпицентре взрыва под землей, на поверхность же выходит относительно небольшая ее часть.

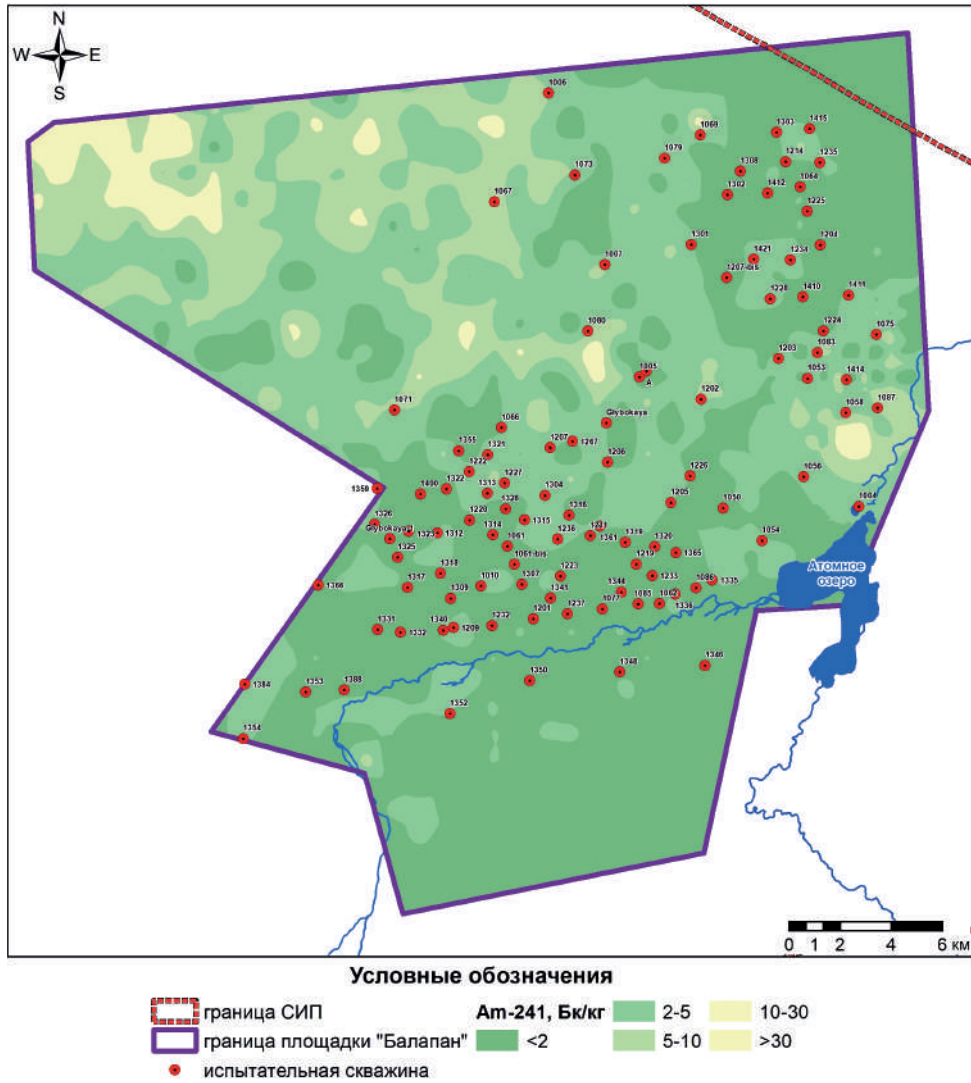


Рисунок 3.3. Карта распределения ²⁴¹Am на территории площадки «Балапан»

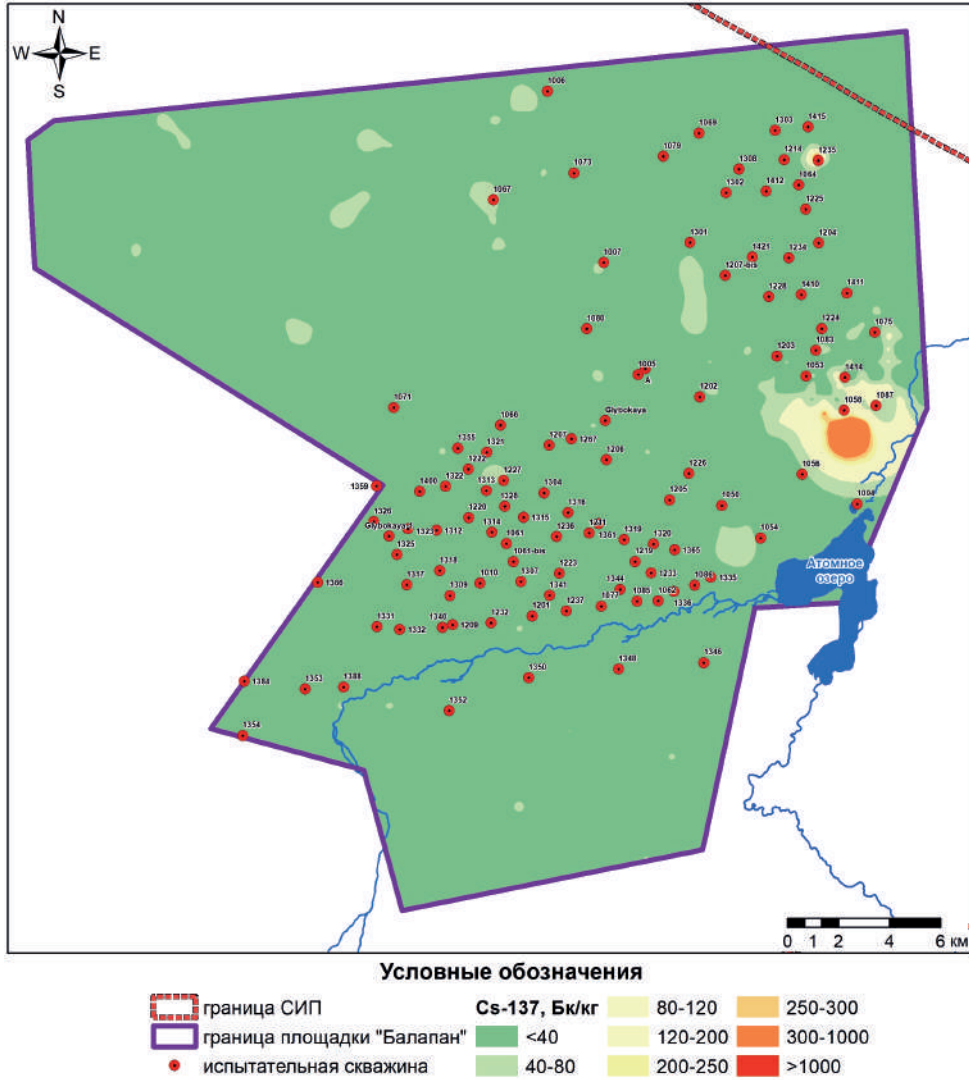


Рисунок 3.4. Карта распределения ^{137}Cs на территории площадки «Балапан»

Радиоактивное загрязнение испытательной площадки вызвано 2 основными факторами. Первым фактором является выпадение радиоизотопов из атмосферы, вследствие атмосферных ядерных испытаний на площадке «Опытное поле». Следы выпадений протянулись от северо-западной части площадки до центра площадки. Протяженность следов составляет ~30 км, площадь загрязнения – ~250 км². Удельная активность по ²⁴¹Am в почве достигает значений до 30 Бк/кг, по ¹³⁷Cs до 80 Бк/кг. Вторым фактором является выпадение радиоизотопов вследствие проведения подземных ядерных испытаний с радиоактивным выходом. Самая большая область загрязнения образована следами радиоактивных выпадений от испытания в скважине № 1004. След радиоактивных выпадений имеет протяженность порядка 15 км. Концентрация искусственных радионуклидов достигает: ¹³⁷Cs – $n \times 10^3$ Бк/кг и ²⁴¹Am – $n \times 10^3$ Бк/кг.

При детальном рассмотрении характера радиоактивного загрязнения приустьевой территории скважин установлено, что максимальное радиоактивное загрязнение приурочено либо к взрыву с выбросом грунта, либо к испытаниям с нештатной радиационной ситуацией. Диапазон значений удельной активности для ²⁴¹Am составил от <0,3 до $6,0 \times 10^5$ Бк/кг, для ¹³⁷Cs – от <0,1 до $1,9 \times 10^6$ Бк/кг, для ⁹⁰Sr – <2 до $2,4 \times 10^5$ Бк/кг, для ²³⁹⁺²⁴⁰Pu – от <0,1 до $6,9 \times 10^6$ Бк/кг.

Высоким содержанием как трансурановых радионуклидов ²³⁹⁺²⁴⁰Pu и ²⁴¹Am, так продуктов деления ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr характеризуется растительный покров на приустьевых территориях скважин. Диапазон удельной активности для ²⁴¹Am варьирует от <0,1 до $9,4 \times 10^4$ Бк/кг, ¹³⁷Cs – от <0,1 до $2,9 \times 10^5$ Бк/кг, ⁹⁰Sr – от <0,3 до $8,3 \times 10^4$ Бк/кг, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu – от <0,1 до $3,9 \times 10^4$ Бк/кг.

Одним из испытаний, которое повлекло за собой образование обширного радиоактивного загрязнения, было испытание в мирных целях, получившее название «Чаган». Ядерное устройство было заложено в скважине № 1004 в месте слияния рек Шаган и Ащису. В результате данного испытания произошло загрязнение вод и прибрежной территории самой реки Шаган.

По результатам обследования реки Шаган определено, что содержание всех основных искусственных радионуклидов максимально в месте выхода из плотины «Атомного озера», что, несомненно, обусловлено экскавационным взрывом в скважине № 1004. Исключением является радионуклид ^3H , концентрация которого имеет свое максимальное значение на участке с 5 по 14 км и достигает значений 370 000 Бк/кг.

При рассмотрении воздушной среды максимальные значения также отмечаются на «Атомном озере». Максимальная концентрация радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ в воздушной среде обнаружена в зоне навала и достигает $6,0 \times 10^{-3}$ Бк/м³, ^{241}Am – от $7,4 \times 10^{-4}$ до $1,3 \times 10^{-3}$ Бк/м³. При отдалении от зоны навала в сторону концентрация радионуклидов в воздухе снижается.

Площадка «Сары-Узень»

Площадка «Сары-Узень», так же, как и «Балапан», использовалась для проведения подземных ядерных взрывов в вертикальных скважинах. Отличием в проведение экспериментов является различная глубина закладывания ядерного заряда («Балапан» – до 600 м, «Сары-Узень» – до 300 м) [131] и проведением на территории площадки «Сары-Узень» неядерно-взрывных экспериментов.

Радиоактивное загрязнение испытательной площадки также вызвано 2 основными факторами. Первым фактором является поверхностное загрязнение, обусловленное радиоактивными выпадениями от наземного ядерного испытания, проведенного 24.09.1951 года на площадке «Опытное поле». След радиоактивных выпадений протянулся от северо-западной части площадки «Сары-Узень» до ее южной границы. Протяженность следа в пределах данной площадки составляет около 22 км, площадь загрязнения – около 56 км². Диапазон значений удельной активности для ^{241}Am в почве варьирует от <0,3 до 390 Бк/кг, при среднем значении 5 Бк/кг, для ^{137}Cs от <1,1 до 330 Бк/кг, при среднем значении 55 Бк/кг.

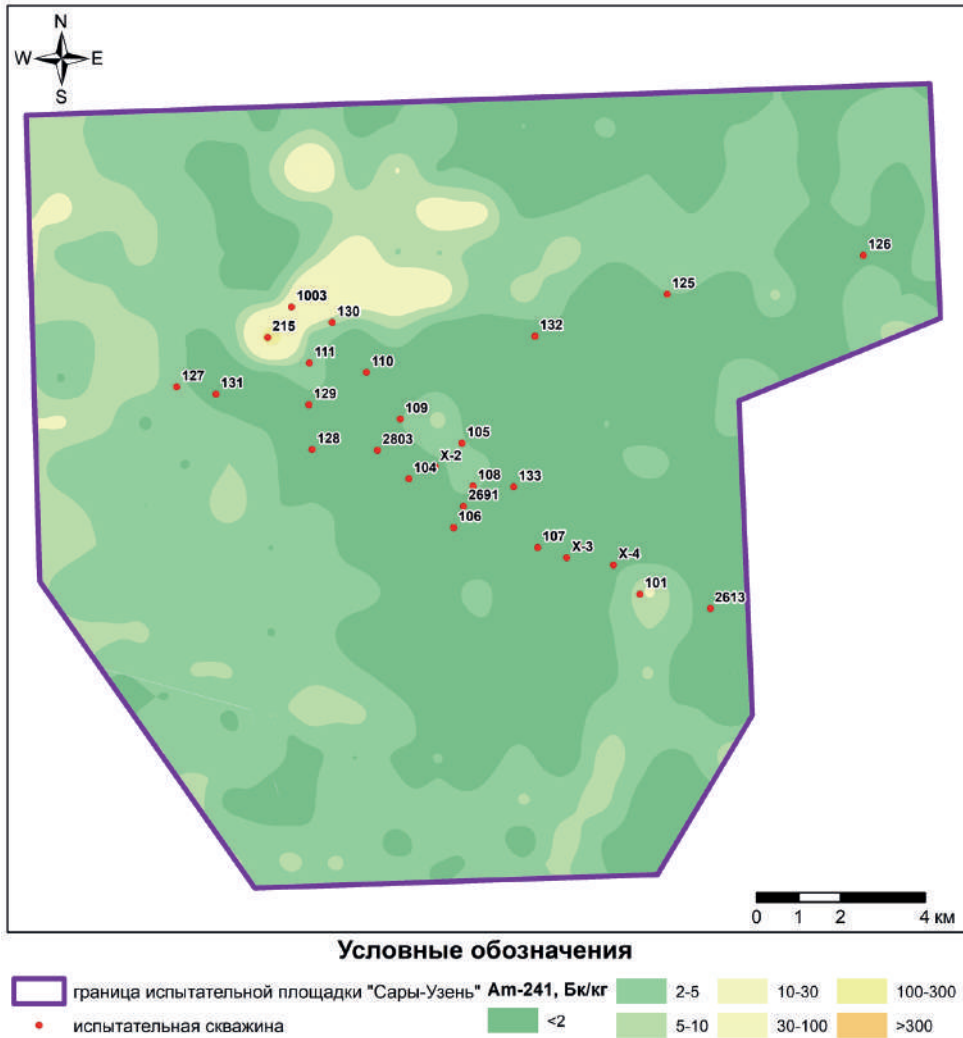


Рисунок 3.5. Карта распределения ^{241}Am на территории площадки «Сары-Узень»

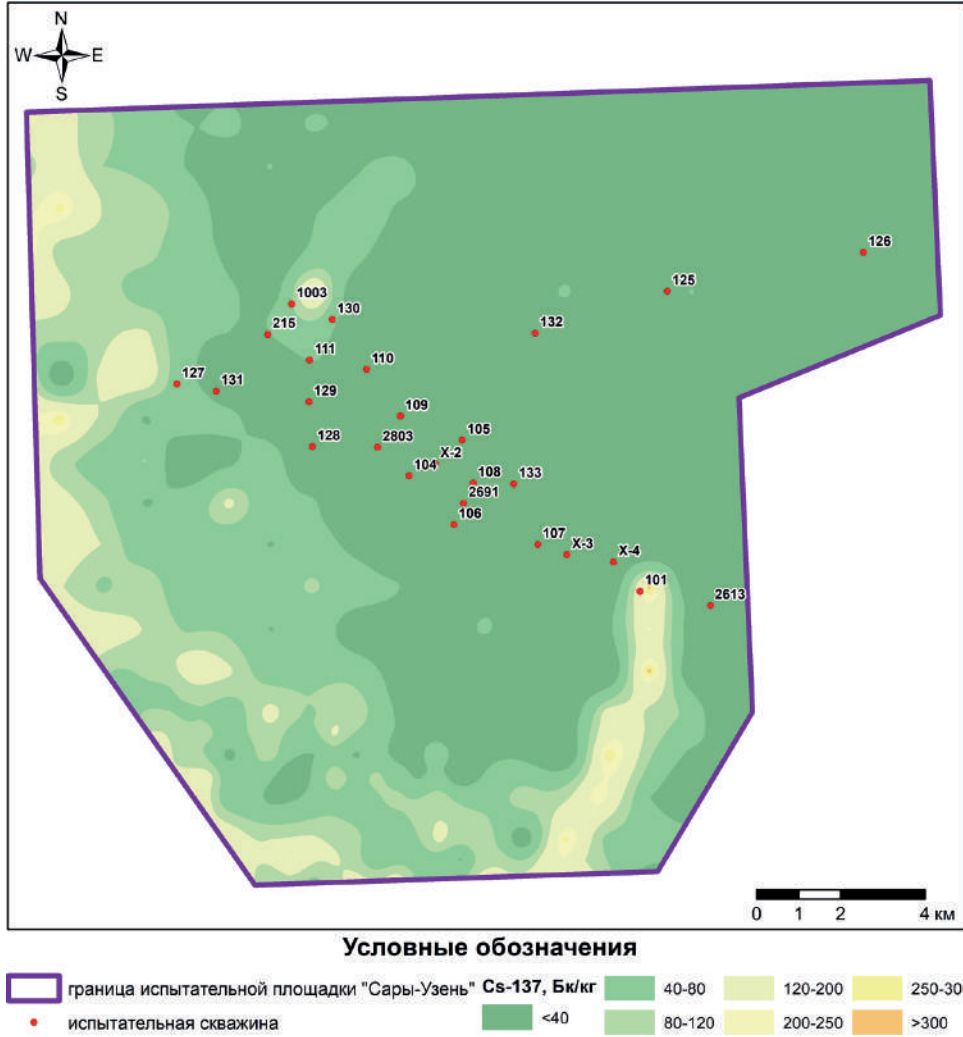


Рисунок 3.6. Карта распределения ^{137}Cs на территории площадки «Сары-Узень»

Вторым фактором является загрязнение, связанное с проведением подземных ядерных испытаний, которые прошли в скважинах №№ 101, 125, 215 и 1003. Самую большую область загрязнения имеет след радиоактивных выпадений от ядерного испытания, осуществленного в скважине № 101. Данный след имеет протяженность около 8 км и выходит за пределы испытательной площадки. На данных участках максимальная концентрация искусственных радионуклидов составляет: ^{137}Cs – $1,1 \times 10^4$ Бк/кг и ^{241}Am – $9,2 \times 10^4$ Бк/кг.

Обследование радиоактивного загрязнения приустьевой территории скважин, так же, как и на площадке «Балапан», показало, что максимальное радиоактивное загрязнение приурочено либо к взрыву с выбросом грунта, либо к испытаниям с нештатной радиационной ситуацией. Диапазон значений удельной активности для ^{241}Am составил от $<0,3$ до $1,6 \times 10^5$ Бк/кг, для ^{137}Cs – от $<0,1$ до $4,8 \times 10^5$ Бк/кг, для ^{90}Sr – <2 до $2,4 \times 10^5$ Бк/кг, для $^{239+240}\text{Pu}$ – от $<0,1$ до $6,9 \times 10^6$ Бк/кг.

При рассмотрении растительного покрова, можно отметить, что приустьевая территория скважин характеризуется высоким содержанием таких радионуклидов, как $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{90}Sr и, в сравнительно меньшей степени, загрязнена ^{137}Cs . Диапазон удельной активности для ^{241}Am составил от $<0,1$ до $6,0 \times 10^3$ Бк/кг, ^{137}Cs – от $<0,1$ до $2,4 \times 10^2$ Бк/кг, ^{90}Sr – от $<0,9$ до $7,2 \times 10^3$ Бк/кг, $^{239+240}\text{Pu}$ – от $<0,1$ до $1,5 \times 10^3$ Бк/кг.

Содержание радионуклидов ^{241}Am и ^{137}Cs в воздушной среде находится ниже уровня предела обнаружения. Численные значения радионуклидов в воздухе обнаружены только для $^{239+240}\text{Pu}$ – от $0,5 \times 10^{-6}$ до 13×10^{-6} Бк/м³, что свидетельствует о том, что содержание радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ в воздухе на 2–4 порядка ниже уровней ДОА_{нас}, установленных Гигиеническими нормативами «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» [48].

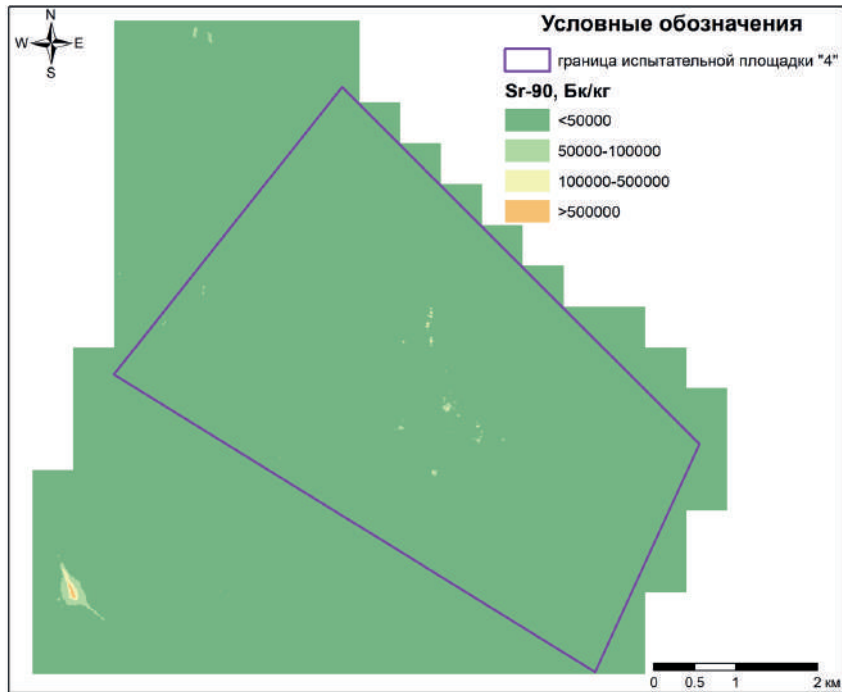
Площадки «4» и «4А»

Известно, что ядерные взрывы – не единственный вид испытаний, проводившихся на территории СИП. Площадки «4» и «4А» яв-

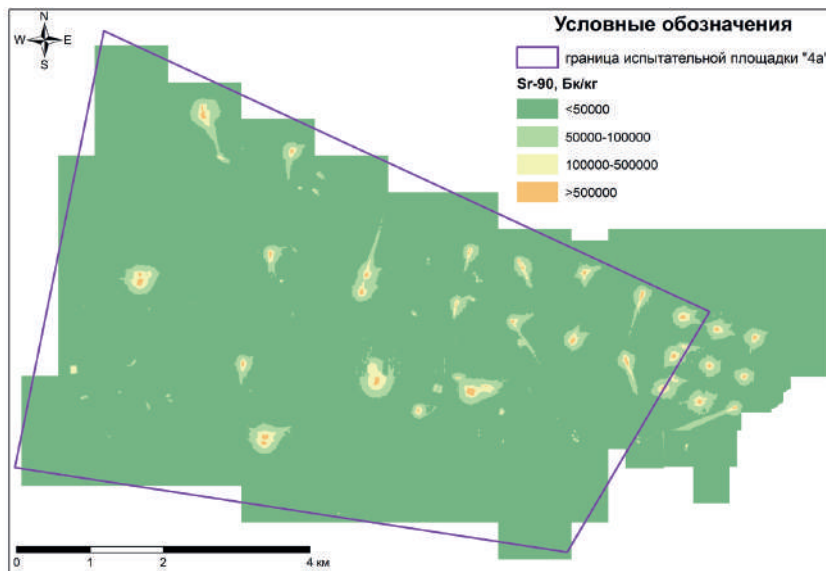
ляются испытательными площадками, где осуществлялись программы по испытанию боевых радиоактивных веществ. В экспериментах использовалась радиоактивная рецептура, содержащая продукты деления со средним и большим периодом полураспада. В подавляющем числе случаев это был ^{90}Sr , который представляет наибольшую радиологическую опасность. Растворимые формы ^{90}Sr хорошо всасываются в желудочно-кишечном тракте млекопитающих. Кроме того, продуктом его распада служит радиоактивный ^{90}Y , обладающий периодом полураспада 64 часа. Он вскоре испускает еще один β -электрон и становится стабильным ^{90}Zr . Большие дозы ^{90}Sr вызывают у человека острую лучевую болезнь, длительное воздействие небольших доз приводит к развитию хронической ее формы [132].

В соответствии с вышеперечисленным, в ходе обследования территорий данных испытательных площадок основные работы были направлены именно на выявление ^{90}Sr . В результате проведенных исследований обнаружены отдельные фрагменты металлических изделий, используемых при испытании БРВ, а также выявлены более 40 участков локального радиоактивного загрязнения.

Как и ожидалось, основным загрязнителем испытательных площадок «4» и «4А» является радионуклид ^{90}Sr , концентрация которого в почве варьирует в пределах от <1 до $5,9 \times 10^8$ Бк/кг. Также исследования показали, что на территории площадок существуют места, где имеются повышенные значения других искусственных радионуклидов: по ^{137}Cs от $<0,2$ до $3,8 \times 10^5$ Бк/кг, по ^{241}Am от $<0,3$ до $3,0 \times 10^4$ Бк/кг, по $^{239+240}\text{Pu}$ – от <1 до $7,9 \times 10^5$ Бк/кг. Также необходимо отметить, что не все радиоактивное загрязнение находится в пределах исторических границ площадок. На площадке «4» имеется крупный участок радиоактивного загрязнения, расположенный в 3 км в юго-западном направлении от границы площадки. На площадке «4А» тоже имеется ряд локальных участков радиоактивного загрязнения, выходящих за пределы границ площадки в восточном направлении. Вероятней всего это обусловлено возможными отклонениями от назначенной позиции во время проведения испытаний (сброс боезаряда с самолета), а также относительной условностью границ. Данные участки приурочены к территориям испытательных площадок «4» и «4А».



а)



б)

Рисунок 3.7. Карты распределения ^{90}Sr на территории площадок: а) «4»; б) «4А»

В растительном покрове, так же, как и в почвенном, основным загрязнителем является ^{90}Sr , концентрация которого варьирует в пределах от <1 до $8,3 \times 10^8$ Бк/кг, что сравнимо с концентрацией данного радионуклида в почве, а в ряде случаев даже превышает ее. Высокие значения удельной активности в растениях характерны и для остальных радионуклидов: для ^{241}Am – от $<0,1$ до $9,2 \times 10^2$ Бк/кг, для ^{137}Cs – от $<0,2$ до $1,0 \times 10^3$ Бк/кг, для $^{239+240}\text{Pu}$ – от <2 до $2,4 \times 10^3$ Бк/кг.

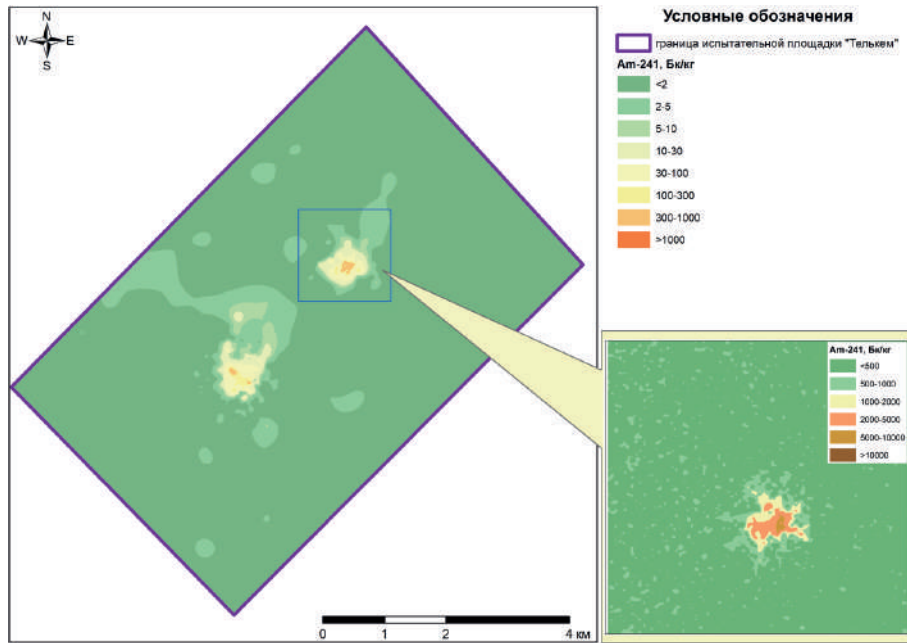
На территории обследуемых площадок объемная активность искусственных радионуклидов в воздухе составила: для ^{241}Am – $<8,0 \times 10^{-5}$ Бк/м³, для ^{137}Cs – $<3,5 \times 10^{-5}$ Бк/м³, ^{90}Sr – $<4,3 \times 10^{-5}$ до $1,4 \times 10^{-2}$ Бк/м³, $^{239+240}\text{Pu}$ – от $<4,2 \times 10^{-7}$ до $4,7 \times 10^{-6}$ Бк/м³, что на 3-5 порядков ниже уровней ДОА_{нас}, установленных Гигиеническими нормативами «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» [48].

Площадка «Телькем»

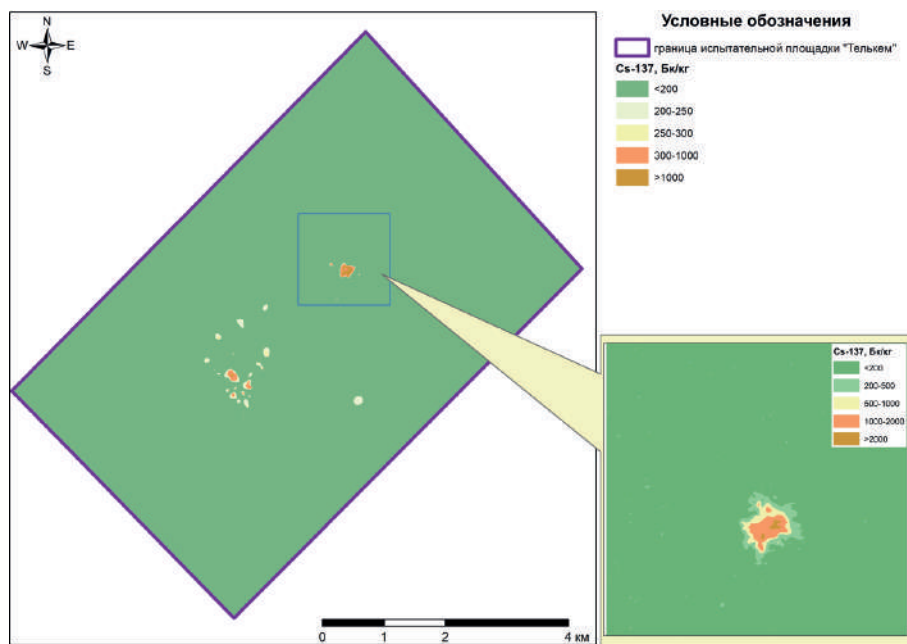
Площадка «Телькем» представляет собой две крупных воронки от двух промышленных экскавационных взрывов (Телькем-1, Телькем-2), осуществленных осенью 1968 года. Промышленные ядерные взрывы были одними из первых направлений Программы промышленного использования подземных ядерных взрывов с выбросом грунта для создания искусственных водоемов.

Площадные исследования показали, что радионуклиды локализованы вокруг воронок, заполненных грунтовыми водами (так называемых «озер»), образованных во время ядерных испытаний.

На основании исследований водной среды установлено, что в поверхностных водах, которые наполняют воронки на площадке «Телькем», присутствуют радионуклиды ^{90}Sr и ^3H в количествах, не превышающих уровень вмешательства [48]. Присутствия в воде радионуклидов ^{137}Cs , ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ отмечено не было.



а)



б)

Рисунок 3.8. Карты распределения на территории площадки «Телькем»: а) ^{241}Am ; б) ^{137}Cs

Значимые концентрации удельной активности в растениях отмечаются для радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ (от 5,1 до $1,6 \times 10^4$ Бк/кг). Диапазон удельной активности для ^{241}Am составил от $<0,1$ до $1,3 \times 10^3$ Бк/кг, ^{137}Cs – от $<0,2$ до $1,6 \times 10^3$ Бк/кг, ^{90}Sr – от 68 до $5,4 \times 10^3$ Бк/кг.

Загрязнение воздушного бассейна территории обусловлено вторичным переносом радиоактивных частиц пыли, содержащих долгоживущие радионуклиды ^{137}Cs , ^{241}Am , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$. Численные значения концентрации были получены только по радионуклиду $^{239+240}\text{Pu}$ и достигали 1×10^{-3} Бк/кг.

Выводы

На основании данных, полученных в результате многолетнего обследования территории испытательных площадок, и анализа карт площадного распределения искусственных радионуклидов, были выявлены участки радиоактивного загрязнения, на которых значения площадной активности радионуклидов в почвенном покрове превышали значения, установленные в Критериях оценки экологической обстановки территорий [51]. Так, на площадке «Опытное поле» были выявлены 25 радиоактивно загрязненных участков общей площадью $4,2 \times 10^7$ м², на «Дегелене» – 16 участков с общей площадью $7,6 \times 10^5$ м², на «Балапане» – 13 участков общей площадью $8,0 \times 10^6$ м², на «Сары-Узене» – 7 участков общей площадью $9,4 \times 10^5$ м², на площадке «4» – 6 участков общей площадью $1,6 \times 10^5$ м², на площадке «4А» – 36 участков общей площадью $2,7 \times 10^6$ м², на «Телькеме» – 2 участка общей площадью $1,6 \times 10^5$ м².

ГЛАВА 4. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПОЛИГОНА

4.1 Радиационная обстановка на прилегающих территориях

Многолетняя деятельность СИП стала причиной радиоактивного загрязнения территорий, находящихся и за пределами полигона. Основной вклад в радиоактивное загрязнение территорий внесли атмосферные ядерные испытания, проводившиеся в период с 1949 по 1962 годы. В первую очередь, это связано с погодными условиями в момент проведения ядерных испытаний, в результате которых, радиоактивные облака выходили за пределы полигона и в виде радиоактивных осадков выпадали на земную поверхность. Несмотря на большое количество атмосферных ядерных испытаний, проведенных на СИП (116 испытаний [3, 133]), лишь несколько из них сформировали радиоактивное загрязнение за пределами полигона, тогда как большинство испытаний были проведены в режиме максимального осаждения продуктов ядерного взрыва непосредственно на территории полигона. В конце 1956 года военными специалистами полигона и сотрудниками Института прикладной геофизики Академии наук СССР было проведено первое обстоятельное дозиметрическое и радиометрическое обследование СИП, а также осуществлена аэрогаммасъемка местности на расстояниях до 500 км вокруг полигона.

Проведенное обследование показало, что к числу испытаний, оказавших влияние на радиационную обстановку за пределами СИП, относятся первое советское атмосферное ядерное испытание, проведенное 29.08.1949 года, образовавшее радиоактивный след в северо-восточном направлении от испытательной площадки «Опытное поле», атмосферное ядерное испытание, произошедшее 24.09.1951 года, в результате которого образовался след в южном направлении, и первое испытание советской водородной бомбы в атмосфере, осуществленное 12.08.1953 года и послужившее причиной образования следа в юго-восточном направлении.

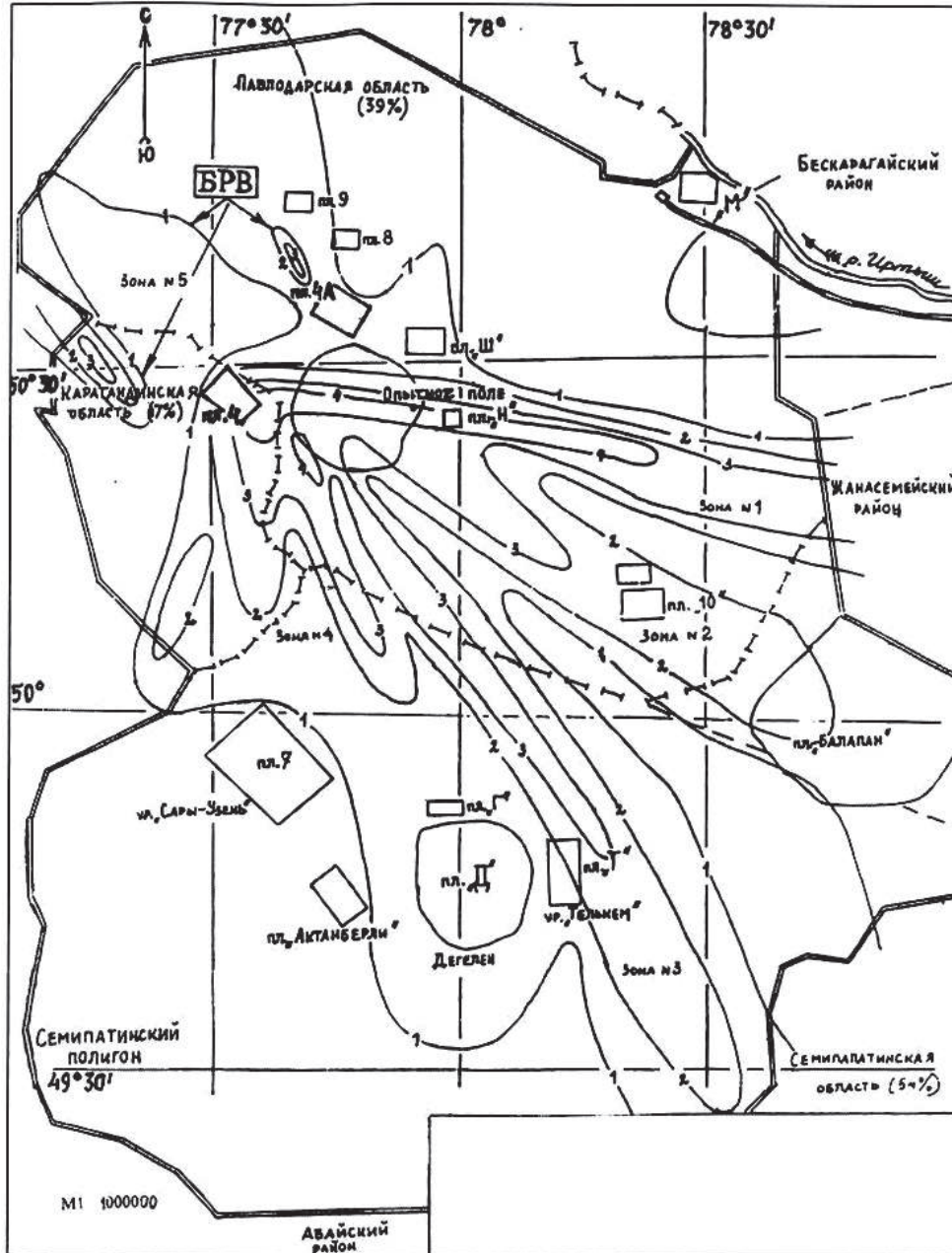


Рисунок 4.1. Схема радиоактивного загрязнения территории СИП по состоянию на декабрь 1956 года. Положение изолиний мощностей доз гамма-излучения, мкР/ч: 1) 12-40, 2) 40-100, 3) 100-1000, 4) >1000 [8]

Информации об организации метеорологического обеспечения первых ядерных испытаний сохранилось мало. Архивные данные касательно первого ядерного испытания, проведенного 29 августа 1949 года, сообщают лишь о скорости среднего ветра, равной 40-60 км/ч в слое атмосферы от 0 до 6 км [2]. По свидетельствам очевидцев, в течение августа 1949 года стояла сухая и жаркая погода, однако в ночь с 28 на 29 августа произошло резкое усиление ветра, к утру началась гроза. Руководители эксперимента беспокоились о несанкционированном подрыве ядерного заряда, размещенном на 37,5-метровой металлической башне в случае удара молнии. При этом, осуществление первого советского экспериментального испытания ядерного заряда являлось важным военно-политическим событием на мировой арене. Руководителями работ было принято решение о переносе ядерного испытания с 8 утра на 7 утра. Таким образом, недостаток метеорологических сведений при проведении испытания стал причиной обширного радиоактивного загрязнения территории за пределами полигона, на которой доза внешнего гамма-излучения на местности до полного распада радиоактивных веществ могла превышать 1 Р.

Осуществление первого экспериментального испытания ядерного заряда являлось важным военно-политическим событием, что стало причиной пренебрежения к метеорологическим условиям и проведения подрыва устройства в дождливую погоду с резкими порывами ветра. Результат принятого решения – обширное радиоактивное загрязнение территории за пределами полигона, на которой доза внешнего гамма-излучения на местности до полного распада радиоактивных веществ могла превышать 1 Р. Загрязнение простиралось постепенно расширяющейся полосой до расстояния примерно 300 км от границы запретной зоны при ширине следа до 40–50 км [134]. В зоне прохождения следа радиоактивных вы-

падения от ядерного испытания 29.08.1949 года оказались Бескарагайский и Новопокровский районы Семипалатинской области, а также некоторые районы Алтайского края. В результате выпадений от ядерного испытания, осуществленного 24.09.1951 года, радиоактивному загрязнению подверглись Абайский, Чубартауский и Аягузский районы Семипалатинской области. После проведения самого мощного наземного испытания в СССР, проведенного 12.08.1953 года радиоактивными продуктами была загрязнена территория Абайского, Георгиевского и Аягузского районов Семипалатинской области с населенными пунктами Абай, Кызылтас, Журекодыр, Саржал (колхоз им. Тельмана) и др. [3, 8].

В период с 1956 по 1989 годы было организовано 6 комплексных медицинских научных экспедиций и постоянно работали 2 специально созданных диспансера, обследующие радиационную и санитарно-гигиеническую обстановку, а также состояние здоровья жителей населенных пунктов части Восточно-Казахстанской, Семипалатинской, Павлодарской и Карагандинской областей [3]. Необходимо отметить, что за весь период наблюдений за состоянием здоровья населения, проживающего на радиоактивно загрязненных территориях, не было выявлено случаев острой или хронической лучевой болезни [3].

Основной целью радиационного контроля в период проведения ядерных испытаний являлось определение характеристик каждого радиоактивного следа и, в первую очередь, доз внешнего облучения населения, проживавшего вблизи полигона [3, 3]. Так, согласно литературным данным, на прилегающих к СИП территориях, находившихся в зоне следов радиоактивных выпадений от атмосферных испытаний, средняя доза облучения для населения колебалась в пределах 0,03-0,50 Р (0,26-4,40 мЗв) [8].

После прекращения ядерных испытаний встал вопрос об определении масштабов и уровней радиоактивного загрязнения окру-

жающей среды на прилегающих к полигону территориях, а также о степени воздействия деятельности полигона на здоровье населения. С целью установления радиационной обстановки на прилегающих к СИП территориях осуществлялись радиоэкологические обследования, проводимые специалистами Казахстана по различным проектам совместно с коллегами из стран ближнего и дальнего зарубежья (России, США, Японии, Германии, Австрии, Франции и др.).

По результатам исследований были составлены паспорта 711 населенных пунктов с указанием в них доз внешнего облучения после проведения каждого конкретного испытания и суммарных доз внешнего облучения за весь период испытаний. Рецензентами работ по разработке паспортов были такие выдающиеся ученые Казахстана как Батырбеков Г.А., Айтмагамбетов Р.А., Сайбеков Т.С. Все паспорта были переданы в Минздрав РК и в Минэкобиоресурсов РК [8].

На основании полученных материалов был разработан и принят Закон Республики Казахстан от 18 декабря 1992 года № 1787-ХІІ «О социальной защите граждан, пострадавших вследствие ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном ядерном полигоне», в котором приведена классификация территорий, подвергшихся воздействию ядерных испытаний (Рисунок 4.2).

Согласно данной классификации, вся территория Восточно-Казахстанской и прилегающие к полигону районы Павлодарской и Карагандинской областей признаны зоной экологического бедствия. К зоне чрезвычайного радиационного риска были отнесены территории Саржалского сельского округа Абайского района, Долонского сельского округа Бескарагайского района, населенных пунктов Сарапан и Иса упраздненного Жанасемейского района Восточно-Казахстанской области [136].

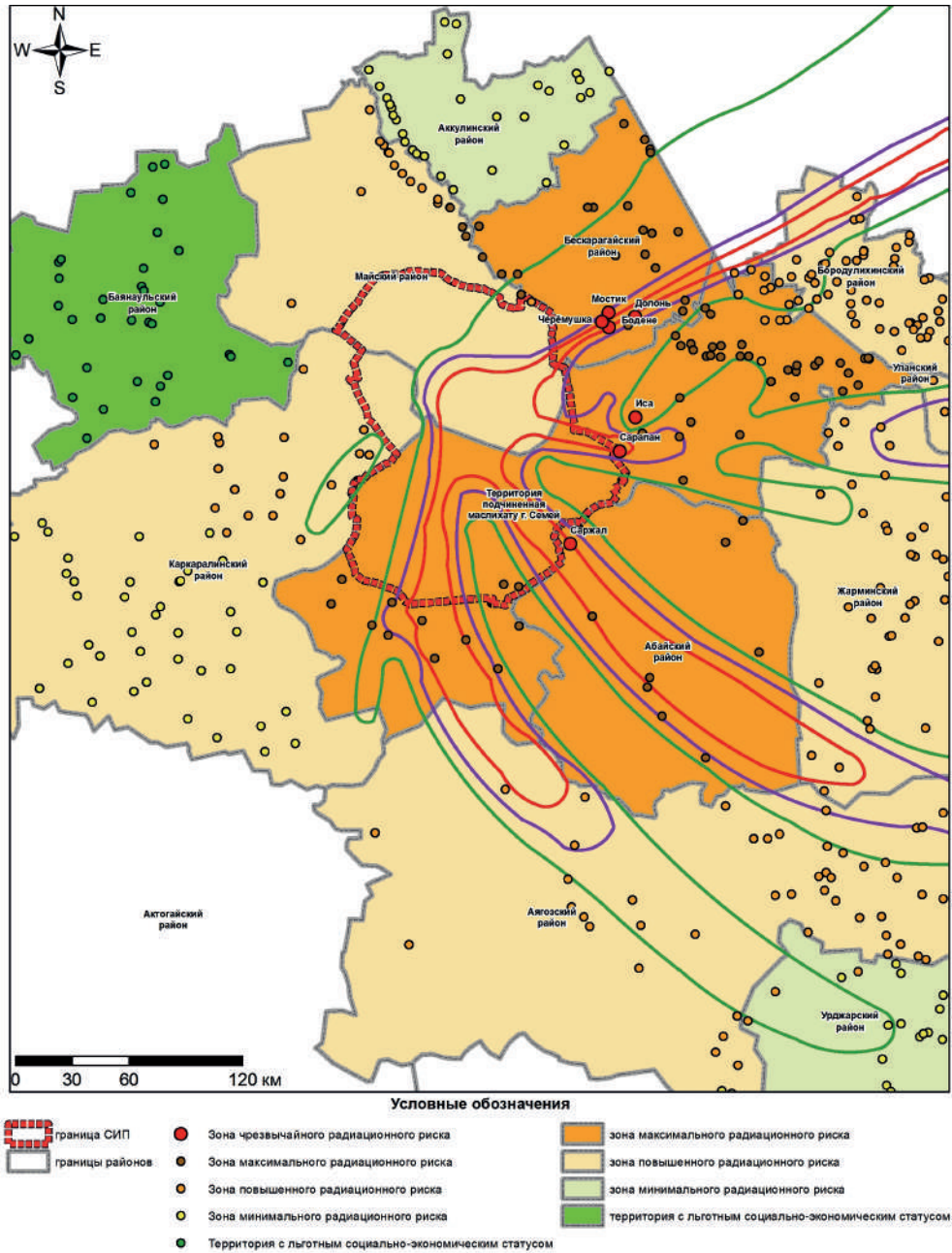


Рисунок 4.2. Классификация территорий, подвергшихся воздействию радиоактивных осадков при проведении ядерных испытаний

Предварительные исследования, проведенные в 2004-2005 годах на территории ленточных боров Прииртышья (Бескарагайский район) и на территории Абайского района (между населенными пунктами Саржал и Караул), выявили загрязнение почвенного покрова искусственным радионуклидом ^{137}Cs на уровне сотен беккерелей на килограмм [137]. Дальнейшие исследования территории ленточных боров, выполненные в 2006-2010 годах в рамках бюджетной программы «Сохранение лесов и увеличение лесистости территории Республики», показали, что вдоль следов радиоактивных выпадений загрязнение почвенного покрова искусственными радионуклидами ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ находится на уровне сотен беккерелей на килограмм, что превышает содержание радионуклидов, обнаруженное в почвах северной и западной частей СИП [138, 139].

В разные периоды времени специалистами Национального ядерного центра РК проводились радиозоологические обследования части территорий Майского района Павлодарской области и Абралинского и Бескарагайского районов Восточно-Казахстанской области [140, 141].

По результатам комплексного экологического обследования территории СИП, выполняемого Национальным ядерным центром РК, радиоактивное загрязнение окружающей среды искусственными радионуклидами зафиксировано на границе СИП, что подтверждает тот факт, что часть земель за пределами полигона также подверглась радиоактивному загрязнению от испытаний ядерного оружия. Так, в период проведения работ в 2011-2014 годы в рамках выполнения работ по республиканской бюджетной программе проводилось комплексное экологическое обследование юго-восточной части территории СИП, в ходе которого было установлено, что радиоактивное загрязнение окружающей среды искусственными радионуклидами фиксируется на юго-восточной границе СИП [141]. Ширина полосы достигала 40 км на границе полигона и 55-60 км на расстоянии 140-150 км от эпицентра взрыва.

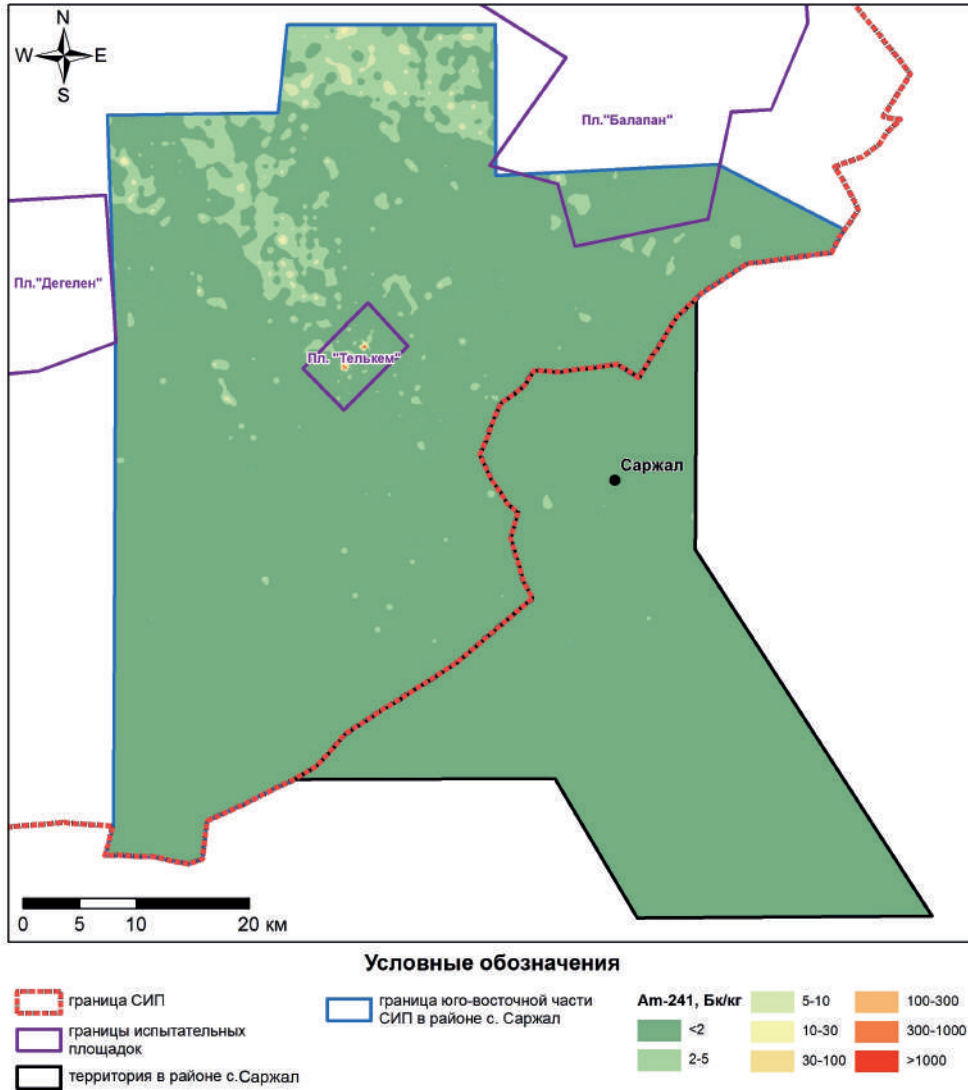


Рисунок 4.3. Радиоактивное загрязнение ^{241}Am юго-восточной части территорий до и после границы СИП

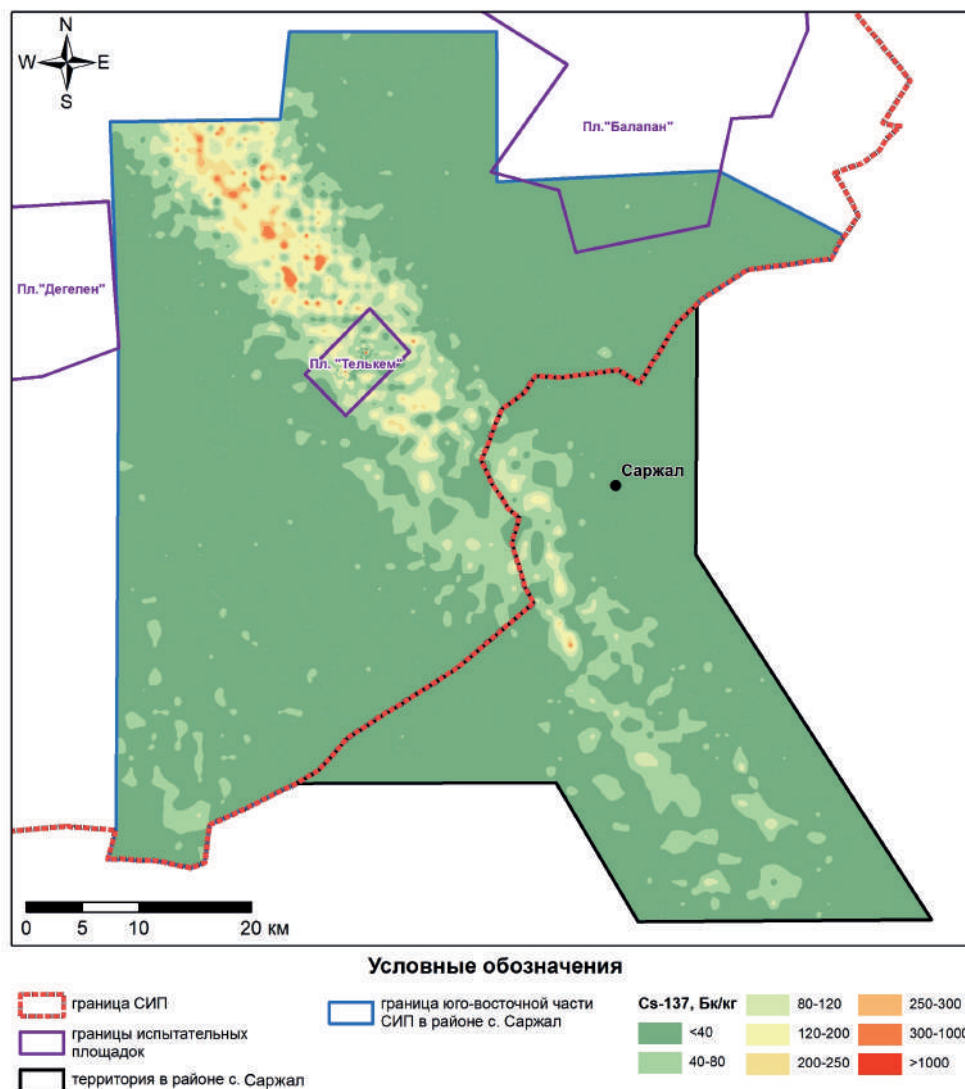


Рисунок 4.4. Радиоактивное загрязнение ^{137}Cs юго-восточной части территорий до и после границы СИП

В рамках работ по республиканской бюджетной программе на 2014-2016 годы планировалось проведение комплексных радиозоологических исследований территорий Бескарагайского, бывшего Жанасемейского районов и ряда населенных пунктов, относящихся к зонам чрезвычайного и максимального радиационного риска [141]. В 2014 году было начато обследование территории Бескара-

гайского района площадью 340 км² и населенных пунктов Бескарагай и Канонерка, через которые прошел след радиоактивных выпадений от ядерного испытания 29.08.1949 года (Рисунок 4.5) [142].

В рамках работ 2015 года проведены уточняющие исследования, направленные на определение границ радиоактивно загрязненных участков, выявление механизмов и факторов, влияющих на формирование и развитие радиационной обстановки.

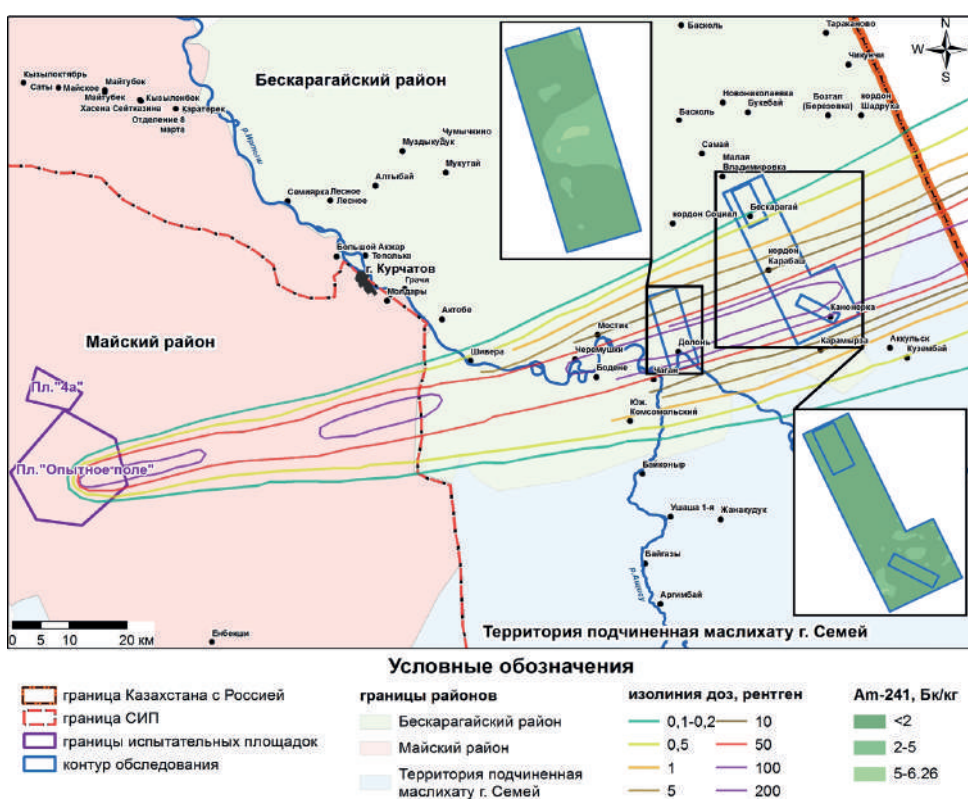


Рисунок 4.5. Схема радиоактивного загрязнения территорий, прилегающих к СИП, образовавшегося вследствие выпадений от ядерного испытания 29.08.1949 года

Анализ данных, полученных в результате проведенных работ, показал, что средние концентрации искусственных радионуклидов в почве обследованных населенных пунктов не превысили нормативные значения [48, 143]. Также было определено, что на окраинах

некоторых населенных пунктов наблюдаются области их повышенных значений. Причиной низких уровней содержания искусственных радионуклидов в центральной части населенных пунктов могло стать их заглобление в результате хозяйственной деятельности.

Помимо загрязнения прилегающих к СИП территорий во время проведения испытаний, остается проблема выноса искусственных радионуклидов за пределы территории СИП после завершения испытаний. Так, маловодная река Шаган, протекающая с запада на восток по южной границе испытательной площадки «Балапан», является левобережным притоком реки Иртыш.

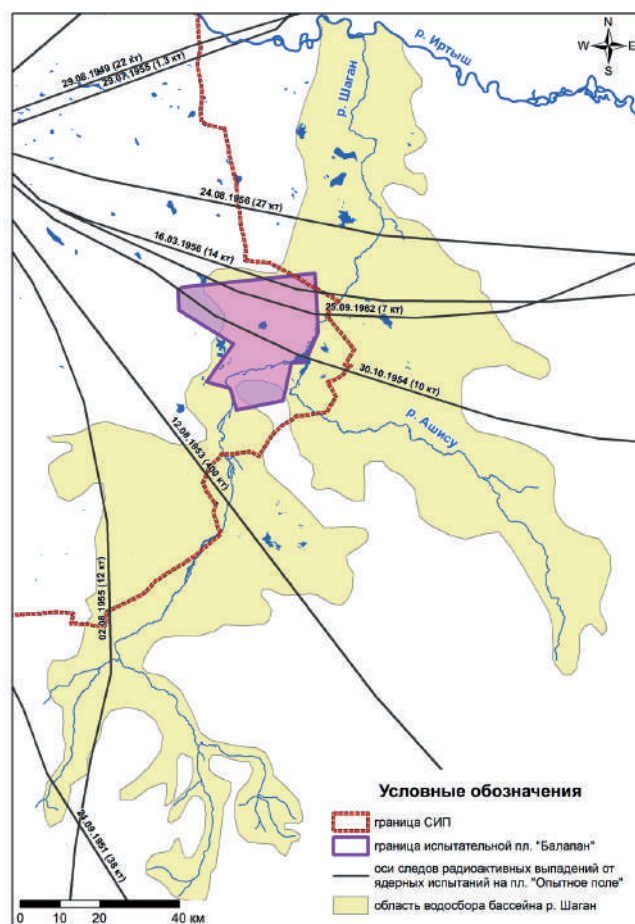


Рисунок 4.6. Область водосбора бассейна реки Шаган и следы локальных атмосферных выпадений от наземных взрывов на «Опытном поле»

Под влиянием ядерных испытаний, проводившихся на территории СИП, река Шаган и ее прибрежная территория подвергалась неоднократному радиационному воздействию. Основное радиоактивное загрязнение компонентов экосистемы реки сконцентрировано возле скважины № 1004, где 15 января 1965 года на глубине 178 метров был произведен экскавационный термоядерный взрыв с целью создания водохранилища [141]. Кроме того, радиоактивное загрязнение вод реки Шаган обусловлено подземными водами, поступающими в поверхностные воды реки с площадки «Балапан», где проводились подземные ядерные испытания в вертикальных скважинах [144, 145, 146].

Многолетние исследования выявили и многократно подтвердили, что основным загрязнителем реки Шаган является радионуклид ^3H . Радиоактивное загрязнение вод реки характеризуется крайне неравномерным распределением ^3H в воде. Так, по результатам исследований были выделены несколько радиоактивно загрязненных участков на отрезке реки Шаган от «Атомного озера» до впадения в реку Иртыш с различной концентрацией трития в поверхностных водах. Максимально зарегистрированная концентрация ^3H приходится на 5 км вниз по течению реки Шаган от «Атомного озера» и достигает 350000 Бк/кг, что почти в 50 раз превышает нормативное значение для населения. Такое значительное радиоактивное загрязнение вод реки сопоставимо с уровнем жидких радиоактивных отходов. До 10 км за пределами полигона содержание ^3H в водах реки варьирует в пределах от 10000 до 40000 Бк/кг, что превышает нормативное значение для населения в 1,3-5,2 раз [147, 148, 149, 150, 151].

В результате экологической цепочки происходит вторичное загрязнение ^3H компонентов экосистемы, к которым относятся растения, животные, воздух. В настоящее время, в зоне влияния реки Шаган имеются жилые зимовки и летники, осуществляется активная сельскохозяйственная деятельность: разведение и выпас

скота, заготовка сена, развита промысловая деятельность (отлов рыбы, добыча водоплавающих птиц и др.). Однако комплексного экологического обследования участка реки Шаган, начиная от границы СИП до впадения в реку Иртыш, не проводилось.

Таким образом, можно отметить, что исследования радиэкологической обстановки, влияния ядерных испытаний на окружающую среду и здоровье людей за пределами полигона, проводились со времен начала испытаний, но носили нерегулярный характер. Ряд факторов, таких как отсутствие единых исследовательских задач, использование различных методик, несопоставимость результатов исследований привели к тому, что полученная информация является разрозненной. Проводимые исследования не в полной мере охватили территории Бескарагайского сельского округа. Также нужно отметить, что территория Саржалского сельского округа обследовалась лишь вдоль предполагаемой оси следа радиоактивных выпадений от испытания 12.08.1953 года, полного обследования территории сельского округа не проводилось. Полученные данные не отражают существующую радиационную обстановку.

В статье 16 Закона РК «О социальной защите граждан, пострадавших вследствие ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном ядерном полигоне» говорится о необходимости осуществления комплекса мер, направленных на оздоровление окружающей природной среды на территориях, подвергшихся воздействию ядерных испытаний на СИП, в частности, о проведении научных исследований окружающей среды и постоянном контроле за объектами внешней среды и продуктами питания местного производства. Экологическое обследование территорий, отнесенных к зоне чрезвычайного радиационного риска и участка реки Шаган, начиная от границы СИП до впадения в реку Иртыш, позволит получить актуальные данные о содержании радионуклидов в объектах окружающей среды обследован-

ных территорий и оценить радиационную опасность для окружающей среды и населения.

В настоящее время Национальным ядерным центром РК проводятся активные работы по включению комплексного экологического обследования основных компонентов окружающей среды на указанных территориях в планы республиканских программ. Полученные результаты позволят оценить дозовые нагрузки на население, проживающее на этих территориях в настоящее время, что в конечном итоге позволит снизить социальное напряжение в обществе, связанное с негативным отношением к условиям жизни вблизи ядерного полигона.

4.2 Радиационный мониторинг

В настоящее время на территории СИП основными механизмами миграции радионуклидов из мест проведения ядерных испытаний являются воздушная и водная среда. Миграция радионуклидов с воздушными потоками может происходить вследствие естественного и техногенного подъема и переноса пылевидных фракций радиоактивно-загрязненной почвы в атмосферу. Естественный подъем пыли зависит от скорости ветра, техногенный подъем может зависеть от ряда факторов, например, перемещение людей, животных, техники по территории полигона [152, 153]. Миграция радионуклидов в водной среде обусловлена выносом искусственных радионуклидов с поверхностными и подземными водами по естественным гидрографическим путям полигона (ручьи, водосборные бассейны, разломы) [154, 155].

Учитывая возможность переноса техногенных радионуклидов, одной из важнейших задач на текущий момент является изучение качества воздушной и водной среды. Для этого на территории полигона и прилегающих участках ведется активная работа по созданию пунктов мониторинга, на которых выполняются регулярные наблюдения за радиационным состоянием воздушной и водной среды.

Таким образом, с целью развития радиационного мониторинга и ее дальнейшей реализации проводятся работы по получению исходных данных, определению контролируемых параметров и периодичности мониторинга, уточнению объемов и участков расположения пунктов мониторинга.

Радиационный мониторинг

Для осуществления мониторинга воздушной среды на территории СИП и прилегающей территории организованы круглосуточные пункты мониторинга воздуха. Мониторинг воздушной среды проводится в районе испытательных площадок СИП («Опытное поле», «Балапан» и «Дегелен») а также в населенных пунктах, прилегающих к территории СИП (Курчатов, Долонь и Саржал).

Отбор проб воздушных аэрозолей проводится различными стационарными и переносными пробоотборниками воздуха, замена фильтров осуществляется 1 раз в месяц. Средний объем прокачиваемого воздуха составляет 520 000 м³. Процесс отбора проб воздушных аэрозолей представлен на рисунках (Рисунок 4.7).

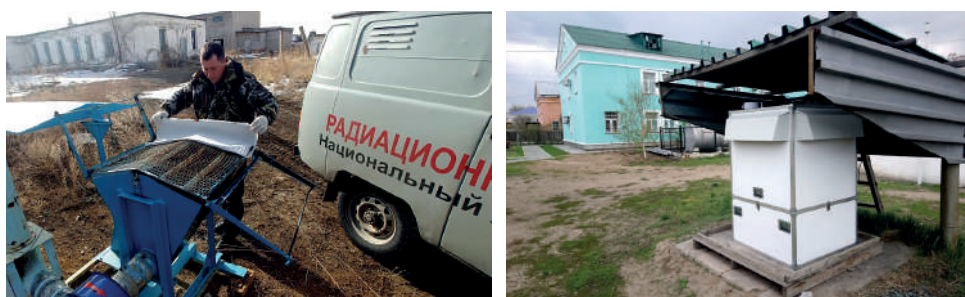


Рисунок 4.7. Отбор проб воздушных аэрозолей на пунктах мониторинга:

- а) отбор воздушных аэрозолей на КИР ИГР;**
- б) отбор воздушных аэрозолей в г. Курчатов**

Результаты мониторинга воздушной среды показали, что максимальные концентрации искусственных радионуклидов $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{137}Cs в воздухе фиксируются непосредственно в месте

техногенного воздействия на почвенный покров. Концентрация $^{239+240}\text{Pu}$ в воздухе в данном случае может более чем в 10 раз превышать $\text{ДОА}_{\text{нас}}$, которая составляет $2,5 \times 10^{-3}$ Бк/м³. Однако, на расстоянии 300 м от радиоактивно-загрязненного участка средняя концентрация искусственных радионуклидов в воздухе снижается на 2-3 порядка.

Для оценки масштабов распространения искусственных радионуклидов воздушным путем за пределы испытательных площадок на различном отдалении от эпицентров ядерных испытаний проведены специальные экспериментальные исследования. Так, на площадке «Балапан» максимальные концентрации $^{239+240}\text{Pu}$ в воздушной среде наблюдаются в зоне загрязненного навала «Атомного озера», достигающие $6,5 \times 10^{-3}$ Бк/м³. На расстоянии 5-10 км от «Атомного озера» концентрация $^{239+240}\text{Pu}$ в воздухе находится на уровне $1,0 \times 10^{-6}$ Бк/м³, что на 3 порядка ниже уровня $\text{ДОА}_{\text{нас}}$.

В целом, за пределами от эпицентров ядерных испытаний присутствие радионуклидов ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr не обнаружено. Численные значения в воздушной среде фиксируются для радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$. Наблюдения показали, что на всех участках СИП и в населенных пунктах (г. Курчатов, с. Долонь и с. Саржал) фиксируемая объемная активность $^{239+240}\text{Pu}$ в воздушной среде составляет от 10^{-9} до 10^{-7} Бк/м³. Данные значения на 3-5 порядков ниже допустимой объемной активности для категории население ($\text{ДОА}_{\text{нас}}$), установленной гигиеническими нормативами, и опасности для здоровья не представляют [48].

Для выполнения мониторинга водной среды на путях миграции искусственных радионуклидов, связанные с эпицентрами ядерных испытаний – площадки «Дегелен», «Балапан» и «Сары-Узень» (раздел 2.6 Радиационное состояние водной среды), организованы пункты мониторинга поверхностных и подземных вод. Отбор проб воды на пунктах мониторинга осуществляется с применением специальных пробоотборных устройств и техники (Рисунок 4.8).

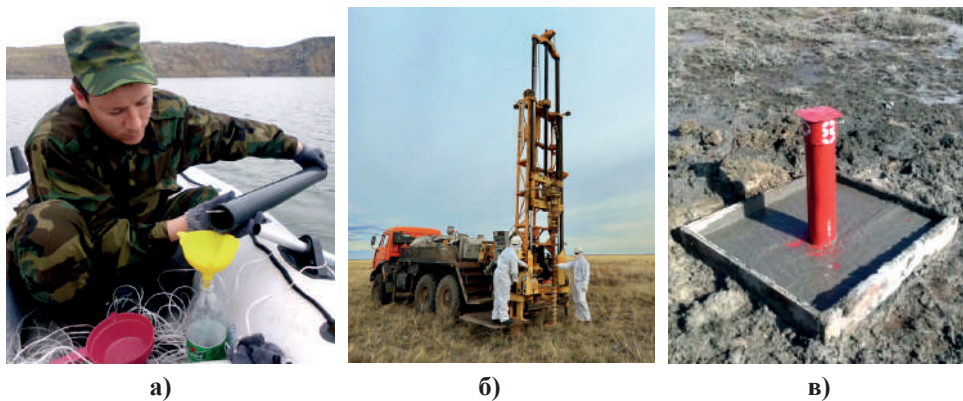


Рисунок 4.8. Мониторинг поверхностных и подземных вод
а) отбор поверхностных вод; б) отбор подземных вод;
в) пункт контроля подземных вод

Проводимый мониторинг показал, что основным радионуклидом, выходящим за пределы участков загрязнения с подземными и поверхностными водами, является ^3H . Миграция радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ в основном, ограничивается локализацией в пределах испытательных площадок «Дегелен», «Балапан» и «Сары-Узень».

Сравнительный анализ результатов мониторинга показал, что содержание ^3H в воде большинства пунктов мониторинга поверхностных и подземных вод значительно превышает значение уровня вмешательства (7600 Бк/кг) и изменяется в пределах от 20 до 400 000 Бк/кг. Изменение удельной активности ^3H наблюдается как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения. В этой связи, на отдельных участках мониторинга принято решение отбирать пробы воды в разные сезоны: весной, летом и осенью. Это позволило получить более детальные характеристики изменения радиационной ситуации.

К примеру, в русле реки Шаган, основываясь на полученных результатах, было выделено 3 мониторинговых пункта, расположенные на различном расстоянии от «Атомного озера» вниз по течению реки: на участке максимальной концентрации ^3H в воде

(«5 км»), в районе выхода реки Шаган за границу СИП («14 км») и на участке впадения реки Шаган в реку Иртыш («110 км»). Пункты мониторинга представлены на рисунке (Рисунок 4.9).

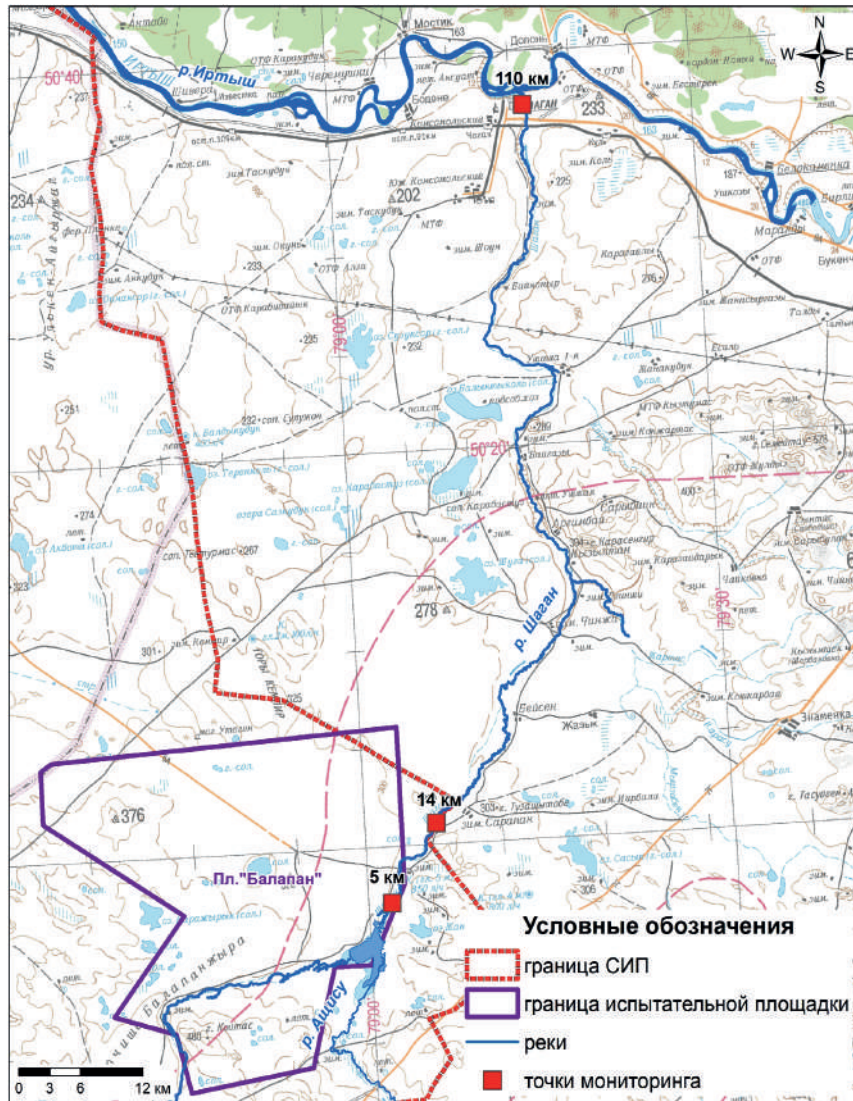


Рисунок 4.9. Пункты мониторинга вод реки Шаган

На всех трех пунктах мониторинга проводился сезонный отбор поверхностных вод: весной, летом и осенью. Результаты мониторинга представлены на рисунке (Рисунок 4.10).

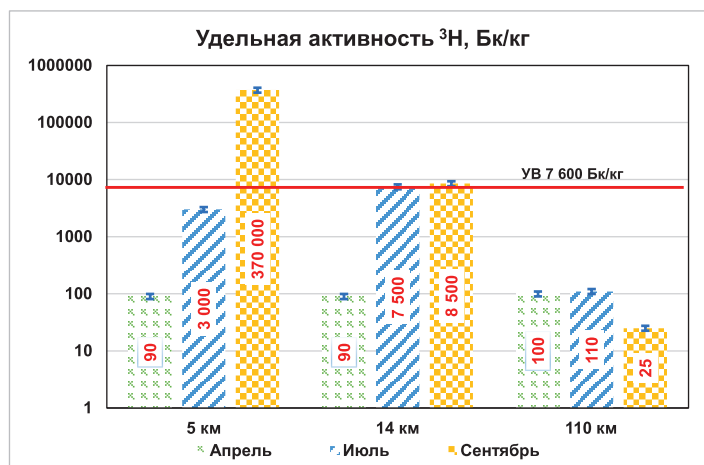


Рисунок 4.10. Мониторинг вод реки Шаган

Результаты мониторинга показали, что в период с апреля по сентябрь удельная активность ^3H может существенно изменяться. Наиболее ярко выраженные колебания отмечаются на пункте наблюдения «5 км», который характеризуется как участок максимального загрязнения ^3H . Наиболее низкие колебания фиксируются в пункте наблюдения «110 км», в месте впадения реки Шаган в реку Иртыш. Также следует отметить, что численные значения ^3H прослеживаются на всех пунктах мониторинга вне зависимости от сезона наблюдения. Это говорит о наличии процессов миграции ^3H за пределы границы СИП.

Однако, значения, превышающие допустимый уровень вмешательства по ^3H , равный 7600 Бк/кг, отмечаются на мониторинговых участках «5 км» и «14 км». В месте впадения реки Шаган в реку Иртыш концентрация ^3H в воде составляла от 25 до 110 Бк/кг, что значительно ниже уровня вмешательства.

Дальнейшее развитие радиационного мониторинга

Дополнительно, с целью улучшения контроля за радиэкологическим состоянием воздушной среды в дальнейшем, вблизи радиоактивно загрязненных участков предполагается создать

маршрутные пункты. Для долговременного прогноза дальнейшего изменения экологической ситуации все стационарные пункты мониторинга воздуха будут оснащены метеорологическими станциями, а также устройствами контроля МЭД.

Развитие мониторинга водной среды требует постоянного совершенствования системы наблюдений, структуры режимной сети, конструкции пунктов наблюдений и т.д. Поэтому перспективным направлением на сегодняшний день является оборудование пунктов наблюдений автоматизированными приборами для измерения уровней воды и температуры, что позволит получать более достоверные гидрологические исходные данные.

В тоже время, если мониторинг воздушной и водной среды дает фактическую информацию о радиоактивном загрязнении на момент отбора проб, то более интегральным источником информации о радиационном состоянии территории может служить мониторинг почв и растений. Последние, например, могут отражать возможность ветрового переноса искусственных радионуклидов, в том числе и с пылевыми бурями. Также за счет своей накопительной способности они могут быть более показательными и характеризовать загрязнение воды и воздуха за длительный срок. Так, отдельные группы растений способны характеризовать загрязнения грунтовых вод, в частности радионуклидом ^3H , другие – способны концентрировать радионуклид ^3H из воздуха. В связи с этим, для дальнейшего развития радиационного мониторинга в качестве объектов контроля также будут включены почва и растения.

Выводы

Текущее радиационное состояние воздушной среды на СИП и прилегающей территории стабильное и опасности для населения не представляет. Исключение составляют радиоактивно загрязненные участки испытательных площадок, где были проведены ядерные испытания.

По состоянию водной среды можно отметить, что в настоящее время выявлены все критические участки с нестабильными содержаниями искусственных радионуклидов в подземных и поверхностных водах. Определены основные контролируемые параметры водной среды.

Данные о радиационном состоянии основных компонентов окружающей среды, полученные в результате комплексного обследования Семипалатинского испытательного полигона, дают возможность пересмотреть административные границы, которые будут располагаться ближе к испытательным площадкам. В этой связи, с целью реализации государственной политики в области обеспечения радиационной безопасности, необходимо функционирование радиационного мониторинга предполагаемых границ Семипалатинского испытательного полигона, который позволит контролировать радиационную ситуацию на территории проведения ядерных испытаний, получать актуальную и объективную информацию о текущей радиационной ситуации, своевременно выявлять негативные изменения в развитии радиационной обстановки, а также обеспечит доступность информации о радиационной ситуации для государственных ведомств и населения.

4.3 Прогноз развития радиационной обстановки на обследованных территориях

Прогноз развития радиационного состояния подземных вод на территории СИП

Прогноз развития радиационного состояния подземных вод на территории СИП проведен с целью выявления путей поступления загрязненных радионуклидами подземных вод из мест проведения ядерных испытаний за границы испытательных площадок и за границы СИП в подземные воды прилегающих территорий.

В рамках данного раздела рассмотрены особенности радиоактивного загрязнения подземных вод на различных испытательных площадках, проведен анализ по выявлению возможных источников и путей поступления загрязненных подземных вод из мест проведения ядерных взрывов на СИП в подземные воды прилегающих территорий по результатам ранее проведенных работ.

Основными источниками загрязнения подземных вод являются горные породы, содержащие радиоактивные продукты ядерных испытаний, проведенных на испытательных площадках СИП: «Опытное поле», «Дегелен», «Балапан», «Сары-Узень», «Актан-Берли», «Телькем».

Исходя из особенностей геологического строения и гидрогеологических условий, среди возможных путей перемещения загрязненных потоков из мест проведения ядерных испытаний на СИП можно выделить следующие:

- потоки подземных трещинных вод, входящих в состав регионального бассейна подземных вод, выходящие за пределы испытательных площадок;

- потоки подземных трещинно-жильных вод, приуроченных к зонам региональных тектонических разломов: Чинрауский, Калба-Чингизский, Западно-Аркалыкский, Главный Чингизский. Трассы данных разломов проходят через испытательные площадки СИП, либо в непосредственной близости от их границ.

Поровые воды современных делювиально-пролювиальных и аллювиально-пролювиальных отложений имеют ограниченное распространение, в процессе миграции радиоактивных продуктов ПЯВ за границы СИП существенного значения не имеют и в данном разделе не рассматриваются.

В пределах территорий испытательных площадок СИП основными радиоактивными загрязнителями подземных вод в настоящее время являются долгоживущие искусственные радионуклиды: $^{239+240}\text{Pu}$, ^{90}Sr , ^{137}Cs и ^3H .

При перемещении подземных вод из мест проведения ПЯВ происходит сорбция радионуклидов $^{239+240}\text{Pu}$, ^{90}Sr , ^{137}Cs на плоскостях трещин вмещающих горных пород. В результате чего происходит полная очистка подземных вод от этих радионуклидов. Таким образом, в потоках подземных вод, выходящих за границы испытательных площадок, основным радиоактивным загрязнителем подземных вод является тритий.

Прогноз возможного поступления загрязненных радионуклидами подземных вод с испытательной площадки «Опытное поле»

Радиоактивные продукты, образовавшиеся в результате дальних и ближних выпадений атмосферных ядерных испытаний, могут являться основным источником радиоактивного загрязнения подземных вод. Исследования возможности миграции радиоактивных выпадений атмосферных ядерных взрывов до уровня подземных вод проводились в рамках обследования «северных» территорий [156]. Результаты работ показали, что радиоактивные выпадения прочно фиксируются в верхних слоях почвы, мощностью до 20 см и далее на глубину, практически, не мигрируют. Полученные данные были заверены результатами бурения и опробования гидрогеологических скважин на территории площадки «Опытное поле». Таким образом, поступления загрязненных подземных вод из мест проведения атмосферных ядерных взрывов и испытаний боевых радиоактивных веществ в подземные воды изучаемой территории не ожидается.

Прогноз миграции искусственных радионуклидов с подземными водами с площадки «Дегелен»

Основным источником загрязнения подземных вод горного массива Дегелен являются блоки горных пород, вмещающие центральные зоны подземных ядерных взрывов, проведенных в горизонтальных горных выработках – штольнях. Радиоактив-

ное загрязнение подземных вод происходит в результате просачивания атмосферных осадков по техногенным трещинам в зоны необратимых деформаций и непосредственно в котловые полости подземных ядерных взрывов. Водные потоки переносят радионуклиды и, перемещаясь по системам трещинно-разломных систем и полостям штолен, пополняют бассейн подземных вод или выходят на дневную поверхность в районе порталов штолен.

Трещинные подземные воды

Подземные воды трещинного типа горного массива Дегелен приурочены к зонам экзогенного выветривания палеозойских пород, прослеживаются вдоль склонов, совпадающих с уклоном саев и распадков.

Миграция трития с трещинными подземными водами за пределы площадки «Дегелен» ограничена границами локальных водосборных бассейнов. Потоки трещинных вод с различной степенью загрязнения тритием распространяются в различные стороны от гор Дегелен в соответствии с их принадлежностью к локальным водосборным бассейнам, где питание, транзит и разгрузка происходят в пределах бассейнов, имеющих протяженность до 20 км. Отсутствие трития в подземных водах за границами водосборных бассейнов установлена результатами бурения и опробования гидрогеологических скважин.

Прогноз по загрязнению тритием подземных вод осложнен отсутствием данных о его количествах, оставшихся от термоядерных зарядов и наработанных при термоядерных взрывах в горных породах. В то же время, для ориентировочного прогноза можно использовать результаты многолетнего водного мониторинга горного массива Дегелен, которые показали, что, в настоящее время, процессы выноса искусственных радионуклидов за пределы центральных зон ПЯВ и поступления их в подземные воды регионального бассейна, в целом, стабилизировались.

Значения концентраций трития в потоках подземных вод, выходящих за границы гор Дегелен, на разных направлениях различны. Максимальные значения трития до 260 кБк/кг установлены в подземных водах юго-восточного направления, распространенных в долине ручья Байтлес. При удалении от гор концентрация трития постепенно снижается до безопасного уровня [157, 158, 159].

Для прогноза загрязнения ^3H подземных вод на участках выхода их за пределы горного массива Дегелен проведены расчеты через: 1, 5, 10, 50 и 100 лет. Данные по концентрациям ^3H были использованы на основании опробования гидрогеологических скважин в 2010 году (Таблица 4.1).

Таблица 4.1. Результаты прогнозных расчетов концентраций трития в подземных водах в районе ручьев на границе массива Дегелен

Участок обследования	Расчетные данные на 2019 год по ^3H , Бк/кг	Время прогноза, лет/Бк/кг				
		1	5	10	50	100
ручей Узунбулак № 1	63 250	61482	49092	37054	3904	234
ручей Карабулак № 2	29 325	28505	22761	17180	1810	109
ручей Токтакушук № 3	149 502	145321	116036	87583	9227	554
ручей Байтлес № 4	97 751	95018	75870	57266	6033	362

По табличным данным видно, что в настоящее время значения концентраций ^3H в подземных водах значительно превышают значение уровня вмешательства, а на участках ручьев Байтлес и Токтакушук – превышают уровень жидких радиоактивных отходов (76 000 Бк/кг) [48]. Результаты расчетов показали, что через 100 лет на всех направлениях концентрация ^3H снизится до безопасного уровня.

Трещинно-жильные подземные воды

Основным возможным каналом движения загрязненных радионуклидами трещинно-жильных подземных вод с площадки «Дегелен» является зона влияния Западно-Аркалыкского региональ-

ного разлома. Его трасса проходит в непосредственной близости от гор Дегелен и пересекает долину ручья Карабулак, к которой приурочены загрязненные радионуклидами трещинные и подрусловые подземные воды. На участке пересечения концентрация радионуклидов в подземных водах достигает: ^3H – 30 кБк/кг и ^{90}Sr до 8,0 Бк/кг [158]. Для оценки возможного поступления загрязненных вод, приуроченных к руслу ручья Карабулак, в трещинно-жилые воды Западно-Аркалыкского разлома пробурены и опробованы две гидрогеологические скважины. Одна скважина (55Р) пробурена на участке пересечения ее с руслом ручья Карабулак. Вторая скважина 1ПУ-20 пробурена на трассе разлома в районе площадки «Сары-Узень». Лабораторные анализы показали, что в пробах воды из скважины 55Р концентрация ^3H достигает 500 Бк/кг, что значительно ниже уровня вмешательства. В скважине 1ПУ-20 содержание ^3H ниже значения минимальной детектируемой активности, что говорит об отсутствии поступления загрязненных вод по зоне разлома в северо-западном направлении.

Таким образом, поступления загрязненных подземных вод с горного массива Дегелен за пределы СИП не ожидается.

По результатам исследований современного состояния подземных вод, а также прогноза возможного изменения радионуклидного загрязнения, проведено районирование территории в районе площадки «Дегелен» по уровням радиоактивного загрязнения подземных вод тритием (Рисунок 4.11).

В целом, территорию, прилегающую к площадке «Дегелен», по результатам прогноза загрязнения подземных вод следует разделить на три зоны:

Зона № 1 (запретная зона). В пределах данной зоны уровни концентрации искусственных радионуклидов представляют радиационную опасность для населения. В связи с чем, здесь рекомендуется исключить любую хозяйственную деятельность.

Зона № 2 (ограниченного пользования). В пределах данной зоны можно заниматься хозяйственной деятельностью с радиационным сопровождением. В основном, это касается работ по добыче полезных ископаемых.

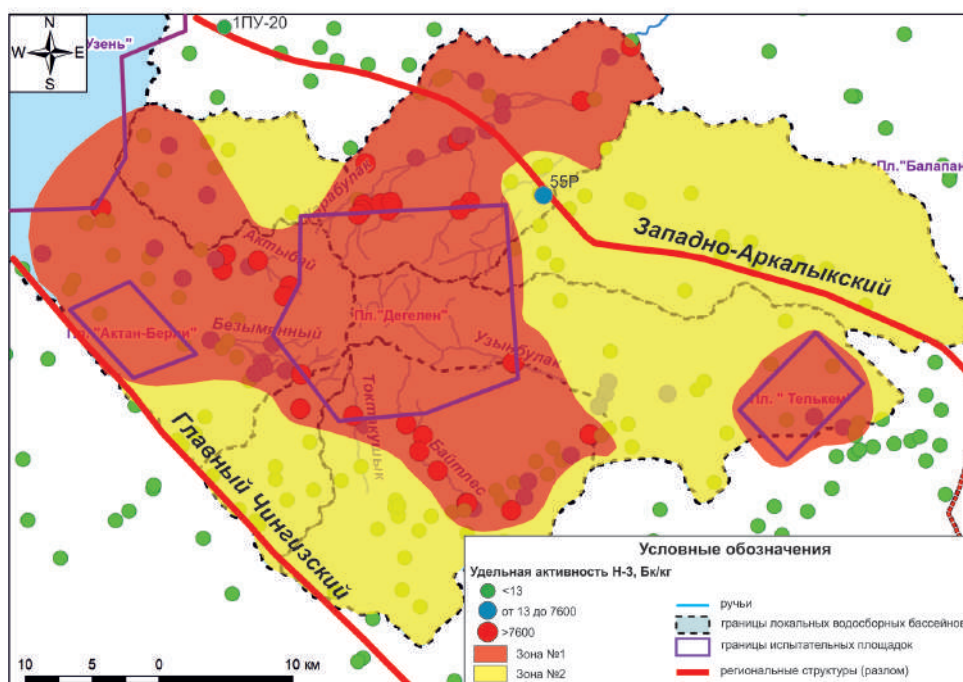


Рисунок 4.11. Горный массив Дегелен. Схема локальных водосборных бассейнов

При проходке горных выработок с водоотливом дренажных вод образуются воронки осушения подземных вод вокруг карьеров, что может привести к локальному изменению направлений движения подземных вод. Вследствие этого, в подземные воды данной территории возможно поступление загрязненных вод из зоны № 1. В связи с чем, при планировании работ на данной территории необходимо предусматривать проведение специальных радиозоологических исследований с учетом заявленных видов деятельности.

Зона № 3 (без ограничений). По уровням радиоактивного загрязнения подземных вод территория зоны № 3 может использо-

ваться в любых видах хозяйственной деятельности без каких-либо ограничений.

Прогноз радиационного состояния подземных вод в районе площадки «Балапан»

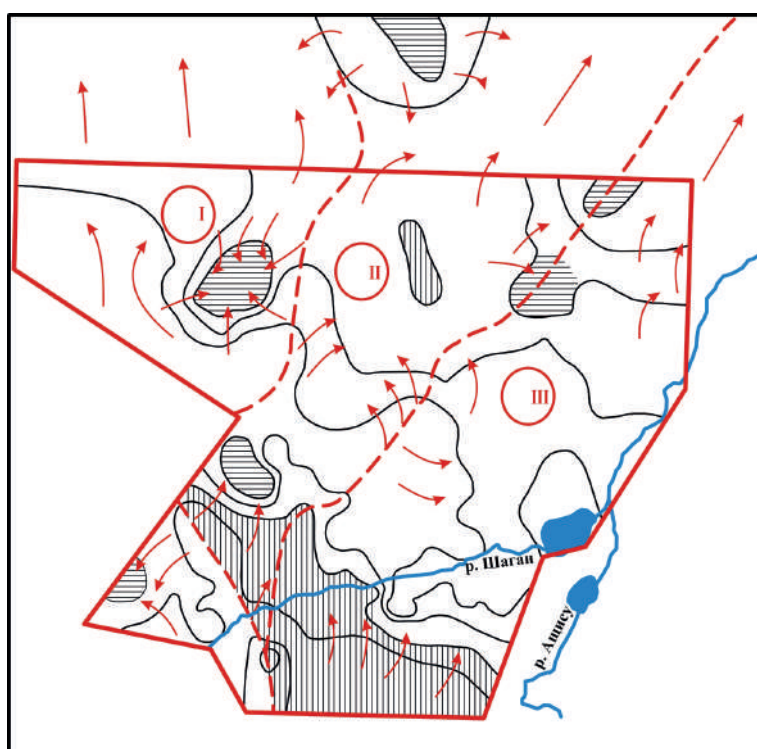
Процесс радиоактивного загрязнения подземных вод. Котловые полости взрывов, проведенных в скважинах, расположены значительно ниже уровня распространения подземных вод, в отличие от ПЯВ в штольнях. После проведения ПЯВ в массиве горных пород образуются зоны деформаций, состоящие из пустот и дробленной горной породы. Радиоактивные продукты ПЯВ локализируются на поверхностях трещин и обломках горных пород. По системам техногенных трещин подземные трещинные воды поступают в зоны деформаций. Высокая температура в полости сохраняется долгое время в связи с наличием толщи перекрывающих пород мощностью до 500 м. Наличие высоких температур способствует образованию тепловой конвекции. В данном случае, полость ядерного взрыва функционирует подобно природным гидротермам. Достигнув полости, воды разогреваются, растворяют химические элементы и радионуклиды и возвращаются вместе с ними в водоносный горизонт, где происходит их дальнейшая миграция.

Миграция искусственных радионуклидов с трещинными водами

На площадке «Балапан» трещинные воды регионального бассейна сосредоточены в зоне экзогенной трещиноватости палеозойских пород и залегают на разных глубинах от 4 до 70 м. Основное направление движения подземных вод – на северо-восток, с уклоном до 0,002. Движение подземных вод по площадке осуществляется при достаточно малых величинах гидравлического уклона и низких скоростях фильтрации. На большей части территории площадки расходы потоков подземных вод – менее 1 м³/сут. Макс-

симильные величины расходов – до 2 м³/сут – наблюдаются только в южной части площадки, где локализуется область питания подземных вод [160].

Структура фильтрационного потока в пределах площадки неоднородна – на региональном фоне в плане выделяются три относительно обособленных ленты тока, которым на рисунке присвоены номера 1-3 (Рисунок 4.11).



Условные обозначения

- I Условный номер ленты тока
- Границы лент тока
- Зоны локальной разгрузки
- Зоны локального питания
- Направление потока подземных вод
- ~ река Шаган

Рисунок 4.12. Структура фильтрационного потока подземных вод

Поступление загрязненных тритием подземных вод за границы площадки «Балапан» напрямую связано с особенностью движения потоков в структуре лент тока.

В северо-западной части площадки (лента тока № 1) фильтрационный поток формируется на высоких отметках палеозойского фундамента при минимальной мощности покровных отложений. Структура потока осложнена локальной депрессией, связанной с водоотливом из действующего угольного карьера месторождения Каражира. На данной площади расположена всего одна «боевая» скважина 1071. Загрязненный поток из этой скважины поступает в зону влияния депрессионной воронки водоотлива. В связи с чем, выход данного потока за пределы площадки «Балапан» не ожидается.

В центральной части опытной площадки выделяется лента тока № 2. Глубина залегания фундамента характеризуется средними величинами значений. За пределами северной границы площадки происходит повышение относительных отметок рельефа водоносного горизонта. В связи с чем, поток меняет направление движения в сторону ленты тока № 3. В пределах данной ленты расположено более 50 «боевых» скважин. Концентрация трития в трещинных водах в северо-восточной части площадки достигала 4800 кБк/кг [161]. Прогноз изменения концентрации трития в подземных водах на ближайшие сто лет представлен в таблице (Таблица 4.2).

Таблица 4.2. Результаты прогнозных расчетов концентраций трития в подземных водах в северо-восточной части площадки «Балапан»

Участок обследования	Расчетные данные на 2019 год по ³ H, Бк/кг	Время прогноза, лет/Бк/кг				
		1	5	10	50	100
Балапан, лента тока № 2	4800000	4537399	3623014	2734631	288090	17290

Подземные воды этой ленты тока наиболее загрязнены тритием, но, даже через 100 лет, они не будут представлять опасно-

сти, с учетом того, что, кроме радиоактивного распада изотопа, будет проходить его разбавление свежими подземными водами.

Вдоль юго-восточного контура участка в направлении, совпадающем с русловым потоком реки Шаган, выделяется лента тока № 3. Ее положение структурно приурочено к наиболее низким отметкам палеозойского фундамента и максимальной мощности покровных отложений. Часть подземных вод ленты тока № 3 разгружается в поверхностные воды реки Шаган. Участок разгрузки начинается после выхода реки из «Атомного озера» и далее на 8 км вниз по течению. По данным работы [161] на левом берегу выделяются поочередно ярко выраженные локальные интервалы падений и роста активности ^3H и отрезки со стабильно высокими и низкими значениями. Фиксируется интервал максимальных значений ^3H (4,7-7,8 км) с удельной активностью в пределах 44 000 Бк/кг.

Таблица 4.3. Результаты прогнозных расчетов концентраций трития в подземных водах на участке разгрузки их в поверхностные воды реки Шаган

Участок обследования	Расчетные данные на 2019 год по ^3H , Бк/кг	Время прогноза, лет/Бк/кг				
		1	5	10	50	100
река Шаган	44000	41592	33211	25067	2641	158

Миграция искусственных радионуклидов с трещинно-жильными водами

Площадка «Балапан» представляет собой котловину диаметром около 20 км, обрамленную мелкосопочником. На значительной части территории трещинные воды имеют напорный характер с величиной напора до 80 метров. В связи с чем, часть трещинных вод разгружается в поверхностные водоемы по трещинно-жильным каналам, приуроченным к тектоническим разломам, из которых на территории площадки «Балапан» являются: Жананский, Сосновый, Чинрауский, Калба-Чингизский и др. (Рисунок 4.13).

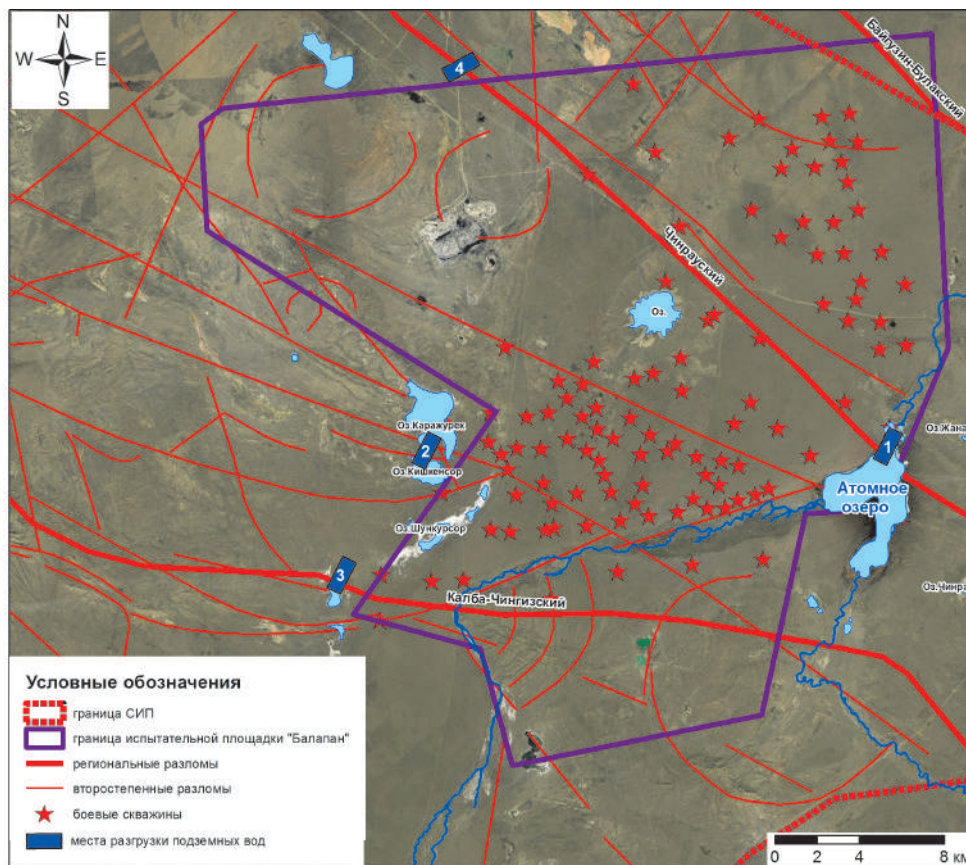


Рисунок 4.13. Схема тектонических разломов площадки «Балапан»

Жананский разлом северо-западного простирания проходит по северо-восточной части площадки «Балапан», где в эпицентральных зонах «боевых» скважин были установлены максимальные концентрации трития от 1200 до 4800 кБк/кг. Этот разлом пересекает русло реки Шаган на 4 км от «Атомного озера». На участке пересечения с 4,7 по 7,8 км по зоне влияния разлома происходит разгрузка трещинно-жильных вод в поверхностные воды реки. В 2019 году концентрация трития составляла до 350 кБк/кг [162].

Прогноз изменения концентрации трития в подземных водах на ближайшие сто лет представлен в таблице (Таблица 4.4).

Таблица 4.4. Изменение максимальной концентрации трития в трещинно-жильных водах Жананского разлома

Участок обследования	Расчетные данные на 2020 год по ^3H , Бк/кг	Время прогноза, лет/Бк/кг				
		1	5	10	50	100
Жананский разлом	350000	333000	265900	200700	21100	1300

Как видно из таблицы, концентрация ^3H в воде данного озера даже спустя 50 лет будет превышать уровень вмешательства [48].

Сосновый разлом проходит через площадку «Балапан» с юго-запада на северо-восток. К трассе данного разлома приурочено множество сопутствующих и оперяющих более мелких тектонических разломов. По зоне влияния данных разломов происходит питание поверхностных вод озер Каражурек, Кишкенсор и Шункунсор, расположенных в пределах западной границы площадки «Балапан». Максимальное загрязнение поверхностных вод обнаружено в озере Кишкенсор, где активность ^3H достигает 350 кБк/кг [2]. Прогноз по изменению концентрации трития представлен в таблице (Таблица 4.5).

Таблица 4.5. Изменение максимальной концентрации трития в водах озера Кишкенсор

Участок обследования	Расчетные данные на 2020 год по ^3H , Бк/кг	Время прогноза, лет/Бк/кг				
		1	5	10	50	100
озеро Кишкенсор	260000	249730	199400	150510	15860	950

Как видно из таблицы, концентрация ^3H в воде данного озера даже спустя 50 лет будет в два раза превышать уровень жидких радиоактивных отходов.

Чинрауский разлом северо-западного простирания проходит через центральную часть площадки «Балапан». В зоне влияния данного разлома проведено 5 ПЯВ в «боевых» скважинах. Кон-

центрация трития в подземных водах разлома на территории площадки достигает 160 кБк/кг. Для оценки возможной миграции загрязненных подземных вод по зоне разлома, на участке выхода его за границы площадки проведены исследования, включая геофизические и буровые работы. Результаты опробования пробуренной скважины показали, что концентрация трития на данном участке составляет 0,750 кБк/кг, что значительно ниже уровня вмешательства [161].

Калба-Чингизский разлом северо-западного простирания проходит через южную часть площадки «Балапан». В зоне влияния данного разлома проведено 5 ПЯВ в «боевых» скважинах. Концентрация трития в подземных водах разлома на территории площадки достигает 560 кБк/кг [161].

В рамках исследования состояния подземных вод в зоне разлома, на участке выхода его за пределы юго-западной границы площадки «Балапан», проведены геофизические исследования по результатам которых были выбраны места для бурения четырех гидрогеологических скважин. По результатам лабораторных анализов в пробах воды из скважин активности искусственных радионуклидов находятся ниже значений минимальной детектируемой активности, кроме скважин 63Р и 64Р, где концентрация трития составила 200 Бк/кг, что значительно ниже уровня вмешательства [164].

Районирование площадки «Балапан» по состоянию подземных вод

По результатам исследований современного состояния подземных вод, а также прогноза возможного изменения радионуклидного загрязнения, проведено зонирование территории в районе площадки «Балапан» по уровням радиоактивного загрязнения подземных вод тритием (Рисунок 4.14).

Таким образом, по уровню загрязнения подземных вод на территории площадки «Балапан» можно выделить следующие зоны:

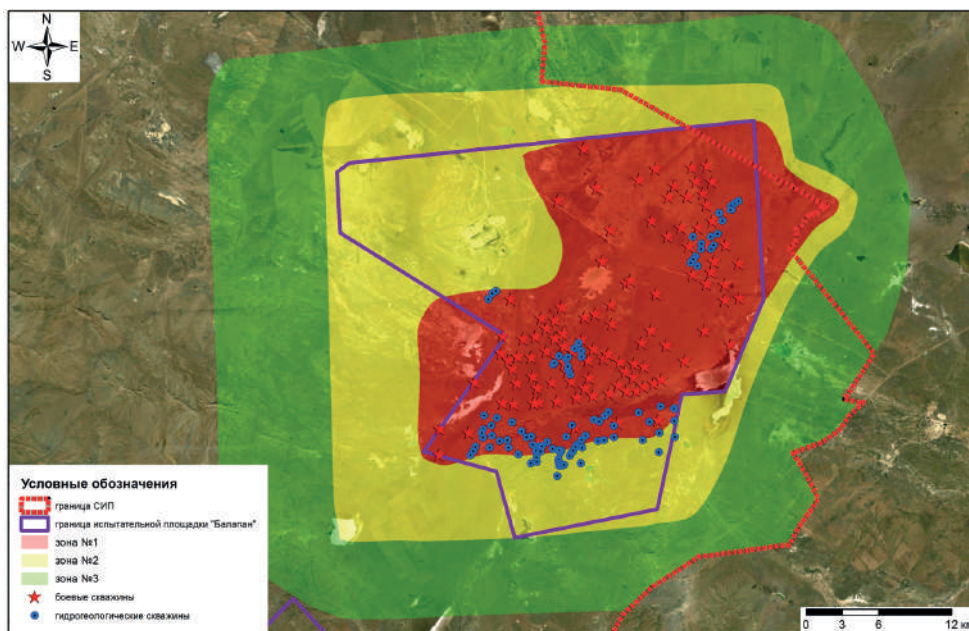


Рисунок 4.14. Зонирование территории площадки «Балапан»

Зона № 1 (запретная зона). В пределах данной зоны уровни концентрации искусственных радионуклидов представляют радиационную опасность для населения. В связи с чем, здесь рекомендуется исключить любую хозяйственную деятельность. На территории площадки «Балапан» эта зона охватывает территорию расположения «боевых» скважин. Кроме этого, к зоне № 1 присоединены территории, где концентрация трития превышает уровень вмешательства. Это территория расположения озера Кишкенсор и отрезок русла реки Шаган (вниз по течению) равный 20 км от «Атомного озера».

Зона № 2 (ограниченного пользования). В пределах данной зоны можно заниматься хозяйственной деятельностью с радиационным сопровождением. В основном, это касается работ по добыче полезных ископаемых. При проходке горных выработок с водоотливом дренажных вод, в подземные воды данной территории возможно поступление загрязненных вод из зоны № 1. В связи с чем, при планировании работ на данной территории необходимо пред-

усматривать проведение специальных радиоэкологических исследований с учетом заявленных видов деятельности.

Зона № 3 (без ограничений). По уровням радиоактивного загрязнения подземных вод территория зоны № 3 может использоваться в любых видах хозяйственной деятельности без каких-либо ограничений.

Прогноз миграции искусственных радионуклидов с подземными водами с площадки «Сары-Узень»

Миграция искусственных радионуклидов с трещинными водами

По гидрогеологическим условиям и характеру радиоактивного загрязнения подземных вод площадка «Сары-Узень» схожа с площадкой «Балапан». Источником загрязнения подземных вод являются блоки горных пород, вмещающие центральные зоны подземных ядерных взрывов. На территории испытательной площадки проведено 24 подземных ядерных взрыва в вертикальных «боевых» скважинах [8]. Основным носителем радиоактивного загрязнения являются трещинные воды палеозойских пород, выходящие за пределы площадки вдоль сухого русла ручья Сары-Узын, в северном направлении (Рисунок 4.15).

Основным радиоактивным загрязнителем подземных вод является тритий. Максимальная концентрация в пределах площадки достигает 500 кБк/кг [165]. За пределами площадки до 2020 года, по данным опробования скважин: 1Z, 2Z, 3Z, 4Z, СУЗ-1/19, значения концентраций трития в подземных водах не превышала значения минимальной детектируемой активности. В 2020 году в воде из наблюдательной скважины СУЗ-1/19 содержание трития составило 200 Бк/кг, что свидетельствует о том, что фронт загрязненных подземных вод подошел к северной границе площадки. Для получения данных для прогноза миграции трития на данном направлении, необходимо продолжить наблюдения за содержанием трития в скважине СУЗ-1/19. Для уточнения характера распределения трития в потоке подземных вод, приуроченных к руслу реки, будут дополнительно пробурены 3 наблюдательные скважины.

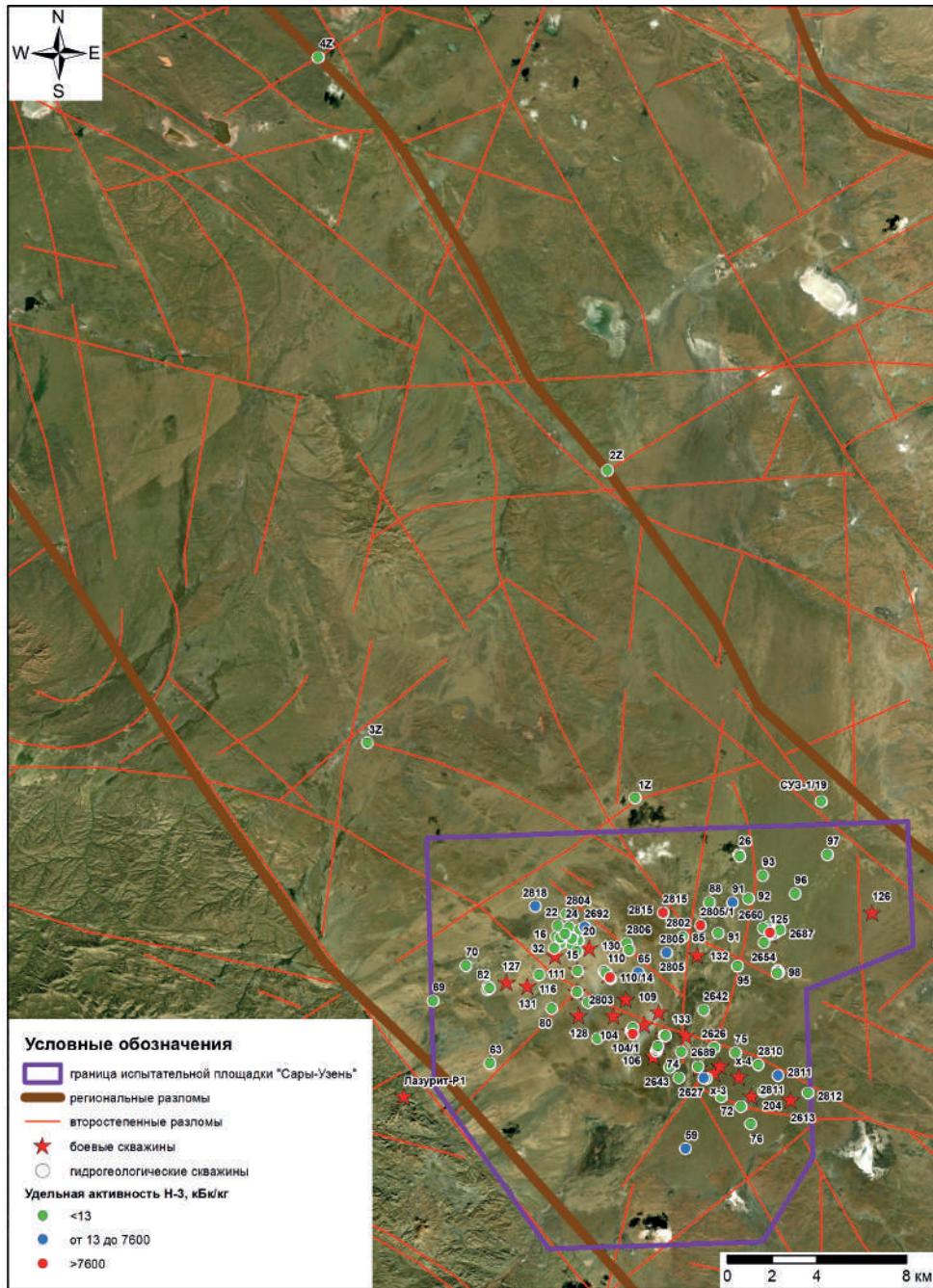


Рисунок 4.15. Схемы перемещения фронта загрязненных подземных вод на площадке «Сары-Узень»

Миграция искусственных радионуклидов с трещинно-жильными водами

Основными возможными путями поступления загрязненных вод за границы площадки «Сары-Узень» могут являться зоны влияния Западно-Аркалыкского и Главного Чингизского региональных тектонических разломов. Для оценки возможного поступления загрязненных подземных вод с площадки в воды разломов в зоне Западно-Аркалыкского пробурена скважина 1ПУ-20, в зоне влияния Главного Чингизского разлома пробурена скважина 1ВК-ПН-20. Концентрация трития в воде из этих скважин не превышает значения минимальной детектируемой активности, что свидетельствует об отсутствии миграции трития по зонам этих разломов.

Выводы

Площадка «Дегелен».

Потоки подземных трещинных вод, выходящие за пределы гор Дегелен, расходятся по отдельным направлениям в соответствии с их принадлежностью к локальным водосборным бассейнам. Поскольку водосборные бассейны имеют протяженность до 20 км и замкнутое строение, то миграция загрязненных тритием трещинных вод не превышает расстояние 20 км от границ площадки «Дегелен». Расходование подземных вод в водосборных бассейнах происходит в результате испарения и транспирации растениями.

Таким образом, поступления загрязненных искусственными радионуклидами подземных вод с площадки «Дегелен» за границы СИП не ожидается.

Площадка «Сары-Узень».

В 2020 году в районе северо-восточной границы площадки в подземных водах установлено содержание трития с содержанием 200 Бк/кг, что свидетельствует о том, что фронт загрязненных

подземных вод подошел к северной границе площадки «Сары-Узень». Для получения данных для прогноза миграции трития на данном направлении, будут продолжены наблюдения за его содержанием в подземных водах, в том числе с помощью новых наблюдательных скважин.

Площадка «Балапан».

На площадке «Балапан» установлены два участка выноса загрязненных подземных вод на дневную поверхность. Первый участок связан разгрузкой подземных вод по зоне влияния Соснового разлома в поверхностные воды озера Кишкенсор, где концентрация трития в воде более 50 лет будет превышать уровень вмешательства. По предварительным данным загрязненные потоки прибывают из блоков горных пород, вмещающих центральные зоны ПЯВ ближайших «боевых» скважин. В связи с чем, территорию расположения озера Кишкенсор необходимо включить в состав земель СИП.

Второй участок установлен в долине реки Шаган на отрезке русла реки длиной 30 км после выхода ее из «Атомного озера». На данном отрезке происходит разгрузка загрязненных тритием трещинных вод с площадки «Балапан» в поверхностные воды реки Шаган. Долина реки Шаган выходит за границы площадки и далее за границы СИП.

Основным радиоактивным загрязнителем подземных вод на СИП в настоящее время и в ближайшем будущем будет являться тритий.

Единственным направлением, по которому происходит и будет проходить поступление загрязненных тритием подземных вод за пределы восточной границы СИП – это долина русла реки Шаган. В связи с чем, на отрезке русла реки 30 км от «Атомного озера» необходимо исключить любую хозяйственную деятельность.

4.4 Реабилитация земель

В ходе обследования территории СИП установлены практически все участки со значительным радиоактивным загрязнением, которое по своим значениям достигает уровней радиоактивных отходов (РАО). Проведена большая работа по уточнению границ распространения радионуклидного загрязнения на радиационно-опасных объектах СИП. В результате применения современных методов крупномасштабной пешеходной гамма-спектрометрии достаточно четко локализованы участки, представляющие опасность для населения и требующие проведения мероприятий, ограничивающих воздействие таких участков на окружающую среду и человека. Это такие объекты как «Атомное озеро», испытательные площадки «Сары-Узень», «Балапан», «Телькем», «Дегелен» и «Опытное поле», следы радиоактивных выпадений. Особую опасность представляют участки со значительным радиоактивным загрязнением, которое по своим значениям достигает уровней среднеактивных РАО. Все вышеперечисленные участки с содержанием радионуклидов на уровне РАО расположены в различных частях СИП, что значительно осложняет контроль над ними. Так как площадки загрязнены долгоживущими радионуклидами, существует необходимость проведения контроля радиационной безопасности в течение длительного периода времени (десятки, сотни, а в некоторых случаях тысячи лет), что в совокупности с их территориальной удаленностью делает это мероприятие очень затратным, а проведение реабилитационных мероприятий вовсе может растянуться не на один десяток лет. При этом население, имея доступ ко многим из таких площадок, подвергает опасности свое здоровье. Именно поэтому, остро встает вопрос реабилитации территории СИП.

Рекультивация радиационно-загрязненных земель территории СИП может быть осуществлена различными способами, выбор которых, прежде всего, зависит от природных условий

конкретного участка и уровней радионуклидного загрязнения. Национальным ядерным центром РК уже проведена большая работа по отработке методов рекультивации отдельных радиационно-опасных участков различными способами.

Перспективы проведения рекультивационных работ на территории Семипалатинского испытательного полигона

На основании результатов обследования радиационно-загрязненных объектов на площадках СИП, в целом можно выделить 2 основные группы объектов: объекты с антропогенной нарушенностью и без таковой. Также в каждой из групп можно произвести условное разделение на локальные объекты относительно небольшого размера (траншеи, насыпи, бетонные конструкции, небольшие участки поверхностного радиоактивного загрязнения и т.д.) и на крупные (воронки, следы радиоактивных выпадений).

Задача ликвидации последствий ядерных испытаний загрязненных территорий является одной из наиболее актуальных сложных задач, связанных с СИП.

Объекты без антропогенной нарушенности

На объектах без антропогенной нарушенности основная часть радиоактивного материала сконцентрирована в приповерхностном слое. Принимая это во внимание, одним из основных критериев для принятия решения по методу реабилитации является размер радиоактивного загрязнения.

В случае, когда загрязнение имеет локальный характер (к примеру, радиоактивное загрязнение от испытаний БРВ) наиболее эффективным действием является изъятие загрязненного слоя с последующим принятием решения о способе его ликвидации. В мировой практике чаще всего используется направление РАО на временное хранение.

Под временным хранением подразумевается организация специализированного объекта (естественного или техногенного) для хранения РАО. Рассматривая вариант временного хранения, стоит отметить: во-первых, объем изымаемого радиоактивного материала ограничен площадью хранилища, во-вторых, необходим радиационный контроль, в-третьих, данный метод не решает проблему как таковую, а создает отсрочку ее решения. Плюсами выбора такого вида ликвидации являются простота реализации и обработанность оперативных действий.

Хорошим примером может послужить опыт Великобритании, где с 1953 по 1963 годы проводились испытания ядерного оружия в атмосфере в районе Маралинга – отдаленной территории на юге центральной Австралии. Было выполнено несколько ядерных взрывов («главные испытания») мощностью от 1 до 27 кт, а также много других испытаний меньшей мощности («малые испытания»), что привело к распространению радиоактивных материалов. Испытания привели к распространению около 22 кг плутония-239 и такого же количества урана-235 на площади около 130 км² вокруг района, называемого Таранаки. В 1996-2000 годах проведена крупная программа по реабилитации территорий. Большая часть этой программы посвящена удалению и захоронению в глубине грунта 260 000 м³ высокозагрязненного поверхностного слоя почвы из Таранаки. [166]. Из минусов такой реабилитации выделяются сложность реализации (захоронение должно производиться в местах, исключающих возможность миграции радионуклидов, либо с применением предварительного остекления РАО). Достоинством данного вида работ является завершенность действий по захоронению РАО.

Возвращаясь к испытаниям боевых радиоактивных веществ, хотелось бы отметить, что в результате этих испытаний произошло загрязнение местности на более чем 30 участках в пределах площадок «4» и «4А». Уровень радиоактивного загрязнения на

некоторых участках соизмерим со среднеактивными РАО. Формы нахождения радионуклидов в почве, их миграционные способности и высокие уровни радиоактивного загрязнения делают эти участки наиболее опасными для природной среды на территории СИП. Поэтому в ближайшие годы именно на площадках «4» и «4А» планируется провести наибольший объем рекультивационных работ. В результате рекультивации будет изъято и захоронено около 100 000 м³ РАО.

При рассмотрении крупных объектов (к примеру следы радиоактивных выпадений от наземных ядерных испытаний на площадке «Опытное поле») проведение изъятия нецелесообразно по причине того, что объемы РАО в несколько порядков больше, чем на локальных объектах. В связи с этим, для изъятия радиоактивного материала в таких масштабах (площадью свыше 500 км²), потребуется создание огромного количества мест под хранение.

В таком случае главной задачей становится нераспространение РАО. Из имеющихся в мировой практике методов в данном случае может использоваться вспашка и создание физической защиты. В первом случае (глубокая вспашка с полным оборотом пласта) имеющийся на поверхности радиоактивный слой (5-10 см) перемещается под землю (до 50-70 см). При такой пахоте верхний загрязненный слой попадает в низ борозды, и корневая система растений не достает до него. Метод можно отнести к самым недорогим и быстро реализуемым, но он не является полным решением проблемы, а исключает непосредственный контакт с человеком, животными и растениями, при этом не исключая миграцию радионуклидов.

Вторым вариантом является создание физической защиты в виде ограждений и рвов вокруг радиоактивно-загрязненных объектов. По своей сути данный вид работ, так же, как и вспашка не совсем является ликвидацией, скорее действием по огра-

ничению доступа населения и животных, чтобы минимизировать индивидуальные и коллективные дозовые нагрузки. Метод более дешев, прост и быстр в реализации, чем работы по созданию бетонного укрытия, но в тот же момент менее эффективен с точки зрения радиационной безопасности населения.

Из двух вышеизложенных вариантов, для крупных объектов без антропогенной нарушенности, наиболее практичными будут работы по вспашке либо комбинация этих методов.

Объекты с антропогенной нарушенностью

Также, как и с объектами без антропогенной нарушенности одним из основных критериев для принятия решения по методу реабилитации является размер радиоактивного загрязнения.

В случае, когда объект имеет относительно небольшие размеры также, как и к объектам без антропогенной нарушенности можно применить изъятие, однако в ряде случаев из-за сложности технической конструкции, либо же нахождением РАО на глубине проведение работ по изъятию будет технически сложно реализуемо, а также вызовет возможность переобучения персонала. В таком случае гораздо эффективней проведение работ по созданию физической защиты в виде бетонных саркофагов. Хорошим примером могут послужить работы по созданию физической защиты на технической площадке П-2М. На данной площадке проводились гидроядерные и гидродинамические испытания. Вследствие данных экспериментов произошло радиоактивное загрязнение почвы на глубине от 1 до 4 метров под землей. Для ограничения доступа населения и животных Национальным ядерным центром Республики Казахстан были проведены работы по созданию специальных железобетонных конструкций, исключающих возможность доступа к РАО.

Помимо локальных участков загрязнения существуют достаточно обширные территории радиоактивного загрязнения. Под

такие объекты попадает «Атомное озеро», «Телькем», воронки, образовавшиеся в результате наземных ядерных испытаний и содержащие колоссальные объемы РАО. Ситуация с ликвидацией последствий ядерных испытаний на таких объектах сложнее, чем на объектах без антропогенной нарушенности. Связано это с тем, что большая часть радиоактивного материала находится не в приповерхностном слое почвы, а в зоне навала воронок, на глубине до нескольких десятков метров. Это довольно сильно осложняет процесс изъятия радиоактивного грунта. В мировой практике можно выделить 2 основных вида ликвидации для таких объектов: изъятие радиоактивного материала с последующей ликвидацией, и захоронение радиоактивного материала на месте с созданием физической защиты.

Первый вариант рассмотрен выше, отдельно хотелось бы отметить, что также, как и в случае со «следами» объемы РАО на порядок, а в ином случае даже на два или три порядка, больше, чем на локальных объектах. В связи с этим, для изъятия радиоактивного материала в таких масштабах, также потребуется создание огромных площадей под хранение, в случае с временным хранением.

Второй вариант не предполагает как-такового изъятия радиоактивного материала, а представляет собой концентрирование его в котловане воронки и создание физической защиты в виде бетонного колпака. Хорошим примером такого вида реабилитационных действий можно взять работы по обеззараживанию островов атолла Энвенток, находящегося в Тихом океане, где с 1948 по 1958 годы Соединенными Штатами Америки проведено приблизительно 43 испытания ядерного оружия. 15 мая 1977 года американское правительство направило войска, чтобы обеззаразить острова. Это было сделано смешиванием 85000 м³ загрязненной почвы и строительного мусора с различных островов и захоронением в одном из кратеров, образовавшемся после взрыва на островке

в восточной стороне атолла. Захоронение продолжалось, пока кратер не стал насыпью в 7,5 м высотой. Кратер был затем покрыт бетонным покрытием толщиной 43 см. [167]. Плюсами такого решения является простота и довольно быстрая скорость реализации работ.

Так же для данных объектов можно использовать уже описанный ранее способ – создание физической защиты в виде ограждений (или рвов) объектов без концентрирования радиоактивных материалов в воронке.

После завершения всех ремедиационных мероприятий работы на СИП будут заключаться в поддержании целостности созданных систем ограничения доступа (физические барьеры), а также в создании системы радиационного мониторинга водной и воздушной сред, что позволит контролировать радиационную обстановку на территории СИП.

4.5 Современное использование земель

С момента закрытия СИП, его земли стали активно использоваться субъектами юридических и физических лиц для ведения промышленной, добывающей, транспортной и сельскохозяйственной деятельности.

Для того, чтобы осуществлять данную деятельность необходимо получить лицензию, согласно закону Республики Казахстан «Об использовании атомной энергии» и закону Республики Казахстан «О разрешениях и уведомлениях» [168, 169]. Вместе с тем, в соответствии с п.3 ст. 143 Земельного кодекса Республики Казахстан, земельные участки, на которых проводились испытания ядерного оружия, могут быть предоставлены Правительством Республики Казахстан в собственность или землепользование только после завершения всех мероприятий по ликвидации последствий испытания ядерного оружия и ком-

плексного экологического обследования, при наличии положительного заключения государственной экологической экспертизы [170].

С целью обеспечения лицензионных требований и радиационной безопасности, при проведении хозяйственной деятельности на полигоне, проводятся радиационный контроль и мониторинг. В зависимости от специфики деятельности предприятий, а также с учетом потенциальных источников радиоактивного загрязнения, разрабатывается специальная программа радиационного контроля и мониторинга для определения контролируемых параметров, объемов полевых работ, лабораторных анализов и периодичности мониторинга.

В настоящее время санкционированная хозяйственная деятельность на территории полигона ведется различными компаниями, согласно лицензиям выданным уполномоченным органом.

Промышленная сфера обусловлена деятельностью металлургического комплекса ТОО «Казцинк», имеющего хранилище промышленных отходов (мышьяка) на территории площадки «Балапан».

Добывающая отрасль представлена двумя крупными месторождениями «Каражыра» и «Караджал», на которых АО «Каражыра» и АО «Ульбинский металлургический завод» (АО «УМЗ») ведут разработки каменного угля и флюоритовой руды, при участии различных подрядных организаций.

Транспортная сфера обусловлена перевозкой добываемой продукции железнодорожными и автотранспортными организациями.

Крупное угольное месторождение «Каражыра» расположено на территории СИП в пределах испытательной площадки «Балапан», в 130 км к юго-западу от г. Семей в Восточно-Казахстанской области. Разработкой месторождения, добычей и реализацией каменного угля занимается АО «Каражыра».



Рисунок 4.16. Добыча каменного угля АО «Каражыра»

На территории угольного карьера совместно с АО «Каражыра» работают различные подрядные организации, которые занимаются вскрышными, буровзрывными, погрузочными работами, дроблением и перевозкой руды, а также сервисным обслуживанием карьерной и специальной техники.



Рисунок 4.17. Работы подрядных организаций на месторождении «Каражыра» и «Караджал»

Флюоритовое месторождение «Караджал», находящееся на территории СИП, рядом с испытательной площадкой «Дегелен», расположено в Восточно-Казахстанской области, в 170 км к юго-западу от г. Семей и 120 км к юго-западу от г. Курчатова. Разработку и добычу полезных ископаемых осуществляет АО «УМЗ».



Рисунок 4.18. Радиационный контроль хозяйственной деятельности на территории полигона специалистами филиала ИРБЭ НЯЦ РК

Территория СИП используется не только для разработки месторождений и добычи полезных ископаемых, вместе с тем, на ней ведется работа по эксплуатации пригодных участков полигона в промышленных целях.

Для хранения отходов оборудовано специальное инженерное сооружение – полигон промышленных отходов. Подготовлена вся инфраструктура для работы на полигоне. Реализуемый ТОО «Казцинк» проект оказался достаточно успешен.

Помимо площадки «Балапан», на территории СИП имеется ряд мест, которые также могут быть использованы для захоронения различного вида отходов. Учитывая опыт, накопленный ТОО

«Казцинк» по захоронению промышленных отходов, ряд организаций рассматривает вопрос по созданию полигона промышленных отходов на данной территории.



Рисунок 4.19. Полигон промышленных отходов ТОО «Казцинк»

Кроме санкционированной промышленной деятельности, на полигоне фиксируются случаи сбора металлолома, выпаса скота, заготовки сена, отдельными группами лиц, не только на условно «фоновых», но и на загрязненных территориях. Такая деятельность на территории СИП является несанкционированной и потенциально, в зависимости от территории проведения данных работ, может привести к переоблучению населения.

4.6 Перспективы научного развития

Территория СИП является уникальной с точки зрения проведения всевозможных исследований. Разнообразие ландшафтов полигона и различный характер радионуклидного загрязнения позволяют получать уникальные данные, характеризующие осо-

бенности перераспределения радионуклидов между компонентами природной среды различных экосистем. На сегодня уже получен большой массив параметров, характеризующих перераспределение радионуклидов в системах «вода-растения», «донные отложения-растения», «почва – растения», «почва-животные», «растения – воздух».

Особое внимание уделено исследованию поведения радионуклидов в почвенном покрове – как начальном звене миграции радионуклидов между компонентами природной среды. Получены уникальные данные о характере распределения искусственных радионуклидов в различных типах почв на бывших испытательных площадках и территориях, не относящихся к испытательным площадкам, и данные, характеризующие мобильность радионуклидов в почвах (формы нахождения радионуклидов, распределение по гранулометрическим фракциям, физико-химические свойства почв). По данным исследований форм нахождения искусственного радионуклида в почвах выявлено изменение распределения форм нахождения радионуклидов в зависимости от характера радиационного загрязнения почвенного покрова СИП. В то же время результаты показали, что распределение радионуклидов по гранулометрическим фракциям также является показателем механизма формирования радиоактивного загрязнения почвы, и может использоваться в качестве диагностирующего признака происхождения радиоактивного загрязнения. В условиях повышенного увлажнения наибольшее накопление радионуклидов происходит в тонкодисперсных фракциях почвы (сорбционно-десорбционное перераспределение) (Рисунок 4.20, а). О присутствии на почвенной поверхности радиоактивных выпадений от ядерных испытаний свидетельствует значительное «обогащение» гранулометрической фракции почвы соответствующей дисперсности (Рисунок 4.20, б).

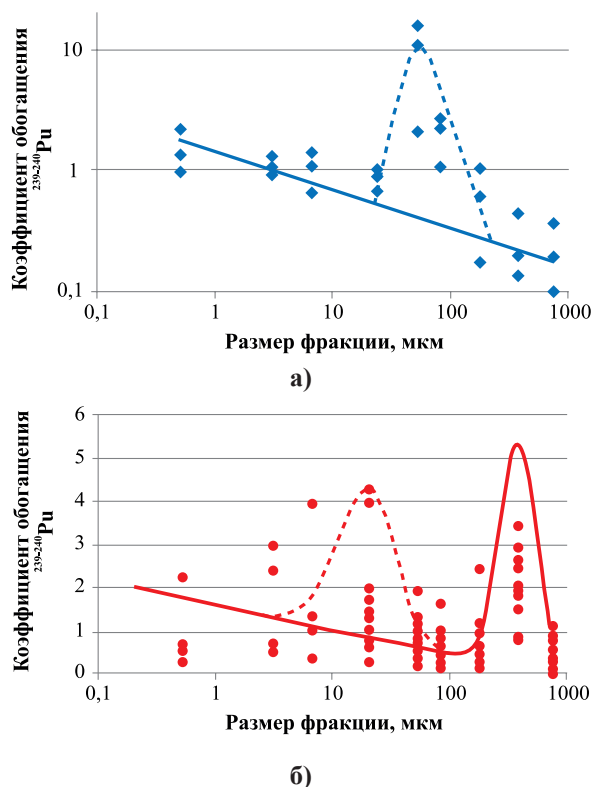


Рисунок 4.20. Распределение радионуклидов в гранулометрических фракциях почвы (а) в луговых почвах в районе штольни № 176 (площадка «Дегелен»), (б) в аридных почвах на следе наземного термоядерного взрыва от 12.08.1953 года

Эти данные позволяют оптимизировать обследование участков полигона путем сокращения количества радионуклидных анализов и повышают качество оценки дозовой нагрузки на человека при поступлении радионуклидов в организм через органы дыхания и кожный покров. Основные результаты изложены в публикациях [171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179].

Не меньше внимания уделяется и исследованию растительного покрова. Для различных участков полигона установлены параметры перехода радионуклидов из почвы в растения естественных экосистем. Получена целостная картина коэффициентов накопления радионуклидов из почвы в растения естественных экосистем для всей территории СИП, характеризующейся различными типами радио-

активного загрязнения (Рисунок 4.21). Различия в коэффициентах накопления для радионуклида ^{137}Cs достигают 71 раза, ^{90}Sr – 74 раз, $^{239+240}\text{Pu}$ – 14 раз, ^{241}Am – 11 раз. Тем не менее, ряд убывания радионуклидов по их способности к накоплению растениями имеет следующий вид: $^{90}\text{Sr} > ^{137}\text{Cs} > ^{239+240}\text{Pu} > ^{241}\text{Am}$. Коэффициенты накопления радионуклида ^{90}Sr в среднем в 8 раз превышают коэффициенты накопления радионуклида ^{137}Cs и до 16 раз радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$. Значения коэффициентов накопления радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ до 3 раз выше коэффициентов накопления радионуклида ^{241}Am .

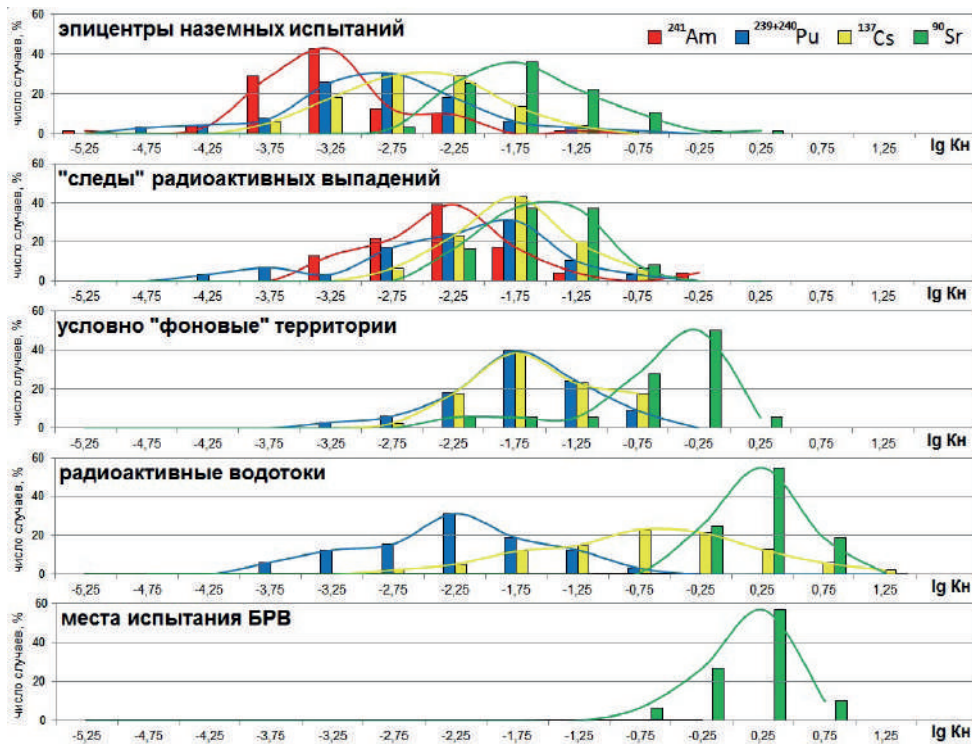


Рисунок 4.21. Распределение значений $\lg K_n$ для исследуемых территорий СИП

Также доказана возможность использования растений в качестве показателей содержания радионуклида трития в грунтовых водах (Рисунок 4.22). Основные результаты исследований в данном направлении приведены в публикациях [180, 181, 182, 183, 184, 185, 186].

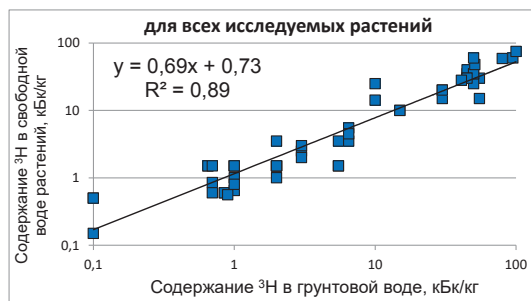


Рисунок 4.22. Зависимость содержания ^3H в свободной воде растений от его содержания в грунтовых водах

Кроме того, дана радиозоологическая характеристика животному миру полигона. Определены параметры перехода радионуклидов в отдельные виды диких животных СИП. Исследования позволили установить, что отдельные виды животных, имеющих низкий радиус суточной активности, могут являться существенным фактором перераспределения радионуклидов в окружающей среде. Так, например, в организме ящериц, обитающих в местах испытания боевых радиоактивных веществ, содержание радионуклида ^{90}Sr может достигать нескольких сотен тысяч Бк/кг (Рисунок 4.23). Таким образом, одна ящерица может нести в себе до 5000 Бк этого радионуклида. Основные результаты исследований изложены в публикациях [187, 188, 189].

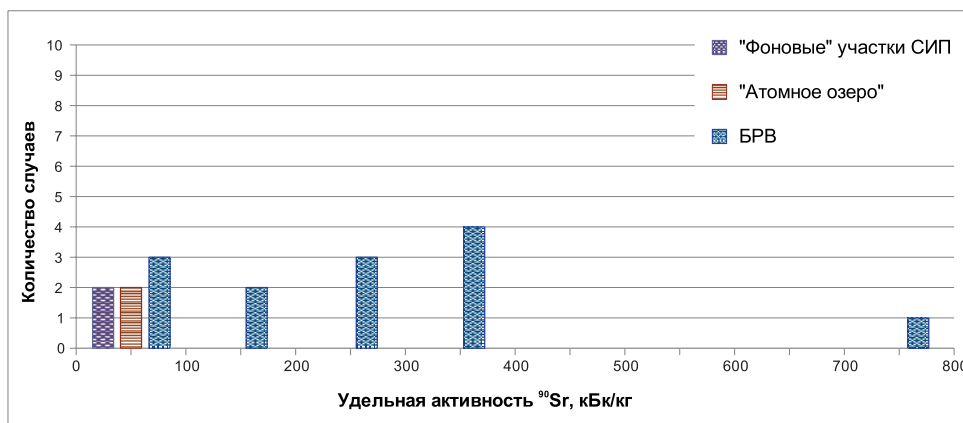
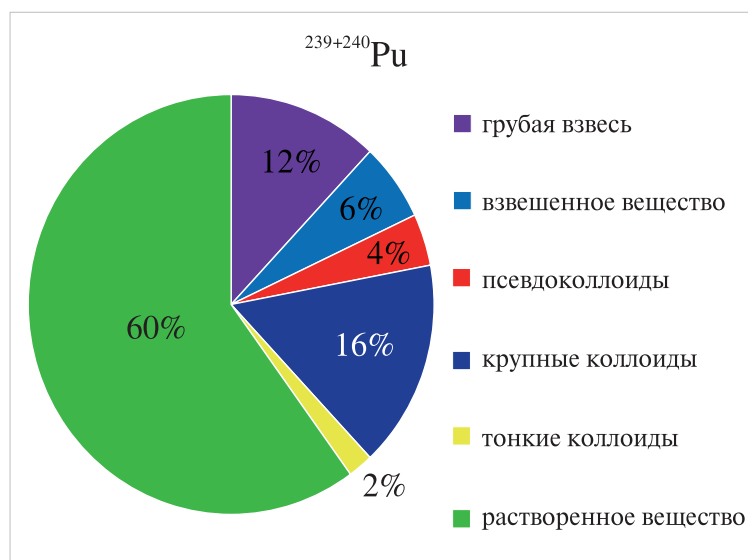
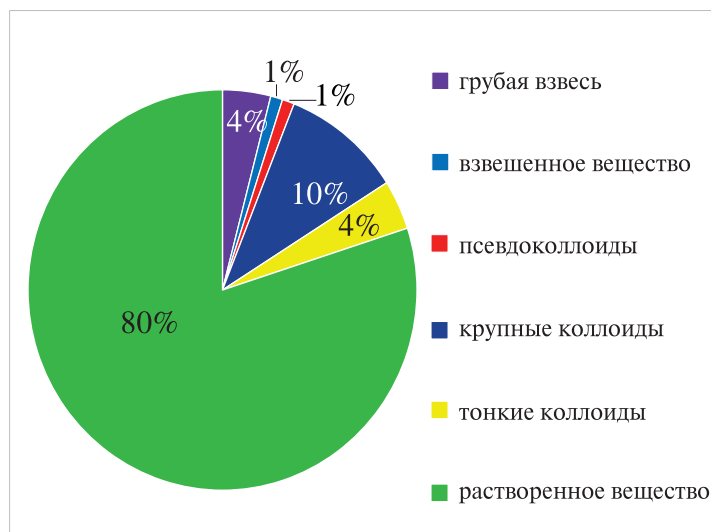


Рисунок 4.23. Гистограмма частоты встречаемости удельной активности радионуклида ^{90}Sr в организме ящерицы прыткой участков СИП

Не менее интересны исследования водной среды полигона, например, определение форм нахождения радионуклидов в воде и их трансформация в зависимости от физико-химических параметров окружающей среды. Данные по формам нахождения радионуклидов в воде являются показателем миграционной способности радионуклидов в водных экосистемах и могут быть использованы для прогноза развития радиационной обстановки на исследуемых объектах. В результате проведения таких исследований определены формы нахождения радионуклидов в наиболее загрязненных поверхностных водотоках СИП. Установлено, что преимущественной формой нахождения радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs в исследованных водах является растворенное вещество. Для $^{239+240}\text{Pu}$ свойственно нахождение в различных формах, с преобладанием растворенных и взвешенных форм (Рисунок 4.24, а). Основной формой нахождения ^{238}U является растворенное вещество, также наблюдается распределение в виде грубой взвеси, взвешенного вещества и коллоидов различного размера (Рисунок 4.24, б).



а)



б)

Рисунок 4.24. Распределение $^{239+240}\text{Pu}$ по формам нахождения в воде водотока шт. 609 (а) и ^{238}U в воде водотока шт. 503 (б.)

Изучение влияния физико-химических параметров водной среды на формы нахождения радионуклидов показало, что при определенных значениях рН и макрокомпонентного состава воды происходит трансформация форм радионуклидов, а также их перераспределение по различным формам. Основные результаты исследований изложены в публикациях [190, 191, 192].

Еще одним из направлений научных исследований, проводимых на территории полигона, является определение форм нахождения трития. Вследствие проведения ядерных испытаний образовалось большое количество радионуклида ^3H , активность которого на сегодняшний день в поверхностных и подземных водах, растительности, почве может достигать сотен тысяч Бк (Рисунок 4.25). Результаты проведенных исследований наглядно демонстрируют способность ^3H не только перераспределяться между различными объектами экосистем, но и накапливаться в отдельных компонентах природной среды в различных формах нахождения (в окисленной форме или тритированной воде – НТО, орга-

нически связанном виде – ОСТ, тритированных водяных паров – НТО и газообразных соединениях – $^3\text{H}_{\text{газ}}$). В почве в местах проведения ядерных испытаний ^3H может присутствовать одновременно в нескольких разных формах: ^3H в поверхностно-адсорбированной воде, ^3H в межслоевой воде, гидроксильный ^3H , органически связанный ^3H и кристаллически связанный ^3H .

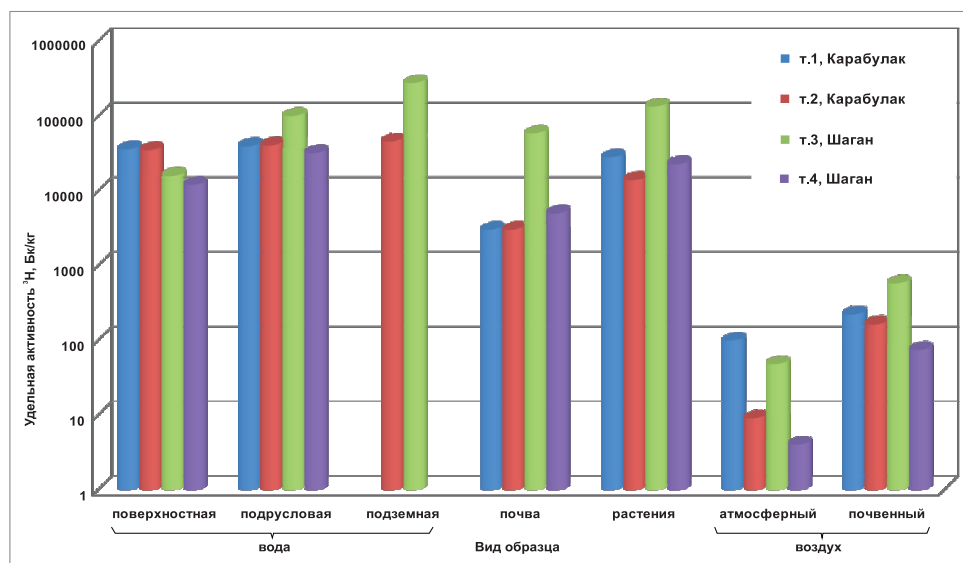


Рисунок 4.25. Удельная активность ^3H в различных компонентах природной среды на участках площадки «Дегелен» (ручей Карабулак) и реки Шаган

Информация об уровне и формах нахождения радионуклида ^3H позволяет судить о механизмах его миграции, а также дает оценку его биологической доступности. Тритий, как изотоп водорода, обладает гораздо более высокой миграционной способностью, чем все остальные искусственные радионуклиды. Основные результаты, полученные в данном направлении, изложены в публикациях [193, 194, 195, 196, 197, 198, 199].

Для выявления особенностей перехода радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию на территории СИП проведена серия сельскохозяйственных радиоэкологических экспериментов. Для этого на территории испытательных площадок

«Дегелен» и «Опытное поле» в разные годы организовывалось «экспериментальное фермерское хозяйство».

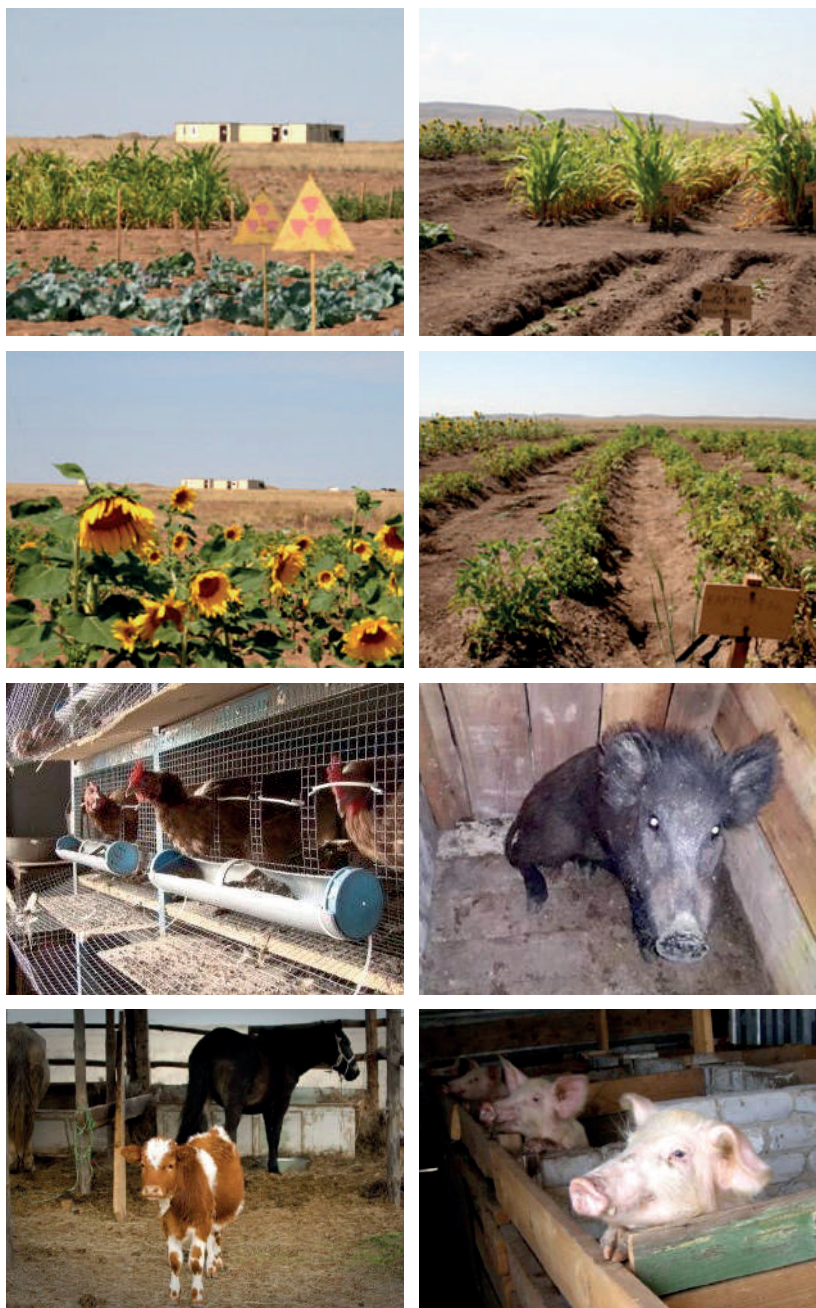


Рисунок 4.26. Исследуемые сельскохозяйственные растения и животные

В результате проведения исследований получены параметры перехода искусственных радионуклидов из рациона (растения, почва, вода, воздух) в основную животноводческую продукцию – мясо овец, коров, домашних и диких свиней, лошадей, кур, молоко коров и лошадей, яйца кур. Впервые, аналогичные данные получены для различных форм трития (Рисунок 4.27). В ходе исследований доказана возможность прижизненного определения радионуклидов в тканях и органах животных по удельной активности радионуклидов в шерсти животных.

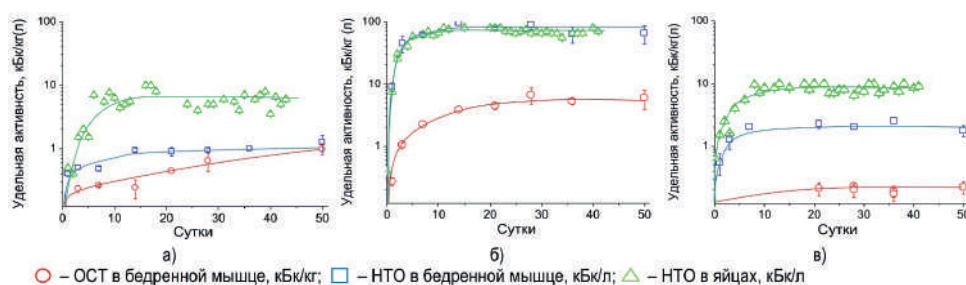


Рисунок 4.27. Динамика перехода трития в мышечную ткань и яйца кур при длительном поступлении а) с кормом; б) с водой; в) с воздухом

Также получены параметры перехода исследуемых радионуклидов из почвы в основную растениеводческую продукцию, выращиваемую в регионе. Исследовано влияние различных агротехнических мероприятий (регулирование режима увлажнения, внесение различных видов удобрения) на переход радионуклидов в растениеводческую продукцию (Рисунок 4.28).

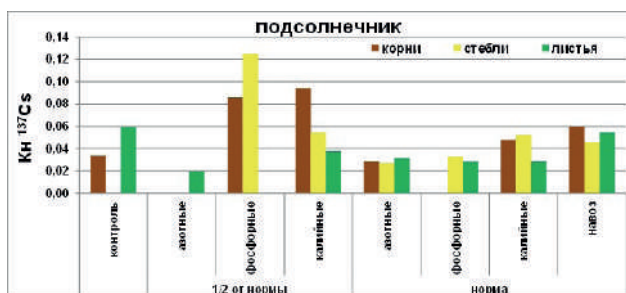


Рисунок 4.28. Особенности накопления ^{137}Cs при разной дозе внесения различных видов удобрений для подсолнечника

Данные параметры необходимы для различных прогностических моделей оценки миграции радионуклидов по пищевым цепям, оценки дозовых нагрузок и оценки рисков для человека. Основные результаты, полученные в рамках исследований данного направления, изложены в публикациях [200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210].

Живые организмы и растения, длительное время обитающие и произрастающие на участках с высоким содержанием радионуклидов в компонентах экосистем, также интересны с точки зрения изучения биологического воздействия ионизирующего излучения. В разные годы проводились исследования, выявляющие возможное влияние низких доз ионизирующего излучения на живые организмы и растения загрязненных участков полигона. К примеру, установлены видовые и сезонные закономерности в формировании гематологических показателей у лесных мышей и полевок. Приведены результаты изучения фауны коловраток и низших ракообразных. Представлены ихтиологические данные об изменчивости гольцов из водоемов зоны СИП в сравнении с контрольными популяциями рыб реки Аягуз. Обнаружена популяция линя с раздвоенным хвостом. Более глубокие исследования по оценке возможного влияния радиации на биоту проведены на хромосомах. Так, изучались генетические эффекты, индуцированные хроническим облучением в малых дозах у отдельных видов животных. Впервые в открытых водоемах урочища Балапан и горного массива Дегелен исследованы природные популяции хирономид. Проведена цитотаксономическая идентификация видов, выявлены спектры и частоты инверсионных последовательностей дисков в каждом из хромосомных плеч различных видов хирономид. Подтверждена возможность использования хирономид в качестве индикационного критерия при классификации озер. Установлено, что численность и наличие отдельных видов могут служить индексом для оценки экологического состояния водоемов.

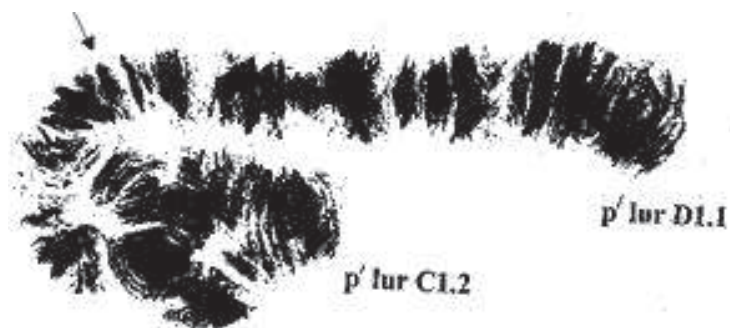


Рисунок 4.29. Хромосомный полиморфизм *Chironomus luridus*, гетерозиготная инверсия p/lur C.1.2

Кроме того, получены данные, характеризующие влияние токсических элементов на анатомические показатели некоторых растений и установлен линейный характер роста aberrантных клеток от мощности поглощенной дозы у растений, произрастающих в местах испытания боевых радиоактивных веществ (Рисунок 4.30).

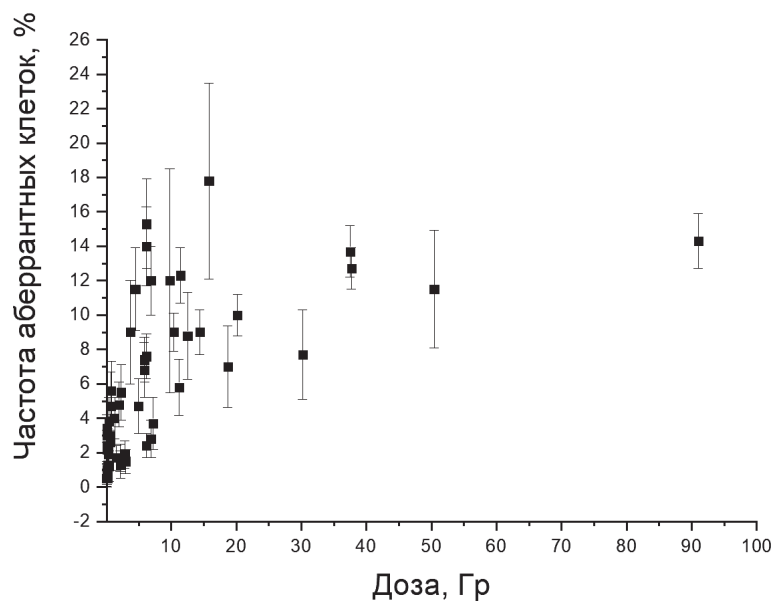


Рисунок 4.30. Зависимость выхода частоты aberrантных клеток от мощности поглощенной дозы β -облучения тонконога (*Koeleria gracilis* Pers) от 0 до 2500 мкГр/час и от 0 до 15000 мкГр/час

Помимо цитогенетических исследований проводилось изучение последствий ядерных испытаний на СИП на физиологические и биохимические свойства доминантных растений полигона. Выявлено, что низкие хронические дозы ионизирующей радиации значительно меняют активность антиокислительных ферментов у опытных (выращенных из семян растений, произраставших в условиях действия радиации) и контрольных растений. Это уменьшает повреждение растений от воздействия радиации и обеспечивает их радиоустойчивость. На опытных растениях и ферментах доказано, что это свойство передается из поколения в поколение. Основные результаты исследований в данной области отражены в публикациях [211, 212, 213, 214, 215, 216].

Таким образом, специалистами Национального ядерного центра РК в разные годы проведен широкий спектр исследований на территории СИП. Получаемые на полигоне результаты исследований природных объектов важны и необходимы не только для Республики Казахстан, но и для мировой научной общественности.

Дальнейшее использование СИП в качестве международной природной лаборатории по изучению последствий ядерных испытаний

Территория СИП является уникальной с точки зрения проведения всевозможных исследований. Живые организмы и растения, длительное время, обитающие и произрастающие на участках с высоким содержанием радионуклидов в компонентах экосистем интересны с точки зрения изучения биологического воздействия ионизирующего излучения. На сегодня уже получены уникальные данные отражающие наличие влияния ионизирующего излучения на морфоанатомическом и цитогенетическом уровнях. Разнообразие ландшафтов полигона и различный характер радионуклидного загрязнения позволяет получать уникальные

данные, характеризующие особенности перераспределения радионуклидов между компонентами природной среды различных экосистем. На сегодня уже получен большой массив параметров, характеризующих перераспределение радионуклидов в системах «вода-растения», «донные отложения-растения», «почва-растения», «почва-животные», «растения-воздух» для дикой природы и для сельскохозяйственной продукции животного и растительного происхождения. Проведена оценка эффективности способов снижения перехода радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию путем внесения пищевых добавок сельскохозяйственным животным и проведением агротехнических мероприятий при выращивании сельскохозяйственных культур (внесение различных видов удобрений, изменение режима увлажнения).

Помимо перечисленных исследований, территория СИП перспективна для отработки и оценки эффективности различных сценариев ремедиации радиоактивно-загрязненных территорий [217] и способов уменьшения объемов РАО (способы переработки РАО), а так же для проведения учений различных органов и ведомств реагирующих на чрезвычайные радиационные ситуации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Затронутые в данной монографии вопросы касаются, главным образом, части территории Семипалатинского испытательного полигона, где, непосредственно, ядерные испытания не проводились. Здесь приведена лишь краткая информация об истории и современном состоянии испытательных площадок полигона.

Проведенные работы в рамках комплексного экологического обследования территории Семипалатинского испытательного полигона позволили с высокой степенью надежности определить его современное радиоэкологическое состояние, оценить воздействие испытаний ядерного оружия на объекты окружающей среды – почвенный покров, атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, растительный и животный мир и рассчитать дозы облучения, которые может получить человек, проживая на обследуемой территории.

Полученные данные о радиационном состоянии основных компонентов окружающей среды дают возможность пересмотреть административные границы Семипалатинского испытательного полигона в соответствие с его радиоэкологическим статусом. Часть территории полигона, которая представляет радиационную опасность для населения, будет рекомендована для создания зоны, с особым порядком нахождения на ней. Часть территории полигона, которая не представляет радиационную опасность для населения, потенциально может быть выведена из категории земель запаса и передана в хозяйственный оборот. По предварительным данным, с учетом радиоэкологического состояния и с учетом логистики по территории полигона между испытательными площадками, такая часть полигона насчитывает примерно 9000 кв. км, что составляет около 50 % территории Семипалатинского испытательного полигона.

Вместе с тем, работы по комплексному экологическому обследованию проводились с 2008 года и позволяли гарантировано определять радиоэкологическое состояние территорий, обусловленное испытаниями на Семипалатинском испытательном полигоне, непосредственно на период проведения обследования. Поскольку территория полигона на текущий момент не охраняется или контролируется только местами, нельзя гарантировать отсутствие радиоактивных источников, которые могли быть привнесены на данную территорию незаконно (в результате демонтажа инфраструктуры испытательных площадок, необозначенных мест складирования радиоактивных веществ и т.д.). В этой связи, для окончательного принятия решений, необходимо актуализировать материалы комплексного обследования земель, рекомендованных к выводу из состава земель запаса, посредством проведения дополнительного обследования. При этом, речь не идет о дополнительном комплексном экологическом обследовании земельных участков, так как в материалах представлен раздел по прогнозу радиационной ситуации на Семипалатинском испытательном полигоне, с учетом которого определяются земельные участки, рекомендуемые к выводу из состава земель запаса. Так как речь идет о непрогнозируемых действиях техногенного характера, а в рамках комплексного обследования Семипалатинского испытательного полигона создавалась база данных техногенных объектов, обследованных на предмет радиационной опасности, которую они могут представлять. Таким образом, под дополнительным обследованием подразумевается сравнение имеющейся базы данных по техногенным объектам (2008-2021 годы) с данными, появившимися на момент принятия решений о статусе территорий и при необходимости обследование новых объектов.

Несмотря на завершение комплексного обследования Семипалатинского испытательного полигона работы по изучению радиоэкологической обстановки продолжают. Они проводятся в рам-

ках мониторинга состояния окружающей среды с целью контроля за радиационной обстановкой на радиационно-опасных участках полигона и на прилегающих к ним территориях. Поскольку существующие на территории полигона испытательные площадки, на которых непосредственно проводились испытания, будут представлять опасность еще долгое время вследствие больших периодов полураспада основных искусственных радионуклидов, то развитие и проведение мониторинга состояния окружающей среды является важной задачей. Дальнейшая реализация радиационного мониторинга позволит, по данным систематических наблюдений, выявить пространственную и временную динамику процессов миграции радионуклидов в основных компонентах окружающей среды на территории Семипалатинского испытательного полигона. В стратегическом плане мониторинг Семипалатинского испытательного полигона обеспечит получение актуальной и объективной информации о текущей радиационной ситуации, своевременное выявление негативных изменений в развитии радиационной обстановки, а также доступность информации о радиационной ситуации для государственных ведомств и населения.

Также исследование радиоэкологической обстановки проводится в рамках проведения мероприятий по приведению территории полигона в безопасное состояние и в ходе проведения всевозможных научных исследований, связанных с изучением особенностей перераспределения радионуклидов между компонентами природной среды, в пищевых цепях, разработкой и оценкой эффективности способов ремедиации радиоактивно-загрязненных территорий и оценкой влияния последствий проведения ядерных испытаний на биологические особенности биоты.

В целом, в результате проведенного комплексного экологического обследования территории Семипалатинского испытательного полигона удалось получить ответы на вопросы, касающиеся

возможности безопасного проживания людей на территории полигона. Полученные ответы позволяют прекратить спекуляции, касающиеся Семипалатинского испытательного полигона, снизить уровень радиофобии, что, несомненно, способствует социально-экономическому развитию региона. Кроме того, специалистами, проводившими данные исследования получен бесценный опыт, сформирована уникальная материально-методологическая база, наработаны профессиональные компетенции, позволяющие решать вопросы, связанные с радиоэкологическими проблемами Республики Казахстан на уровне мировых стандартов.

Авторы монографии выражают благодарность всем сотрудникам Института радиационной безопасности и экологии Национального ядерного центра Республики Казахстан за помощь при создании монографии. Особая благодарность Абишевой М.Т., Айдархановой А.К., Актаеву М.Р., Баклановой Ю.В., Жамалдинову Ф.Ф., Кривицкому П.Е., Кундузбаевой А.Е., Монаенко В.Н., Мустфиной Е.В., Паницкому А.В., Поливкиной Е.Н., Субботину С.Б., Сысоевой Е.С., Топоровой А.В., Турченко Д.В. за предоставленный материал. Отдельная благодарность Дорожкину И.П., Омархановой А.О., Серой О.В. за помощь в технических вопросах.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

НАЛИЧИЕ ЛИЦЕНЗИЙ И СЕРТИФИКАТОВ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

1. Государственные лицензии

на выполняемые виды деятельности

Для проведения радиоэкологических исследований Национальный ядерный центр РК имеет все необходимые лицензии, которые дают право предоставлять услуги (Рисунок 0.1, Рисунок 0.2, Рисунок 0.3, Рисунок 0.4, Рисунок 0.5).

	
20004749	
	
ЛИЦЕНЗИЯ	
12.03.2020 года	20004749
Выдана	Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» Министерства энергетики Республики Казахстан 071160, Республика Казахстан, Восточно-Казахстанская область, Курчатов Г. А., г. Курчатов, улица Бейбіт атам, дом № 2Б БИН: 990240001722 <small>(полное наименование, местонахождение, бизнес-идентификационный номер юридического лица (в том числе иностранного юридического лица), бизнес-идентификационный номер филиала или представительства иностранного юридического лица – в случае отсутствия бизнес-идентификационного номера у юридического лица/полностью фамилия, имя, отчество (в случае наличия), индивидуальный идентификационный номер физического лица)</small>
на заявите	Предоставление услуг в области использования атомной энергии <small>(наименование лицензируемого вида деятельности в соответствии с Законом Республики Казахстан «О разрешениях и уведомлениях»)</small>
Особые условия	Типы приборов, установок, материалов, с которыми лицензиат проводит работы, указаны в подвидах деятельности <small>(в соответствии со статьей 36 Закона Республики Казахстан «О разрешениях и уведомлениях»)</small>
Примечание	Неотчуждаемая, класс 1 <small>(отчуждаемость, класс разрешения)</small>
Лицензиар	Государственное учреждение "Комитет атомного и энергетического надзора и контроля", Министерство энергетики Республики Казахстан. <small>(полное наименование лицензиара)</small>
Руководитель (уполномоченное лицо)	Сергазин Гуьмар Екпирович <small>(фамилия, имя, отчество (в случае наличия))</small>
Дата первичной выдачи	
Срок действия лицензии	12.03.2025
Место выдачи	г.Нур-Султан
	

Рисунок 0.1. Государственная лицензия РГП НЯЦ РК на предоставление услуг в области использования атомной энергии



ПРИЛОЖЕНИЕ К ЛИЦЕНЗИИ

Номер лицензии 20004749

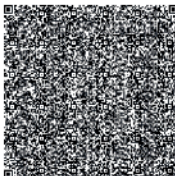
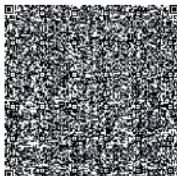
Дата выдачи лицензии 12.03.2020 год

Подвид(ы) лицензируемого вида деятельности:

- Определение содержания радионуклидов в продуктах, материалах, объектах окружающей среды, измерение концентрации радона и других радиоактивных газов
 - Измерение концентрации радона и других радиоактивных газов
 - Определение содержания радионуклидов в продуктах, материалах, объектах окружающей среды
- Индивидуальный дозиметрический контроль персонала
- Радиационный контроль территорий, помещений, рабочих мест, товаров, материалов, металлолома, транспортных средств

(наименование подвида лицензируемого вида деятельности в соответствии с Законом Республики Казахстан «О разрешениях и уведомлениях»)

Лицензиат	<p>Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» Министерства энергетики Республики Казахстан</p> <p>071100, Республика Казахстан, Восточно-Казахстанская область, Курчатов Г. А., г. Курчатов, улица Бейбіт атом, дом № 2Б, БИН: 990240001722</p> <p>(полное наименование, местонахождение, бизнес-идентификационный номер юридического лица (в том числе иностранного юридического лица), бизнес-идентификационный номер филиала или представительства иностранного юридического лица – в случае отсутствия бизнес-идентификационного номера у юридического лица/полностью фамилия, имя, отчество (в случае наличия), индивидуальный идентификационный номер физического лица)</p>
Производственная база	<p>071100 Республика Казахстан, город Курчатов, улица Бейбіт атом, 10;</p> <p>071100 Республика Казахстан, город Курчатов, улица Бейбіт атом, 2</p> <p>(местонахождение)</p>
Особые условия действия лицензии	<p>Типы приборов, установок, материалов, с которыми лицензиат проводит работы, указаны в подвидах деятельности</p> <p>(в соответствии со статьей 36 Закона Республики Казахстан «О разрешениях и уведомлениях»)</p>
Лицензиар	<p>Государственное учреждение "Комитет атомного и энергетического надзора и контроля". Министерство энергетики Республики Казахстан.</p> <p>(полное наименование органа, выдавшего приложение к лицензии)</p>
Руководитель (уполномоченное лицо)	<p>Сергазин Гумар Екпинович</p> <p>(фамилия, имя, отчество (в случае наличия))</p>



Осы құжат - Электронды құжат және электрондық цифрлық қолтаңба туралы Қазақстан Республикасындағы 3003-жылғы 7-ші қаңтардағы Заңының бабының 1-тармағына сәйкес негізгі тапсырысшы құжаттың маңызы біреу. Дәлелді құжаттың осыған ұқсас құжатты 1-ші статья 7-ші параграфының 1-ші тармағының 1-ші тармағына сәйкес негізгі тапсырысшы құжаттың маңызы біреу.

Рисунок 0.2. Перечень подвидов деятельности согласно государственной лицензии на предоставление услуг в области использования атомной энергии



ЛИЦЕНЗИЯ

03.07.2019 года

19014222

Выдана	<p>Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» Министерства энергетики Республики Казахстан</p> <p>071100, Республика Казахстан, Восточно-Казахстанская область, Курчатов Г.А., г.Курчатов, улица Бейбіт атом, дом № 2Б, БИН: 990240001722</p> <p>(полное наименование, местонахождение, бизнес-идентификационный номер юридического лица (в том числе иностранного юридического лица), бизнес-идентификационный номер филиала или представительства иностранного юридического лица – в случае отсутствия бизнес-идентификационного номера у юридического лица/полностью фамилия, имя, отчество (в случае наличия), индивидуальный идентификационный номер физического лица)</p>
на занятие	<p>Деятельность на территориях бывших испытательных ядерных полигонов и других территориях, загрязненных в результате проведенных ядерных испытаний</p> <p>(наименование лицензируемого вида деятельности в соответствии с Законом Республики Казахстан «О разрешениях и уведомлениях»)</p>
Особые условия	<p>(в соответствии со статьей 36 Закона Республики Казахстан «О разрешениях и уведомлениях»)</p>
Примечание	<p>Неотчуждаемая, класс 2</p> <p>(отчуждаемость, класс разрешения)</p>
Лицензиар	<p>Государственное учреждение "Комитет атомного и энергетического надзора и контроля". Министерство энергетики Республики Казахстан.</p> <p>(полное наименование лицензиара)</p>
Руководитель (уполномоченное лицо)	<p>Ертаев Ержан Ерболулы</p> <p>(фамилия, имя, отчество (в случае наличия))</p>
Дата первичной выдачи	<u>29.07.2010</u>
Срок действия лицензии	
Место выдачи	<u>г.Нур-Султан</u>

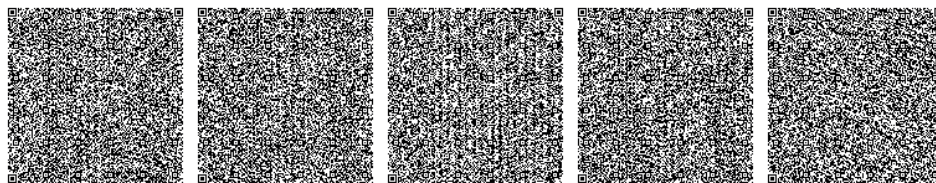


Рисунок 0.3. Государственная лицензия РГП НЯЦ РК на занятие деятельностью на территориях бывших испытательных ядерных полигонов и других территориях, загрязненных в результате проведенных ядерных испытаний



20001683



ЛИЦЕНЗИЯ

29.01.2020 года20001683

Выдана	Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» Министерства энергетики Республики Казахстан 071100, Республика Казахстан, Восточно-Казахстанская область, Курчатов Г. А., г. Курчатов, улица Бейбіт атом, дом № 2Б БИН: 990240001722 <small>(полное наименование, местонахождение, бизнес-идентификационный номер юридического лица (в том числе иностранного юридического лица), бизнес-идентификационный номер филиала или представительства иностранного юридического лица – в случае отсутствия бизнес-идентификационного номера у юридического лица/полностью фамилия, имя, отчество (в случае наличия), индивидуальный идентификационный номер физического лица)</small>
на занятие	Деятельность по обращению с радиоактивными отходами <small>(наименование лицензируемого вида деятельности в соответствии с Законом Республики Казахстан «О разрешениях и уведомлениях»)</small>
Особые условия	Типы отходов, с которыми лицензиат проводит работы, указаны в подвидах деятельности <small>(в соответствии со статьей 36 Закона Республики Казахстан «О разрешениях и уведомлениях»)</small>
Примечание	Неотчуждаемая, класс 1 <small>(отчуждаемость, класс разрешения)</small>
Лицензиар	Государственное учреждение "Комитет атомного и энергетического надзора и контроля". Министерство энергетики Республики Казахстан. <small>(полное наименование лицензиара)</small>
Руководитель (уполномоченное лицо)	Сергазин Гумар Екпинович <small>(фамилия, имя, отчество (в случае наличия))</small>
Дата первичной выдачи	
Срок действия лицензии	<u>29.01.2025</u>
Место выдачи	<u>г.Нур-Султан</u>

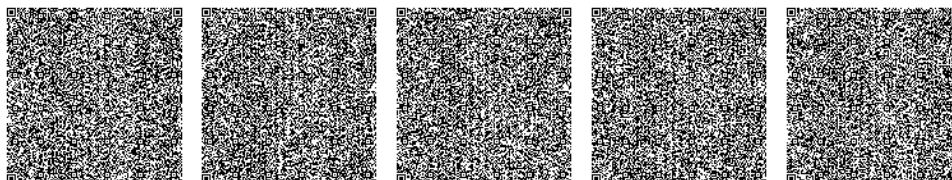


Рисунок 0.4. Государственная лицензия РГП НЯЦ РК на деятельность по обращению с радиоактивными отходами



ПРИЛОЖЕНИЕ К ЛИЦЕНЗИИ

Номер лицензии 20001683

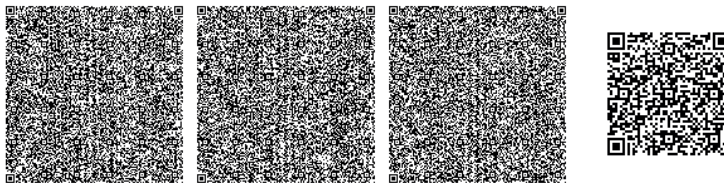
Дата выдачи лицензии 29.01.2020 год

Подвид(ы) лицензируемого вида деятельности:

- Радиационная реабилитация, рекультивация территорий и объектов
- Хранение и захоронение радиоактивных отходов
 - Захоронение радиоактивных отходов
 - Низкоактивных радиоактивных отходов
 - Среднеактивных радиоактивных отходов
 - Хранение радиоактивных отходов
 - Низкоактивных радиоактивных отходов
 - Среднеактивных радиоактивных отходов
- Дезактивация (очистка от радиоактивного загрязнения) помещений, оборудования и материалов
- Сбор и сортировка радиоактивных отходов
 - Низкоактивных радиоактивных отходов
 - Среднеактивных радиоактивных отходов

(наименование подвида лицензируемого вида деятельности в соответствии с Законом Республики Казахстан «О разрешениях и уведомлениях»)

Лицензиат	<p>Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» Министерства энергетики Республики Казахстан</p> <p>071100, Республика Казахстан, Восточно-Казахстанская область, Курчатов Г. А., г. Курчатов, улица Бейбіт атом, дом № 2Б, БИН: 990240001722</p> <p>(полное наименование, местонахождение, бизнес-идентификационный номер юридического лица (в том числе иностранного юридического лица), бизнес-идентификационный номер филиала или представительства иностранного юридического лица – в случае отсутствия бизнес-идентификационного номера у юридического лица/полностью фамилия, имя, отчество (в случае наличия), индивидуальный идентификационный номер физического лица)</p>
Производственная база	<p>Республика Казахстан, Восточно-Казахстанская область, город Курчатов, улица Бейбіт атом 10; Республика Казахстан, Восточно-Казахстанская область, город Курчатов, улица Бейбіт атом 2</p> <p>(местонахождение)</p>
Особые условия действия лицензии	<p>Типы отходов, с которыми лицензиат проводит работы, указаны в подвидах деятельности</p> <p>(в соответствии со статьей 36 Закона Республики Казахстан «О разрешениях и уведомлениях»)</p>



Осы құжат «Электронды құжат және электрондық цифрлық қолтаба туралы» Қазақстан Республикасының 2003 жылғы 7 қаңтардағы Заңы 7 бабының 1 тармағына сәйкес қазіргі таңда қолданыстағы құжатпен алмастырылды. Данный документ согласно пункту 1 статьи 7 ЗРК от 7 января 2003 года "Об электронном документе и электронной цифровой подписи" равнозначен документу на бумажном носителе.

Рисунок 0.5. Перечень подвидов деятельности согласно государственной лицензии на деятельность по обращению с радиоактивными отходами

2. Аттестат аккредитации Испытательного центра «Центр радиоэкологических исследований»

На базе отделов и лабораторий Института действует Испытательный центр «Центр радиоэкологических исследований», аккредитованный в системе аккредитации Республики Казахстан на соответствие требованиям ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий» (Рисунок 0.6).



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ САУДА ЖӘНЕ
ИНТЕГРАЦИЯ МИНИСТРЛІГІНІҢ ТЕХНИКАЛЫҚ РЕТТЕУ
ЖӘНЕ МЕТРОЛОГИЯ КОМИТЕТІ
ҰЛТТЫҚ АККРЕДИТТЕУ ОРТАЛЫҒЫ

АККРЕДИТТЕУ АТТЕСТАТЫ



KZA168DAC8569C3AE3

Аккредиттеу субъектілерінің тізілімінде тіркелген
№ **KZ.Т.07.2142**
12 Қазан 2018 жылдан
12 Қазан 2023 жылға дейін жарамды

БСН 130441025754, Қазақстан Республикасы Энергетика министрлігі «Қазақстан Республикасының Ұлттық ядролық орталығы» шаруашылық жүргізу құқығындағы республикалық мемлекеттік кәсіпорнының «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, заңды мекен-жайы: Қазақстан, Восточно-Казахстанская область, Курчатов г.а., Красноармейская к-сі, 2, нақты мекен-жайы: Қазақстан, Восточно-Казахстанская область, Курчатов г.а., Красноармейская к-сі, 2; Қазақстан, Восточно-Казахстанская область, Курчатов г.а., Құнанбай к-сі, 18; Қазақстан, Восточно-Казахстанская область, Курчатов г.а., Құнанбай к-сі, 16 Қазақстан Республикасының аккредиттеу жүйесінде ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009. Сынау және калибрлеу зертханаларының құзыреттілігіне қойылатын жалпы талаптар (Сынақ орталығы) талаптарына сәйкес аккредиттелген.

Сәйкестікті бағалаудың объектілері: Сынақ орталығы.

Аккредиттеу саласы ақпараттық жүйеде келтірілген.

Бұл құжат тіркеушінің ақпараттық жүйесінің сәйкестікті бағалау саласындағы электронды аккредиттеу қызметі арқылы қалыптастырылған.

Бұл құжат «Электрондық құжат және электрондық цифрлық қолтаңба туралы» Қазақстан Республикасының 2003 жылғы 7 қаңтардағы №370-ІІ Заңының 7-бабының 1-тармағына сәйкес қағаз жүзіндегі құжатқа баламалы болып табылады.

Электрондық құжаттың дұрыстығын галантир желісі арқылы тексеруге болады <https://technreg.qoldsu.kz/ru/acc/subjects>



КОМИТЕТ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И
МЕТРОЛОГИИ МИНИСТЕРСТВА ТОРГОВЛИ И ИНТЕГРАЦИИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР АККРЕДИТАЦИИ

АТТЕСТАТ АККРЕДИТАЦИИ



KZ8C098EE2C18A3BAА

Зарегистрирован в реестре субъектов аккредитации
№ KZ.T.07.2142
от 12 Октябрь 2018 г.
действителен до 12 Октябрь 2023 г.

БИН 130441025754, Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» Республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» Министерства энергетики Республики Казахстан., юридический адрес: Казахстан, Восточно-Казахстанская область, Курчатов г.а., ул. Красноармейская, 2, фактический адрес: Казахстан, Восточно-Казахстанская область, Курчатов г.а., ул. Красноармейская, 2; Казахстан, Восточно-Казахстанская область, Курчатов г.а., ул. Кунанбая, 18; Казахстан, Восточно-Казахстанская область, Курчатов г.а., ул. Кунанбая, 16 аккредитован(а) в системе аккредитации Республики Казахстан на соответствие требованиям ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий (ИЦ).

Объекты оценки соответствия: Испытательный центр.

Область аккредитации приведена в информационной системе.

Данный документ сформирован электронным сервисом аккредитации в области оценки соответствия Регистраторской информационной системы.

Данный документ согласно пункту 1 статьи 7 ЗРК от 7 января 2003 года N370-II «Об электронном документе и электронной цифровой подписи» равнозначен документу на бумажном носителе.

Проверить подлинность электронного документа Вы можете в реестре субъектов аккредитации <https://techreg.qoldau.kz/ru/acc/subjects>.

**Рисунок 0.6. Аттестат аккредитации Испытательного центра
«Центр радиоэкологических исследований» Института**

**3. Сертификаты соответствия действующим
СТ РК ISO 9001-2016 (ISO 9001:2015)
и СТ РК ISO 14001-2016 (ISO 14001:2015)**

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ МЕМЛЕКЕТТІК
ТЕХНИКАЛЫҚ РЕТТЕУ ЖҮЙЕСІ
"Менеджмент жүйелерін сертификаттаудың республикалық орталығы" ЖШС
МЖ СРО
Нұр-Сұлтан қ-сы, Сарайшық к-сі, 5/1 үй, 15 кенсе

  
KZ.Q.01.0448 КСС № 0106773

СӘЙКЕСТІК СЕРТИФИКАТЫ

Мемлекеттік тізілімде 2019 ж. «18» желтоқсан тіркелді
№ KZ.7100448.07.03.00216 2022 ж. «18» желтоқсан дейін жарамды
Алғашқы сертификаттау күні 2013 ж. «25» сәуір

Осы сертификат ҚР ЭМ «Қазақстан Республикасының Ұлттық ядролық орталығы» ШЖК РМК, ҚР ШҚО, Курчатов қ-сы, Бейбіт атом к-сі, ғим. 2 Б
берілді және ЖҮЙЕНІҢ сапа менеджменті
сертификаттау саласы қосымша құжат ҚССҚ №0018635 бойынша

қатысты
ҚР СТ ISO 9001-2016 (ISO 9001:2015) «Сапа менеджменті жүйелері. Талаптар» талаптарға сәйкес келетінін куәландырады

 М.О. Сәйкестікті растау жөніндегі органның басшысы немесе ол уәкілеттік берген тұлға
 Каримова Н. А.
қызметші / менеджер, т.с.б.

 Сарапшы-аудитор
Губарева С. Н.
қызметші / менеджер, т.с.б.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА
ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
ОПС СМ ТОО "Республиканский центр сертификации систем менеджмента"
г. Нур-Султан, ул. Сарайшык, дом 5/1, офис 15



KZ. Q.01.0448

КСС № 0106773

СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ

Зарегистрирован в Государственном реестре

« 18 » декабря 2019 г.

№ KZ.7100448.07.03.00216

Действителен до « 18 » декабря 2022 г.

Дата первичной сертификации « 25 » апреля 2013 г.

Настоящий сертификат выдан РГП на ПХВ «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» МЭ РК, РК, ВКО, г. Курчатов, ул. Бейбіт атом, зд. 2 Б

и удостоверяет, что СИСТЕМА менеджмента качества

применительно к области сертификации согласно приложению КССП №0018635

соответствует требованиям СТ РК ISO 9001-2016 (ISO 9001:2015) «Системы менеджмента качества. Требования»



Руководитель органа по подтверждению
соответствия или уполномоченное им лицо
Каримова Н.А.

Handwritten signature
подпись

инициалы, фамилия

Handwritten signature
подпись

эксперт-аудитор
Губарева С. Н.

инициалы, фамилия

КАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ МЕМЛЕКЕТТІК
ТЕХНИКАЛЫҚ РЕТТЕУ ЖҮЙЕСІ

Менеджмент жүйесінің сәйкестік сертификатына

ҚОСЫМША 0018635



Қосымша № KZ.7100448.07.03.00216
сәйкестік сертификатының ажырамас
бөлігі болып табылады

Ядролық физика, қатты дене физикасы, радиациялық материалтану, ядролық реакторлар физикасы мен техникасы, соның ішінде ядролық және термоядролық қондырғыларды, нондаушы сәулелену көздерін, ядролық материалдарды, радиоактивті заттарды пайдалану арқылы, атом энергетикасының қауіпсіздігін негіздеу, радиоэкология және жарылыс ісі саласында ғылыми зерттеулер жүргізу; ядролық материалдармен, нондаушы сәулелену көздерімен және радиоактивті заттармен, пайдаланылған ядролық отынды қоса алғанда радиоактивті қалдықтармен жұмыс істеу, соның ішінде есепке алу және бақылау, радиоактивті қалдықтар қоймаларын құру және қауіпсіз пайдалану; атом (ядролық және термоядролық) энергиясын пайдалану объектілерін жобалау, салу, пайдалануға енгізу, пайдалану, консервациялау және пайдаланудан шығару; ядролық қондырғылар мен ядролық материалдарды физикалық қорғауды қамтамасыз ету; ядролық сынақтардың салдарларын зерделеу және жою, ядролық сынақтар жүргізілген жерлерді радиоэкологиялық мониторингілеу; ядролық-физикалық және химиялық әдістерді қолдана отырып, заттардың құрамына талдамалық зерттеулер жүргізу; сәулелттік және құрылыстық жобалау, құрылыс-монтаждау жұмыстарын орындау; табиғатты қорғау іс-шараларын әзірлеу және орындау; өнеркәсіптік қалдықтарды өңдеу бойынша ғылыми зерттеулер жүргізу және технологиялар әзірлеу; өнеркәсіптік қалдықтармен жұмыс істеу, соның ішінде өнеркәсіптік қалдықтар полигондарын құру және қауіпсіз пайдалану; деректер базаларын және географиялық ақпараттық жүйелерді құру жолымен ғылыми зерттеулердің нәтижелерін қорытындылау және жүйелендіру; атом саласы үшін ғылыми және ғылыми-техникалық кадрларды даярлау және біліктілігін арттыру; қауіпті өндірістік объектілерде авариялық-құтқару жұмыстарын және басқа да қауіпті жұмыстарды жүргізу (газдан құтқару, іздеу-құтқару, радиациялық авариялардың салдарын жою жұмыстары)



Сәйкестікті растау жөніндегі органның басшысы
немесе ол уәкілеттік берген тұлға

Қолы Каримова Н.А.
инициалдары, тегі

Қолы Сарапшы-аудитор
Губарева С.Н.
инициалдары, тегі

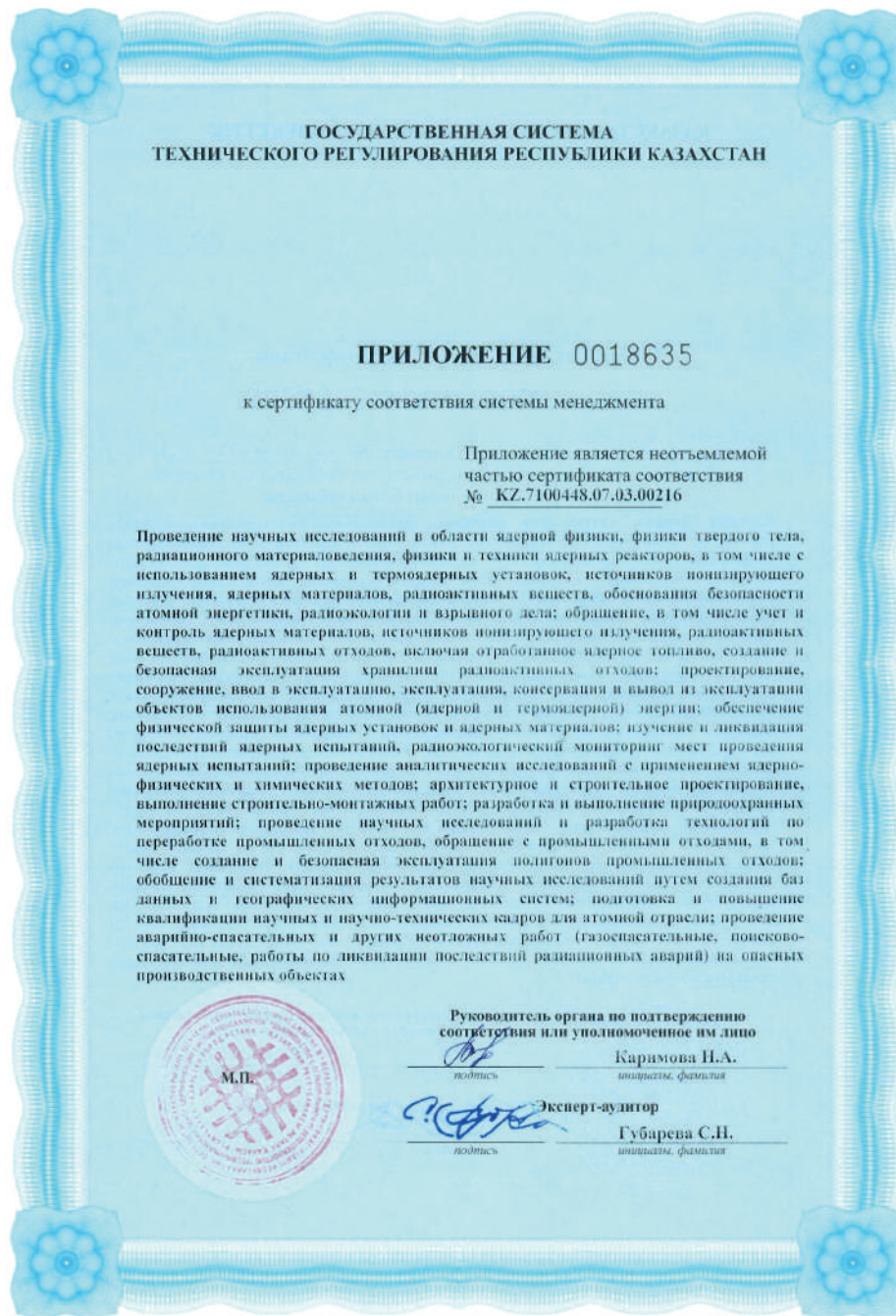


Рисунок 0.7. Сертификат соответствия СТ РК ISO 9001-2016 (ISO 9001:2015) «Системы менеджмента качества. Требования»

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ МЕМЛЕКЕТТІК
ТЕХНИКАЛЫҚ РЕТТЕУ ЖҮЙЕСІ
"Менеджмент жүйелерін сертификаттаудың республикалық орталығы" ЖШС
МЖ СРО

Нұр-Сұлтан қ-сы, Сарайшық к-сі, 5/1 үй, 15 кеңсе



KZ.Q.01.0448



КСС № 0106774



СӘЙКЕСТІК СЕРТИФИКАТЫ

Мемлекеттік тізілде 2019 ж. «18» желтоқсан тіркелді
№ KZ.7100448.07.03.00217 2022 ж. «18» желтоқсан дейін жарамды
Алғашқы сертификаттау күні 2015 ж. «26» тамыз

Осы сертификат ҚР ЭМ «Қазақстан Республикасының Ұлттық ядролық орталығы» ШЖК РМК, ҚР, ШҚО, Курчатов қ-сы, Бейбіт атом к-сі, ғим. 2 Б

берілді және ЖҮЙЕНІҢ экологиялық менеджменті

сертификаттау саласы қосымша құжат КССК №0018636 бойынша


қатысты

ҚР СТ ISO 14001-2016 (ISO 14001:2015) «Экологиялық менеджмент жүйелері.
Қолдану жөніндегі талаптар мен басшылық» талаптарға сәйкес келетінін куәландырады



Сәйкестікті растау жөніндегі органның басшысы
немесе ол уәкілеттік берген тұлға

 Каримова Н.А.
қолы инициалдары, тегі

Сарапшы-аудитор
 Губарева С. Н.
қолы инициалдары, тегі

Астана қаласы "KazCIR" РМҚ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА
ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
ОПС СМ ТОО "Республиканский центр сертификации систем менеджмента"
г. Нур-Султан, ул. Сарайшык, дом 5/1, офис 15



KZ, Q.01.0448

КСС № 0106774

СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ

Зарегистрирован в Государственном реестре

« 18 » декабря 2019 г. № KZ.7100448.07.03.00217
Действителен до « 18 » декабря 2022 г.
Дата первичной сертификации « 26 » августа 2015 г.

Настоящий сертификат выдан РГП на ПХВ «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» МЭ РК, РК, ВКО, г. Курчатов, ул. Бейбіт атом, зд. 2 Б

и удостоверяет, что СИСТЕМА экологического менеджмента

применительно к области сертификации согласно приложению КССП №0018636

соответствует требованиям СТ РК ISO 14001-2016 (ISO 14001:2015) «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению»



Руководитель органа по подтверждению соответствия или уполномоченное им лицо

Каримова Н.А.

инициалы, фамилия

Эксперт-аудитор

Губарева С. Н.

инициалы, фамилия

© Акция РГП "Национальный центр сертификации систем менеджмента"

КАЗАКСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ МЕМЛЕКЕТТІК
ТЕХНИКАЛЫҚ РЕТТЕУ ЖҮЙЕСІ

Менеджмент жүйесінің сәйкестік сертификатына

ҚОСЫМША 0018636



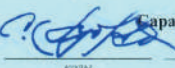
Қосымша № KZ.7100448.07.03.00217
сәйкестік сертификатының ажырамас
бөлігі болып табылады

Ядролық физика, қатты дене физикасы, радиациялық материалтану, ядролық реакторлар физикасы мен техникасы, соның ішінде ядролық және термоядролық қондырғыларды, нондаушы сәулелену көздерін, ядролық материалдарды, радиоактивті заттарды пайдалану арқылы, атом энергетикасының қауіпсіздігін негіздеу, радиэкология және жарылыс ісі саласында ғылыми зерттеулер жүргізу; ядролық материалдармен, нондаушы сәулелену көздерімен және радиоактивті заттармен, пайдаланылған ядролық отынды қоса алғанда радиоактивті қалдықтармен жұмыс істеу, соның ішінде есепке алу және бақылау, радиоактивті қалдықтар қоймаларын құру және қауіпсіз пайдалану; атом (ядролық және термоядролық) энергиясын пайдалану объектілерін жобалау, салу, пайдалануға енгізу, пайдалану, консервациялау және пайдаланудан шығару; ядролық қондырғылар мен ядролық материалдарды физикалық қорғауды қамтамасыз ету; ядролық сынақтардың жағдайларын зерделеу және жою, ядролық сынақтар жүргізілген жерлерді радиэкологиялық мониторингілеу; ядролық-физикалық және химиялық әдістерді қолдана отырып, заттардың құрамына талдамалық зерттеулер жүргізу; сәулелік және құрылыстық жобалау, құрылыс-монтаждау жұмыстарын орындау; табиғатты қорғау іс-шараларын әзірлеу және орындау; өнеркәсіптік қалдықтарды өңдеу бойынша ғылыми зерттеулер жүргізу және технологиялар әзірлеу; өнеркәсіптік қалдықтармен жұмыс істеу, соның ішінде өнеркәсіптік қалдықтар полигондарын құру және қауіпсіз пайдалану; деректер базаларын және географиялық ақпараттық жүйелерді құру жолымен ғылыми зерттеулердің нәтижелерін қорытындылау және жүйелендіру; атом саласы үшін ғылыми және ғылыми-техникалық кадрларды даярдау және біліктілігін арттыру; қауіпті өндірістік объектілерде авариялық-құтқару жұмыстарын және басқа да қауырт жұмыстарды жүргізу (газдан құтқару, іздеу-құтқару, радиациялық авариялардың салдарын жою жұмыстары)



Сәйкестікті растау жөніндегі органның басшысы
немесе ол уәкілеттік берген тұлға


Қаримова Н.А.
инициалдары, тегі

Сарапшы-аудитор

Губарева С.Н.
инициалдары, тегі



**Рисунок 0.8. Сертификат соответствия СТ РК ISO 14001-2016 (ISO 14001:2015)
«Системы экологического менеджмента.
Требования и руководство по применению»**

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ И МЕТОДИЧЕСКАЯ БАЗА, ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

1. Транспортное обеспечение работ

Для проведения полевых работ Институт использовал такие собственные транспортные средства, как:

- грузопассажирские автомобили высокой проходимости (УАЗ), позволяющие проводить полевые работы полевым группам и перевозить пробы окружающей среды в лаборатории Института;
- специализированные передвижные лаборатории на базе автомобилей «Форд» и «КамАЗ», дающие возможность проводить лабораторные исследования с использованием высокотехнологичного оборудования в полевых условиях;
- грузовые автомобили, обеспечивающие перемещение инфраструктуры полевых лагерей, оборудования и других грузов.

2. Обеспечение отбора проб окружающей среды

Для проведения отбора проб окружающей среды применялись необходимые механизмы, оборудование и приборы различного назначения.

Список основного оборудования, обеспечившего проведение отбора проб окружающей среды в рамках комплексного экологического обследования, приведен в таблице (Таблица 0.1).

Таблица 0.1. Оборудование, использованное для проведения полевых работ

Вид оборудования	Назначение
Расходомер-пробоотборник радиоактивных газоаэрозольных смесей «БРИЗ»	Отбор проб воздушных аэрозолей
Метеостанция Davis Vantage Vue	Измерение метеорологических параметров
Навигационный приемник Garmin GPSMAP 62s	Позиционирование на местности

Вид оборудования	Назначение
Буровая установка ЛБУ 50-07 на базе автомобиля КамАЗ 43118	Бурение и чистка скважин
Буровая установка УРБ 2А2 на шасси Урал	Бурение и чистка скважин
Насос скважинный глубинный Groundfos	Прокачка скважин и отбор воды
Электроконтактный уровнемер скважинный тросовой УСК-ТЭ	Измерение уровня подземных вод
Прибор гидрологический (термометр цифровой)	Измерение гидрогеологических параметров
Точечный пробоотборник воды Solinst 429	Отбор проб воды
Прибор гидрологический Solinst 316L	Отбор проб воды
Палубный компрессор KB 12/12	Бурение и чистка скважин
Жилой модуль, включающий в себя: жилые помещения, санпропускник, дизель электрогенератор (ДЭС), хозяйственные помещения. ААЦ 8742-01	Полевая инфраструктура
Дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М	Измерение радиационных параметров (плотность потока α - и β -частиц, МЭД)
Дозиметр-радиометр МКС-АТ6130	Измерение радиационных параметров (плотность потока β -частиц, МЭД)
Спутниковое геодезическое оборудование GNSS Trimble Epoch 50	Система позиционирования точек отбора
Система дозиметрического контроля персонала HARSHAW 6600	Обеспечение индивидуального дозиметрического контроля персонала

3. Обеспечение лабораторных исследований

Лаборатории Института оснащены необходимыми техническими средствами и оборудованием, прошедшим ежегодную метрологическую поверку. Для проведения лабораторных анализов применялись методики выполнения измерений, внесенные в Государственный Реестр Республики Казахстан.

Достоверность измерений обеспечивалась действующей в Институте системой менеджмента качества и системой экологиче-

ского менеджмента (ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO 19011-2011), а также имеющимся аттестатом аккредитации.

Список основного оборудования, обеспечившего проведение лабораторных работ в рамках комплексного экологического обследования, приведен в таблице (Таблица 0.2).

Таблица 0.2. Оборудование, использованное для проведения лабораторных работ

Вид оборудования	Назначение
Альфа-спектрометры с полупроводниковыми детекторами	Определение удельной активности $^{239+240}\text{Pu}$
Гамма-спектрометры с полупроводниковыми детекторами из сверхчистого германия	Определение удельной активности γ -излучающих радионуклидов
Жидкостные сцинтилляционные бета-спектрометры	Определение удельной активности β -излучающих радионуклидов
Сцинтилляционные бета-спектрометры	
Масс-спектрометры с индуктивно-связанной плазмой	Определение низкофоновых концентраций радионуклидов
Атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно-связанной плазмой	
Лазерный изотопный анализатор воды	Определение отношения стабильных изотопов $^2\text{H}/^{18}\text{O}$
Прибор для получения особо чистой воды (деионизатор)	Для получения особо чистой воды
Аквадистиллятор медицинский электрический	Производство дистиллированной воды
Мешалка лабораторная	Перемешивание жидких образцов в конических колбах
Орбитальный шейкер	Перемешивание жидких образцов в конических колбах
Центрифуга лабораторная	Разделение неоднородных жидких систем
Электрические нагревательные платформы	Нагрев жидкостей (растворов) и поддержание температуры
Плиты с керамической платформой	Нагрев, выпаривание и высушивание проб

Вид оборудования	Назначение
рН-метр S-220 Seven Compact	Измерение рН и окислительно-восстановительного потенциала
Печи муфельные	Озоление проб окружающей среды
Сушильные шкафы	Сушка, нагревание, термическая обработка в воздушной среде
Дисковые вибрационные мельницы	Измельчение
Весы лабораторные	Измерения массы веществ
Колбонагреватель	Дистилляция проб воды, почвы
Мешалки магнитные	Концентрирование проб
Морозильники	Хранение образцов при пониженной температуре
Холодильники	
Аналитическая просеивающая машина	Разделение почвы на фракции
рН-метр/иономер	Измерение рН
Спектрофотометры	Измерение коэффициента пропускания, оптической плотности
Барометр-анероид метеорологический	Измерение атмосферного давления

4. Методическое обеспечение работ по комплексному экологическому обследованию

Определение радиационного состояния почвенного покрова

Определение площадной активности радионуклидов в почве состояло из трех этапов: отбора проб почвы (поверхностного и послойного), подготовки отобранных проб к лабораторным анализам и определению содержания радионуклидов.

Отбор проб поверхностного слоя почвы выполнялся в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83 [218] в узловых точках сети обследования 1×1 км. Площадь отбора каждой точечной пробы почвы составляла 200 см², а глубина отбора – 5 см.

Послойный отбор проб почвы осуществлялся с шагом 0-3, 3-6, 6-9, 9-12, 12-15, 15-18, 18-21, 21-24, 21-27, 27-30, 30-35, 35-40, 45-50 см. В отдельных случаях, на малоразвитых почвах, интервалы составляли 0-2, 2-5, 5-10, 10-15 см. Площадь отбора каждого слоя в пределах исследовательской площадки составляла 200 см². Места отбора послойных проб почвы закладывались с учетом распределения почвенных контуров и охватывали все основные типы, подтипы и роды почв территории СИП

Определение активности радионуклидов ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am

Подготовка проб к определению активности гамма-излучающих радионуклидов ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am проходила из:

- высушивания пробы почвы до воздушно-сухого состояния;
- отделения включений (растительности и камней) от основной массы почвы;
- просеивания высушенной пробы через сито с размером ячеек 2×2 мм;
- отбора из общей пробы почвы методом квадратирувания усредненной навески массой 500–900 г и помещения ее в пластиковый контейнер;
- передачи пластикового контейнера с усредненной навеской на гамма-спектрометрический анализ.

Определение активности ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am в пробах почвы выполнялось с помощью полупроводниковых гамма-спектрометров согласно методике измерений на гамма-спектрометрах с использованием программного обеспечения «SpectraLine» [219].

Время измерения проб почвы составляло от 2 до 8 часов, в зависимости от активности измеряемого образца.

Определение активности радионуклидов ⁹⁰Sr и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu

Предварительная подготовка проб к определению содержания радионуклидов ⁹⁰Sr и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu состояла из следующих процессов:

- отбора навески почвы массой 150 г методом квадратирования из воздушно-сухого образца, прошедшего гамма-спектрометрическое измерение;
- истирания отобранной навески почвы на лабораторной мельнице до порошкообразного состояния;
- отбора навески почвы массой 60-70 г из образца почвы после истирания с последующим помещением в фарфоровый тигель;
- прокаливании навески в фарфоровом тигле в течение 8 часов в муфельной печи при температуре 550 °С для удаления органических веществ (фрагментов растений, животных и т.д.).

Определение активности $^{239+240}\text{Pu}$

Прокаленную и минерализованную пробу почвы, в которую предварительно, для учета потерь и контроля химического выхода, вносили радиоактивную метку – ^{242}Pu и носитель – хлорид иттрия (YCl_3). После этого пробу обрабатывали концентрированными растворами кислот (HF , HNO_3 , HCl) с получением азотно-кислого раствора кислотностью 3 моль/л, содержащего выделенные изотопы плутония и иттрия. Полученные растворы почвы пропускали через стеклянные колонки, заполненные фторопластовой стружкой с нанесенным на нее экстрагентом – триоктиламином. При этом изотопы плутония задерживались на колонках, а изотопы стронция-иттрия и других макропримесей проходили с элюирующим раствором (3М HNO_3). Затем изотопы плутония выделяли с ионообменных колонок с применением раствора растворителя – изопропилового спирта. Для подготовки спектрометрического источника соосаждали изотопы плутония с малорастворимым соединением – фторидом неодима (NdF_3). Полученный осадок закрепляли на мембранном фильтре.

Определение активности $^{239+240}\text{Pu}$ в подготовленных образцах выполнялось с помощью полупроводниковых альфа-спектрометров [221]. При этом, время измерений образцов зависело от активности источника и требуемой статистической точности. Среднее время экспозиции составляло 4 часа.

Определение активности ^{90}Sr

Изотопы иттрия разделяли с изотопами стронция с помощью осаждения малорастворимого соединения – фторида кальция (CaF_2). Полученный осадок отделяли от маточного раствора центрифугированием, растворяли при кипячении в слабом растворе соляной кислоты с концентрацией 0,5 моль/л и, с целью очистки от мешающих радионуклидов и матричных элементов, пропускали через стеклянные колонки, заполненные фторопластовой стружкой с нанесенным на нее экстрагентом – Ди-2-этил-гексил фосфорной кислотой (Д2ЭГФК). Изотопы иттрия элюировали при помощи соляной кислоты, с концентрацией 6 моль/л, и доочищали путем выделения из раствора малорастворимого гидроксида иттрия ($\text{Y}(\text{OH})_3$). Полученный осадок отделяли от маточного раствора и растворяли с помощью раствора 1М HNO_3 . Полученный раствор количественно переносят в сцинтилляционную вialу и измеряют активность ^{90}Y . Так как в анализируемых образцах существует радиоактивное равновесие между Sr-Y, то измеренная активность ^{90}Y равна активности ^{90}Sr .

Таким образом, определение активности ^{90}Sr в образцах проводилось путем прямого измерения удельной активности дочернего радионуклида ^{90}Y в растворе пробы по черенковскому излучению на жидко-сцинтилляционном спектрометре [220]. Время измерения образцов окружающей среды составляло 2 часа.

Определение радиационного состояния поверхностных и подземных вод

Пробы поверхностных вод отбирались из родников и поверхностных водоемов (озер, ручьев). Отбор проб поверхностных вод проводился в соответствии с общими требованиями к отбору проб СТ ГОСТ Р 51593-2003 [221], СТ РК ГОСТ Р 51592-2003 [222] и СТ РК 1545-2006 [223].

Пробы подземных вод отбирались из колодцев и скважин. Отбор проб подземных вод проводился в соответствии с общими требованиями к отбору проб СТ ГОСТ Р 51593-2003 [222], СТ РК ГОСТ Р 51592-2003 [223] и СТ РК ISO 5667-11-2012 [224].

Все пробы воды отбирались с помощью пробоотборника (ба-тометра), погружаемого в поверхностный водоем на заданную глубину. Проба отбиралась в пластиковые емкости объемом 0,02 л и 10 л. Образцы воды сразу после отбора отфильтровывались через фильтр «синяя лента» и подкислялись азотной кислотой до $\text{pH}=2-3$. Пробы воды, отобранные для определения содержания ^3H , не подкислялись, а сразу транспортировались в лабораторию и поступали на анализ. Подкисленные (законсервированные) пробы воды могли храниться до анализа не более 1 месяца.

Определение активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am

Перед проведением лабораторных измерений проводилась подготовка проб воды к определению активности гамма-излучающих радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am в соответствии с требованиями методики [225]. Для этого выполнялось химическое концентрирование определяемых радионуклидов из пробы воды объемом 10 л с помощью соответствующих реагентов (соосаждение ^{137}Cs осуществлялось на гексацианоферрате меди, соосаждение ^{241}Am – на гидроксиде железа).

Определение активности ^{137}Cs и ^{241}Am в пробах поверхностных и подземных вод выполнялось с помощью полупроводниковых гамма-спектрометров согласно методике измерений на гамма-спектрометрах с использованием программного обеспечения «SpectraLine» [220]. Время измерения варьировало от 2 до 8 часов, и зависело от активности измеряемой пробы воды.

Определение активности радионуклидов ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$

Подготовка проб поверхностных и подземных вод, отобранных на полигоне, к определению активности радионуклидов ^{90}Sr

и $^{239+240}\text{Pu}$ также проводилась в соответствии с требованиями методики [226].

Выполнялось химическое концентрирование определяемых радионуклидов из пробы воды объемом не менее 10 л с помощью соответствующих реагентов (соосаждение $^{239+240}\text{Pu}$ производилось на гидроксиде железа, соосаждение ^{90}Sr – с карбонатом кальция).

Определение активности ^{90}Sr в пробах поверхностных и подземных вод проводилось по дочернему продукту ^{90}Y с помощью жидкостного сцинтилляционного бета-спектрометра согласно методике измерений активности радионуклидов [226]. Время измерения каждой пробы воды составляло 2 часа.

Определение активности $^{239+240}\text{Pu}$ в счетных образцах выполнялось с помощью полупроводниковых альфа-спектрометров согласно методике определения удельной активности искусственных радионуклидов в объектах окружающей среды [226]. Время измерений зависело от активности источника и требуемой статистической точности. Среднее время измерения каждой пробы воды составляло 4 часа.

Определение активности радионуклида ^3H

Подготовка проб воды к определению содержания радионуклида ^3H проводилась с использованием рекомендаций международного стандарта ISO 9698:2019 (E) [9] по следующей схеме:

– дистилляция проб воды с помощью ротационного испарителя для очистки образцов от мешающих бета-излучающих радионуклидов и соединений, являющихся помехами при проведении сцинтилляционных измерений;

– смешивание очищенного от примесей образца (аликвоты) воды объемом 3 мл со сцинтилляционным коктейлем в пропорции 1:3 (отношение образец – сцинтиллятор).

Определение содержания ^3H в пробах поверхностных и подземных вод проводилось с помощью жидко-сцинтилляционного

бета-спектрометра с использованием международного стандарта ISO 9698:2019 [227]. При этом, время экспозиции одной пробы составляло 10 часов.

Определение радиационного состояния атмосферного воздуха

Определение среднегодовой объемной активности радионуклидов, образованных в результате проведения ядерных испытаний, в атмосферном воздухе производилось двумя способами: расчетным методом и методом определения разовой объемной активности.

Расчетный метод определения среднегодовой объемной активности радионуклидов в атмосферном воздухе расчетным методом

Для определения среднегодовой объемной активности радионуклидов в атмосферном воздухе расчетным методом отбирались точечные пробы почвы в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83 [219]. Площадь отбора каждой точечной пробы почвы составляла 100 см², а глубина отбора – 5 см.

Подготовка проб почвы к определению содержания радионуклидов

Гранулометрическое фракционирование

Для разделения почвы на гранулометрические фракции последовательно использовали два метода: «мокрый» ситовой рассев и седиментация.

«Мокрый» рассев. Пробу почвы массой 600 г смачивали дистиллированной водой и растирали в фарфоровой ступке с применением пестика с резиновым наконечником. Полученную почвенную суспензию порционно переносили на колонку сит с размером ячеек 250, 40 мкм, размещенных в порядке уменьшения

отверстий сверху вниз. Таким образом, методом «мокрого» ситового отсева были выделены фракции 1000-40 мкм. Фракцию, прошедшую через сито с размером отверстий 40 мкм, далее подвергали седиментационному анализу.

Седиментационный анализ. Почвенную суспензию, полученную после ситового отсева, переносили в мерный цилиндр объемом 1 л (высота водного столба составляла 352 см), взбалтывали до полного взмучивания осадка со дна и отстаивали в течение необходимого количества времени. По истечении времени отстаивания надосадочную суспензию сливали декантацией, а осадок со дна собирали в отдельную емкость вместе с фракцией 1000-40 мкм, высушивали и взвешивали. Время отстаивания суспензии составляло в среднем 17 минут и корректировалось в зависимости от температуры суспензии согласно стандартной методике [227]. Не осевшие частицы в декантированной суспензии отделяли центрифугированием. Фракцию после центрифугирования переносили в фарфоровую чашку, высушивали и взвешивали.

Методы определения активности радионуклидов ^{137}Cs , ^{241}Am , ^{137}Cs и ^{241}Am происходило в точности с процессами, описанными в подразделе «Определение радиационного состояния почвенного покрова» (ПРИЛОЖЕНИЕ 2), согласно методикам [220, 221].

Определение разовой объемной активности радионуклидов в атмосферном воздухе

Отбор проб атмосферного воздушных аэрозолей выполнялся в соответствии с ГОСТ 17.2.3.01-86 [11] и проводился на высоте 1,5 м от поверхности земли. При этом место отбора проб воздуха выбиралось на открытой, проветриваемой со всех сторон площадке с твердым грунтом с целью исключения искажения результатов измерений наличием зеленых насаждений. Для определения степени загрязнения атмосферного воздуха радиоактивными

аэрозолями отбор проб проводился аспирационным методом с помощью фильтровентиляционной установки через тонковолокнистый фильтр Петрянова в соответствии с СТ РК СТБ 1058-2006 [229]. Фильтровентиляционная установка обеспечивала производительность 1500 м³/ч, средний объем прокачиваемого воздуха через фильтр составлял 3700 м³ ($3,7 \times 10^6$ л).

Определение активности радионуклидов ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am

Пробу воздушных аэрозолей озоляли в муфельной печи в течение 6 часов при температуре 390 °С.

Затем озоленную пробу воздуха взвешивали, помещали в пластиковую емкость объемом 5 мл и передавали на гамма-спектрометрические измерения.

Определение активности ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am в пробах выполнялось с помощью полупроводниковых гамма-спектрометров, согласно методике [230]. Время измерения проб воздуха составляло от 4 часов, в зависимости от активности измеряемого образца.

Определение активности радионуклидов ⁹⁰Sr и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu

Перед проведением радиохимического анализа на определение активности ²³⁹⁺²⁴⁰Pu и ⁹⁰Sr пробы воздушных аэрозолей проходили предварительную подготовку. Каждая проба доозолялась в муфельной печи в течение 5-6 часов при температуре 550 °С, после чего проба в виде золы взвешивалась, тщательно перемешивалась и делилась на две равные части, из которых одна часть направлялась на радиохимическое выделение ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, другая – на радиохимическое выделение ⁹⁰Sr.

Определение активности ⁹⁰Sr

В навеску зольной пробы вносился раствор стабильного стронция, после чего образец обрабатывали при нагревании 6М раствором HCl, с добавлением небольшого количества H₂O₂ для извлечения изотопов стронция в раствор.

Радиохимическая очистка и выделение изотопов стронция из кислотного выщелата проводилась путем последовательного осаждения коллекторов (гидроксида железа и карбоната стронция). Фракция, содержащая выделенные изотопы стронция, выдерживалась в течение двух недель для накопления дочернего радионуклида – ^{90}Y . После достижения радиоактивного равновесия иттрий отделялся от материнского радионуклида осаждением в виде гидроксида $\text{Y}(\text{OH})_3$, переводился в 1М солянокислый раствор и переносился в полиэтиленовую вialу для последующего измерения активности ^{90}Y на жидко-сцинтилляционном спектрометре.

Время измерения каждой пробы воздушных аэрозолей составляло 2 часа.

Определение активности $^{239+240}\text{Pu}$

В подготовленную навеску зольной пробы вносили изотопную метку ^{242}Pu , затем навеску обрабатывали при нагревании концентрированными растворами фтористоводородной и азотной кислот и их смесями до полного растворения почвенной матрицы и перевода изотопов плутония в растворенное состояние.

Изотопы плутония стабилизировали в IV-валентном состоянии и пропускали через ионообменные колонки, заполненные сильноосновным анионитом для удаления макро- и микроэлементов, примесей других альфа-излучающих радионуклидов. Далее изотопы плутония выделяли из полученного кислотного раствора на диски из нержавеющей стали с помощью электролизной установки и передавали на альфа-спектрометрические измерения.

Определение активности $^{239+240}\text{Pu}$ в счетных образцах выполнялось с помощью полупроводниковых альфа-спектрометров аналогично методике определения удельной активности искусственных радионуклидов в объектах окружающей среды [221].

Время измерений зависело от активности источника и требуемой статистической точности. Среднее время экспозиции составляло 4 часа.

Определение радиационного состояния растительного мира

Пробы растений представляли собой смешанные образцы или же отдельные виды растений, составляющие основу кормового рациона животных на территории СИП.

Отбор проб растений производился с участка площадью 2-4 м², в зависимости от плотности произрастания и продуктивности растений. Масса каждой отобранной пробы растений составляла не менее 300 грамм. Надземная часть травянистых растений срезалась на высоте до 3 см над поверхностью почвы, крупнотравье – на высоте до 6 см, у полукустарников срезался прирост текущего года.

Определение активности радионуклидов ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am

Подготовка проб растений к анализам для определения активности радионуклидов состояла из следующих этапов:

- промывки проб растений проточной водой для удаления внешних загрязнений;
- высушивания пробы растений при температуре 100±2 °С в течение 3-5 часов до полного высыхания;
- обугливания пробы растений путем прокаливания на электроплите при начальной температуре 150–250 °С под вытяжным шкафом или в муфельной печи при температуре 400 °С при периодическом помешивании до получения белого или светло-серого цвета золы;
- измельчения озоленной пробы до порошкообразного состояния и помещения ее в пластиковый контейнер;
- передачи пластикового контейнера с усредненной навеской на гамма-спектрометрический анализ.

Определение активности ^{137}Cs и ^{241}Am в пробах выполнялось с помощью полупроводниковых гамма-спектрометров согласно методике [231]. Время измерения проб растений составляло от 4 часов, в зависимости от активности измеряемой пробы.

Определение активности радионуклидов $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{90}Sr

Определение активности радионуклидов $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{90}Sr в пробах проводилось согласно методике измерений активности радионуклидов [221].

Предварительная подготовка проб растений для определения активности $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{90}Sr состояла из следующих этапов:

- отбора навески растений методом квадратирувания из образца, прошедшего гамма-спектрометрическое измерение с последующим помещением в лабораторную фарфоровую чашку;
- прокаливанию навески в фарфоровой чашке в течение длительного времени (от 32 до 96 ч и более) в муфельной печи при температуре $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ для удаления органического вещества;
- просеивания озоленной пробы растений для удаления примесей (уголь, песок) и определения коэффициента озоления пробы;
- отбора навески золы необходимой массы в стеклянный сосуд для передачи на радиохимическое выделение $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{90}Sr .

Определение активности ^{90}Sr в образцах, прошедших радиохимический анализ, выполнялось с помощью жидкостного сцинтилляционного бета-спектрометра, при этом время измерения составляло 2 часа.

Определение активности $^{239+240}\text{Pu}$ в счетных образцах, подготовленных в результате проведения радиохимического анализа, выполнялось с помощью полупроводниковых альфа-спектрометров. Время измерения варьировало в зависимости от активности пробы растения и, в среднем, составляло 4 часа.

Работы по определению радиационного состояния животного мира

Определение активности исследуемых радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr осуществлялось двумя способами: экспериментальным методом и расчетным методом.

Экспериментальное определение удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в мышечных тканях (в мясе) животных

Отбор проб мышечных тканей (мяса) животных выполнялся в соответствии с общими требованиями к отбору проб СТ РК 1510-2006 [231].

Определение активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr

Определение активности радионуклидов $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{90}Sr в пробах проводилось согласно методике измерений активности радионуклидов

Определение активности ^{137}Cs

Подготовка проб мяса состояла из следующих пунктов:

- формирования объединенной пробы мышечной ткани массой не менее 1000 г из точечных цельнокусковых проб массой не менее 200 г;
- измельчения объединенной пробы мяса (с предварительным удалением включений жира и сухожилий) на мясорубке с отверстиями решетки не более 4 мм и тщательного перемешивания полученной массы;
- просушивания измельченной пробы при 105 ± 2 °С в течение 24–40 часов (в зависимости от влажности образца и его массы), до полного высыхания;
- измельчения высушенной пробы на лабораторной мельнице до однородного состояния;
- обугливания измельченной высушенной пробы в фарфоровой чашке путем прокаливания при температуре 400 °С;

– растирания охлажденной обугленной пробы в фарфоровой чашке при помощи пестика до однородного состояния и последующего помещения в предварительно взвешенный пластиковый контейнер с передачей на гамма-спектрометрический анализ.

Определение активности ^{137}Cs в пробах выполнялось с помощью полупроводниковых гамма-спектрометров согласно методике [231]. Время экспозиции проб мяса, в среднем, составляло от 4 часов, и зависело от активности измеряемой пробы.

Определение активности ^{90}Sr

Подготовку проб животного происхождения для радиохимического анализа для определения ^{90}Sr выполняют в соответствии с МВИ [232].

Предварительная подготовка проб животного происхождения для определения активности ^{90}Sr состояла из следующих этапов:

– отбора навески методом квадратирувания из обугленного образца, прошедшего гамма-спектрометрическое измерение с последующим помещением в лабораторную фарфоровую чашку;

– прокаливания навески в фарфоровой чашке в течение длительного времени (от 32 до 96 ч и более) в муфельной печи при температуре $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ для удаления органического вещества;

– просеивания озоленной пробы через сито с диаметром ячейки $0,1\text{ мм}$ для удаления примесей (уголь, песок) и определения коэффициента озоления пробы;

– отбора навески золы необходимой массы в стеклянный сосуд для передачи на радиохимическое выделение ^{90}Sr .

Определение активности ^{90}Sr в пробах проводилось по дочернему продукту ^{90}Y с помощью сцинтилляционных бета-спектрометров согласно методике измерений активности радионуклидов [221].

Время экспозиции каждой пробы составляло 2 часа.

Определение удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в мышечных тканях (в мясе) животных расчетным методом

Для определения удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в мышечных тканях животных расчетным методом использовались фекалии копытных животных, отобранных на территории СИП.

Отбор проб фекалий выполняется в соответствии с ГОСТ 27262-87 [233].

Подготовка проб фекалий животных к определению содержания радионуклидов происходила следующим образом:

- пробу фекалий высушивали до воздушно-сухого состояния при температуре 100 ± 2 °С в течение 3–5 часов, до полного высыхания;
- высушенную пробу помещали в фарфоровую чашку для последующего обугливания при температуре 350–400 °С;
- охлажденную обугленную пробу растирали при помощи пестика либо на лабораторной мельнице до однородного состояния.

Определение активности ^{137}Cs и ^{241}Am

Отбирали навеску достаточной массы из обугленной пробы фекалий, помещали в предварительно взвешенный пластиковый контейнер с последующей передачей на гамма-спектрометрическое измерение.

Определение активности ^{137}Cs и ^{241}Am в пробах выполнялось с помощью полупроводниковых гамма-спектрометров согласно методике [230].

Время экспозиции проб, в среднем, составляло 4 часа, в зависимости от активности измеряемой пробы.

Определение активности ^{90}Sr

Подготовку проб фекалий к определению содержания радионуклидов ^{90}Sr выполняют в соответствии с методикой [221].

Предварительная подготовка проб животного происхождения для определения активности ^{90}Sr состояла из:

- отбора навески растений методом квадратирования из образца, прошедшего гамма-спектрометрическое измерение с последующим помещением в лабораторную фарфоровую чашку;
- прокаливания навески в фарфоровой чашке в течение длительного времени (от 32 до 96 ч и более) в муфельной печи при температуре 550 °С для удаления органического вещества;
- просеивания озоленной пробы растений для удаления примесей (уголь, песок) и определения коэффициента озоления пробы;
- отбора навески золы необходимой массы в стеклянный сосуд для передачи на радиохимическое выделение ^{90}Sr .

Определение активности ^{90}Sr в образцах фекалий, прошедших радиохимический анализ, выполнялось с помощью жидкостного сцинтилляционного бета-спектрометра, при этом время измерения составляло 2 часа.

Контроль качества результатов лабораторного анализа

В лабораториях Института разработана и успешно функционирует система обеспечения контроля качества результатов анализов. Ее обязательной частью является поверка средств измерений, аттестация испытательного оборудования, планово-предупредительный ремонт основного и вспомогательного оборудования, актуализация методик, использование аттестованных методик.

Согласно порядку проведения работ, производился контроль на всех стадиях работы с каждой пробой – с момента ее принятия в лабораторный корпус Института до получения результатов измерений. Соблюдение всех процедур обеспечивало разделение проб по их активности и недопущение перекрестного радиоактивного загрязнения проб в процессе работы.

В Институте проводился и оперативный контроль качества полученных результатов. Он осуществлялся на основе контрольных измерений, выполненных для отдельно взятой контрольной пробы (контроль воспроизводимости) или повторного анализа рабочей пробы (контроль сходимости). Так, контроль сходимости результатов измерений проводился в одной серии с рабочими пробами – для каждой 10-й пробы. Для проверки воспроизводимости результатов анализировались стандартные образцы МАГАТЭ, представляющие собой объекты окружающей среды, с периодичностью, согласно плану проведения работ. Кроме того, в каждой партии проб для контроля чистоты и отсутствия перекрестного загрязнения проб используется так называемая «холостая» проба, представляющая собой радиоактивно незагрязненный объект окружающей среды.

Контроль результатов воспроизводимости и точности анализа стандартных образцов представлен в таблице (таблица 1.2).

Таблица 0.4. Результаты контроля воспроизводимости и точности результатов лабораторного анализа

Вид анализа	Гамма-спектрометрический анализ	Радиохимическое определение ^{90}Sr	Радиохимическое определение $^{239+240}\text{Pu}$
Среднее отклонение, %	16	14	7

В 2019 г. были проведены межлабораторные сравнительные испытания с аккредитованным центром «Центр комплексных экологических исследований» РГП «Институт ядерной физики» и аккредитованным испытательным центром ТОО «ЭкоЭксперт». Данные испытания проводились в соответствии с требованиями СТ РК ИСО/МЭК 43-1-2003. Контрольные образцы на определение искусственных радионуклидов ^{241}Am , ^{152}Eu , ^{60}Co , ^{90}Sr в почвогрунтах представляли собой высокоомогенизированные сухие образцы в количестве 3 штук. Результаты межлабораторного контроля показали, что отклонение результатов

по ^{241}Am не превышает 5 %, по ^{152}Eu – 8 %, по ^{60}Co – 2 %, по ^{90}Sr – 9 %. Полученные результаты соответствуют нормативу воспроизводимости, рассчитанному по результатам межлабораторных сравнительных испытаний. При расчете учитывалось допустимое расхождение результатов (установленное стандартное отклонение) для определяемых показателей, используемой методики, равное 20 %.

В 2020 году Институт принимал участие в межлабораторных сравнительных испытаниях, провайдером которых выступал ТОО «ИЦ Агростандарт-XXI век». Результаты показали в пределах норм, т.е. «хорошо».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проведение комплекса научно-технических и инженерных работ по приведению бывшего Семипалатинского испытательного полигона в безопасное состояние / Н. А. Назарбаев, В. С. Школьник, Э. Г. Батырбеков, С. А. Березин, С. Н. Лукашенко, М. К. Скаков. – Курчатov, 2016. – 320 с. – ISBN 978-9965-675-93-5.
2. Ядерные испытания СССР [Технологии ядерных испытаний СССР. Воздействие на окружающую среду. Меры по обеспечению безопасности. Ядерные полигоны и площадки] / под ред. В. Н. Михайлова, В. В. Адушкина, И. А. Андрушина [и др.]. –Т.2. – М: Bell-Atom, LLC-издание, 1997. – 302 с.
3. Ядерные испытания СССР. Семипалатинский полигон. Факты. Свидетельства. Воспоминания. Обеспечение общей и радиационной безопасности ядерных испытаний /под ред. В. А. Логачева, Н. П. Волошина, А. К. Гуськова и др. – Москва: Медбиоэкстрем, 1997. – 319 с.
4. Акчурин И.А. Семипалатинский ядерный полигон. Создание, становление, деятельность / И. А. Акчурин – М.: Голден-Би, 2007. – 258 с.
5. Семипалатинский испытательный полигон. Современное состояние / под ред. Э. Г. Батырбекова, С. Н. Лукашенко. – Изд. 3-е, перер. и доп. – Павлодар: ТОО «Дом печати», 2018. – 52 с.
6. Атомный проект СССР. Документы и материалы. Атомная бомба 1945-1954. / под общ. ред. Л. Д. Рябева; отв.сост. Г. А. Гончаров. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2006. - Т. 2. – книга 6. - 896 с.
7. Валынкин, И.Н. Создание Семипалатинского полигона и первое испытание ядерного оружия / И. Н. Валынкин // Атомная энергия. – 1999. – Т.87. – Вып.6.– С.426-432.
8. Ядерные испытания СССР: современное радиоэкологическое состояние полигонов. Факты. Свидетельства. Воспоминания/ под рук. В. А. Логачева. – Москва: ИздАТ, 2002. – 652 с. – ISBN 5-86656-135-2.
9. Указ Президента Казахской Советской Социалистической Республики от 29 августа 1991 года № 409 «О закрытии Семипалатинского испытательного ядерного полигона».
10. Оценка биологических последствий воздействия ядерных испытаний на природные популяции растений и животных за 1994-1999 гг.: отчет о НИР «Биолог» (заключительный) / ДГП «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК; рук. Ахметов М. А.; исполн. рук. работ Сейсебаев А. Т. – Курчатov, 1999. – 175 с.

11. Оценка радиоэкологической обстановки на территории Семипалатинского испытательного полигона и прилегающих к нему регионов: годовой отчет «Полигон» / ДГП «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК; рук. Смагулов С. Г. – Курчатов, 1996. – 79 с.

12. Научно-техническая деятельность Института радиационной безопасности и экологии в 1996 году (Разработка и внедрение природоохранных мероприятий на радиоактивно загрязненных территориях и предложений по использованию этих территорий в народном хозяйстве): отчет о НИР (аннотационный) / Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК; рук. Смагулов С. Г. – Курчатов, 1996. – С.19-22.

13. Изыскание новых эффективных радиопротекторов и агентов, модифицирующих действие радиоактивных излучений за 1994-1998: отчет о НИР «Протектор» (заключительный) / ДГП «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК; рук. Ахметов М. А.; исполн. рук. работ Сейсебаев А. Т. – Курчатов, 1999. – 107 с.

14. Оценка радиологической обстановки и мониторинг на территории СИП и прилегающих к нему регионов. Разработка природоохранных мероприятий (Изучение площадного загрязнения отдельных участков полигона): отчет о НИР (информационный за 2002 г.) / ДГП «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК; рук. Артемьев О. И. – Курчатов, 2002. – 11 с.

15. Сбор и обобщение имеющихся материалов по радиоактивному загрязнению природной среды в местах проведения ядерных взрывов, прилегающих к ним регионам, а также в ареалах, примыкающих к естественным и техногенным радиоактивным объектам. Составление радиологических карт: отчет о НИР «Ареал» (аннотационный за 1994–1998гг.) / ДГП «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК; рук. Ахметов М. А.; исполн. рук. работ Артемьев О. И. – Курчатов, 1998 – 11 с.

16. Научно-техническая деятельность Института радиационной безопасности и экологии в 1998 году (Разработка биотехнологических методов очистки почвы и воды, загрязненных радионуклидами на территории бывшего СИП): отчет о НИР (информационный) / ДГП «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК; рук. Ахметов М. А. – Курчатов, 1998. – С. 40-42.

17. Дифференциация территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП) с точки зрения ее хозяйственного использования за 1998-1999 гг.: отчет о НИР (заключительный) / ДГП «Институт радиаци-

онной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК; рук. Ахметов М. А.; исполн. рук. работ Стрильчук Ю. Г. – Курчатов, 1999. - 12 с. – Библиогр.: с 11.

18. Артемьев, О.И. Современная радиационная обстановка на Семипалатинском испытательном полигоне/ О. И. Артемьев, Ю. Г. Стрильчук, К. Ш. Жумадилов, В. Н. Ларин// Вестник НЯЦ РК. – 2000. – Вып. 3. – С. 35-44.

19. Анатомо-морфологические особенности растений в условиях радиоактивного загрязнения: отчет о НИР / Каз.НУ им. Аль-Фараби; исполн. Айдосова С. С. [и др.]. – Алматы, 2002. – 23 с. – Библиогр.: с. 18.

20. Оценка радиологической обстановки и мониторинг на территории Семипалатинского испытательного полигона и прилегающих к нему регионов. Разработка природоохранных мероприятий (Оценка радиоактивного загрязнения почвенно-растительного покрова и цитогенетический мониторинг): отчет о НИР (информационный за 2002 г.) / ДГП «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК; рук. Ахметов М. А. – Курчатов, 2002. – 25 с.

21. Проведение средне- и мелкомасштабного площадного обследования территории полигона: отчет о НИР (заключительный) / ДГП «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК; рук. Лукашенко С. Н.; испол. рук. работ Стрильчук Ю. Г. – Курчатов, 2006. – 35 с. – Библиогр.: с. 30-31.

22. Научно-техническая деятельность Института радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, выполнено по НТП 0346 «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» (Комплексная оценка воздействия бывшего СЯП на окружающую среду): отчет о НИР (аннотационный за 2004 г.) / ДГП «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК; рук. Птицкая Л. Д. – Курчатов, 2004. – 31 с.

23. Комплексное изучение миграции радионуклидов в почве, воде, растениях, животных и влияние малых хронических доз радиации на биологические объекты в местах водопроявлений штолен горного массива: отчет о НИР за 2007-2008 (заключительный) / ДГП «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК; рук. Лукашенко С. Н.; исполн. рук. работ Паницкий А. В. – Курчатов, 2008. – 67 с. – Библиогр.: с. 66-67.

24. Алексеев, В. В. Во имя ядерного щита страны / В. В. Алексеев // История атомного проекта/ Курчатовский институт. М.: ГНЦ-КИ, 1995. – Вып. 3.– С. 57-102.

25. Андрюшин, И. А. Общие характеристики и некоторые вопросы экологических последствий ядерных испытаний СССР / И. А. Андрюшин,

Р. И. Илькаев, А. К. Чернышев // Труды РФЯЦ-ВНИИЭФ: научно-исследовательское издание. – Саров, 2001. – Том 1. – 637 с.

26. Испытания ядерного оружия и ядерные взрывы в мирных целях СССР. 1949-1990 гг. / под ред. В. Н. Михайлова; ред. кол. И. А. Андришин, В. В. Богдан, С. А. Ващинкин. и др. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1996. – 66 с. – ISBN 5-85165-062-1.

27. Сайбеков, Т. С. Радиоэкологическая обстановка на территории Республики Казахстан с 1954 по 1994 годы. Семипалатинская область: атлас / Т. С. Сайбеков, Ж. А. Абылаев. – Алматы: Министерство экологии и биоресурсов РК, 1997. – Т.16. – 400 с.

28. Ядерные испытания СССР. Гидроядерные эксперименты. Инвентаризация затрат плутония. / Кол. авторов под рук. В. Н. Михайлова. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1998. – 358 с.

29. Стратегическое ядерное вооружение России / Кол. авторов под ред. П. Л. Подвига. – М.: ИздАТ, 1998 – 492 с.

30. Договор о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере, в космическом пространстве и под водой [Электронный ресурс] / МИД РФ. – Москва, 1963. – 5 августа. – Режим доступа: https://www.mid.ru/adenное-nerasprostranenie/-/asset_publisher/JrcRGi5UdnBO/content/id/609152.

31. Оптимизация исследований территорий Семипалатинского испытательного полигона с целью их передачи в хозяйственный оборот [Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана] / под рук. Лукашенко С. Н. – Павлодар: ТОО «Дом печати», 2015. – Вып. 5. – 357 с. – ISBN 978-601-7112-99-8.

32. Коровикова, Т.В. Влияние проведенных работ по созданию дополнительной защиты / Т. В. Коровикова, В. Н. Дмитропавленко, Е. В. Мустафина, А. Ю. Осинцев, Ю. Ю. Яковенко //Сб. тр. Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011-2012 гг. [Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана]. – Павлодар: ТОО «Дом печати», 2013. – Вып.4. – т.1. – С. 257-314.

33. Обеспечение безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона [Республиканская бюджетная программа 011 «Обеспечение радиационной безопасности»]: информационный отчет / ДГП «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК; рук. Птицкая Л. Д. – Курчатов, 2005. – 57 с.

34. Ядерные испытания СССР. Мирные ядерные взрывы. Обеспечение общей и радиационной безопасности при их проведении. Факты. Сви-

детельства. Воспоминания /кол. авторов под рук. профессора В. А. Логачева. – М.: ИзДАТ, 2001. – 519 с.

35. Андрюшин, И. А. Укрощение ядра. Страницы истории ядерного оружия и ядерной инфраструктуры СССР/ И. А. Андрюшин, А. К. Чернышев, Ю. А. Юдин; гл. ред. Р. И. Илькаев// Аналитический центр по проблемам нераспространения. – Саров, 2003. – 481 с.

36. Яблоков, А. В. Миф о безопасности и эффективности мирных подземных ядерных взрывов/ А. В. Яблоков. – М.: ЦЭПР, 2003. – 175 с.

37. Радиоэкологические последствия испытаний БРВ на Семипалатинском полигоне: Бюллетень по атомной энергии/ ЦНИИ упр., экономики и информ. Росатома – М: Атомиум, 2002. – №12.

38. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана. Сборник трудов Национального ядерного центра РК за 2010 г. / под ред. С. Н. Лукашенко. – Павлодар: ТОО «Дом печати», 2011. – Вып. 3. – Том 1. – 431 с.

39. Мясников, К. В. Механическое действие одиночных и групповых подземных ядерных взрывов на выброс и исследование инженерно-технических свойств выемок этих взрывов: сб. «Атомные взрывы в мирных целях»/ К. В. Мясников, Л. Б. Прозоров, И. Я. Ситников// под ред. И. Д. Морехова. – М.: Атомиздат, 1970. – С. 52-56.

40. Семипалатинский полигон. Создание, Деятельность, Конверсия. / под ред. профессора В. С. Школьника. – Алматы, 2003. – 344с.

41. Радиоактивные выпадения от ядерных взрывов. / перевод с англ.; под ред. Ю. А. Израэля. – М.: Мир, 1967. – 342 с.

42. Гусев, Н. Г. Радиационные характеристики продуктов деления. Справочник/ Н. Г. Гусев, П. М. Рубцов, В. В. Коваленко и др. – М.: Атомиздат, 1974. – 223 с.

43. Гигиенические нормативы «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности». – взамен Гигиенические нормативы «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности РК» № 201 от 03.02.2012; утв. приказом Министра нац. экономики Республики Казахстан от 27.02.2015. – № 155. – 112 с.

44. Sources and Effects of Ionizing Radiation: Report/ United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. – New York, 1977. – 725 p.

45. Carbaugh, E.H. Methods and Models of the Hanford Internal Dosimetry Program/ E. H. Carbaugh, D. E. Bihl, J. A. MacLellan. // Pacific Northwest National Laboratory Richland. – Washington, 2009. – 440 p.

46. Приказ Министра энергетики РК от 16 марта 2015 года № 202 «Об утверждении критериев оценки экологической обстановки территорий» (с изм. и доп. от 07.12.2017 г.). – Инф. система «Параграф». – 36 с.
47. Бекман, И. Н. Плутоний. Учебное пособие / И. Н. Бекман. – М.: МГУ им. М. В. Ломоносова, 2010. – 165 с.
48. Почвы Казахской ССР. Павлодарская область. – Алма-Ата: Наука, 1960. – 256 с.
49. Вернер, Дж. Д. Радиационное загрязнение почв Семипалатинского испытательного полигона и возможности их реабилитации / Дж. Д. Вернер, Р. Ю. Магашева, Г. Н. Якунин // Здоровье человека и окружающая среда: материалы конф., 2001г. – Бишкек, 2001. – С. 30-36.
50. Магашева, Р. Ю. Характер радиоактивного загрязнения почвенного покрова СИП / Р. Ю. Магашева, А. В. Паницкий, А. М. Кабдыракова // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2010. – № 3 (14). – С.54 -63.
51. Магашева, Р. Ю. Характеристика почвенно-растительного покрова испытательной площадки «Дегелен» / Р. Ю. Магашева, Б. М. Султанова, А. В. Паницкий // Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011-2012 гг. [Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана] / под ред. Лукашенко С. Н. – Павлодар: ТОО «Дом печати», 2013. – Т.2. – Вып. 4. – С. 287-310. – ISBN 978-601-7112-74-5.
52. Паницкий, А. В. Особенности вертикального распределения радионуклидов в почвах бывшего Семипалатинского полигона / А. В. Паницкий, С. Н. Лукашенко, Р. Ю. Магашева // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10 (часть 10). – С. 2231-2236.
53. Паницкий, А. В. Особенности вертикального распределения радионуклидов в почвах условно-чистой территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона / А. В. Паницкий, С. Н. Лукашенко, Р. Ю. Магашева // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2016. – Том 56. – №6. – С. 623-638.
54. Активность радионуклидов в счетных образцах. Методика измерений на гамма-спектрометрах с использованием программного обеспечения «SpectraLine». – Введ. 2015-03-31 № KZ.07.00.03126-2015. – Менделеево: ТОО «ЛСРМ», 2014. – 27 с.
55. Методика определения содержания искусственных радионуклидов плутония-(239-240), стронция-90 в объектах окружающей среды (почвах, грунтах, донных отложениях и растениях): утв. и.о. ген. Ди-

ректора РГП ИЯФ 10.10.2016: зарегистр. в реестре ГСИ РК 24.11.2016. № KZ.07.00.03445-2016. – Алматы: РГП ИЯФ РК, 2010. – 26 с.

56. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments: Technical reports/ Vienna: International Atomic Energy Agency, 2010. – 208 p. – ISSN 0074–1914 no. 472.

57. Павлоцкая, Ф. И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах. / Ф. И. Павлоцкая. – М.: Атомиздат, 1974. – 215 с.

58. Михайловская, Л. Н. Миграция и трансформация физико-химических форм радионуклидов аварийных выпадений ЧАЭС в почвах и лесных подстилках/ Л. Н. Михайловская // Проблемы радиоэкологии и пограничных дисциплин. – Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 1999. – Вып. 2. – С. 290-322.

59. Пономарева, В. В. Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения)/ В. В. Пономарева, Т. А. Плотникова. – Л.: Наука, 1980. – С. 66.

60. Израэль, Ю. А. Радиоактивное загрязнение природных сред при подземных ядерных взрывах и методы его прогнозирования/ Ю. А. Израэль, В. Н. Петров, А. Я. Прессман, Ф. Я. Ровинский, Е. Д. Стукин, А. А. Тер-Сааков; под ред. Ю. А. Израэля. - Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1970. – 67 с.

61. Израэль Ю. А. Изотопный состав радиоактивных выпадений/ Ю. А. Израэль. – Л.: Гидрометеоздат, 1973. – 109 с.

62. Ларионова, Н. В. Поступление радионуклидов из почвы в растения в зоне радиоактивных выпадений при прохождении радиоактивного облака («след» от взрыва 1953 года.) / Н. В. Ларионова, С. Н. Лукашенко, А. Б. Янкаускас, А. Р. Иванова // Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011-2012 гг. [Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана] / под ред. С. Н. Лукашенко – Павлодар: ТОО «Дом печати», 2013. – Вып. 4. – Т.2. – С. 159 – 166.

63. Сидоренко, А. В. Гидрогеология СССР. Карагандинская область / А. В. Сидоренко. – М.: Изд-во «Недра», 1970. – Том XXXIV – 563 с.

64. Государственная геологическая карта СССР. Серия Чингиз-Саурская лист М-43-ХVIII / сост.: В. Я. Глухенький, В. П. Пахолук, А. Д. Магеррамов, Т. К. Лобачева / Мин. геологии СССР. – М., 1987. – 95 с.

65. Гидрогеологическая карта СССР. Серия Чингиз-Саурская лист М-43-ХVIII (объяснительная записка) / сост.: А. Д. Магеррамов, В. Я. Глухенький / Мин. геологии СССР. – М., 1989. – 63 с.

66. Государственная геологическая карта СССР. Серия Чингиз-Саурская лист М-44-ХІХ масштаба 1:200 000 (объяснительная записка)/ сост.: С. С. Кузьмин, А. В. Сополев, А. Х. Кагарманов / Мин. геологии СССР. – М., 1981. – 113 с.

67. Государственная геологическая карта СССР. Серия Чингиз-Саурская лист М-43-XXIV (объяснительная записка) / сост.: И. Ф. Никитин, В. Я. Глухенький / Мин. геологии СССР. – М., 1986. – 98 с.

68. Кузнецов, А. П. Гидрогеология СССР/ А. П. Кузнецов. – М.: Изд. «Недра», 1971. – том XXXVII Восточный Казахстан. – 308 с.

69. Геологическая карта СССР масштаба 1: 200000. Серия Чингиз-Саурская. Лист М-43-ХІІ: Объяснительная записка/ Государственный геологический комитет КазССР. Южно-Казахстанское геологическое управление; Составители: В. Я. Глухенький, В. П. Пахольюк, А. Д. Магерамов, Т. К. Лобачева. Редактор М. И. Александрова; утв. науч.-ред. советом Мин. геол. и охраны недр ССР 23.12.1982 г., протокол №33. М., 1988. – 92 с.

70. Комплексные исследования радиоактивного загрязнения системы атмосфера-подстилающая поверхность и оценки радиационных рисков для населения Семипалатинского региона: технический отчет по проекту МНТЦ К-928 / ДГП «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК; рук. Птицкая Л. Д, рук. проекта Артемьев О. И. – Курчатов, 2006. – 77 с.

71. Турченко, Д. В. Оценка состояния загрязненности воздушного бассейна на испытательной площадке «Опытное поле» при проведении сельскохозяйственных работ/ Д. В. Турченко, С. Н. Лукашенко, А. О. Айдарханов, А. В. Паницкий // Вестник НЯЦ РК. – 2013. – Вып. 4. – С. 59-65.

72. Рекомендации ВОЗ по качеству воздуха, касающиеся твердых частиц, озона, двуокиси азота и двуокиси серы. Глобальные обновленные данные за 2005 г./Всемирная организация здравоохранения. – Женева, Швейцария, 2006. – 27 с.

73. ҚР СТ ISO 7708-2010 Качество воздуха. Определение фракций по крупности частиц для отбора проб в целях охраны здоровья. – Введ. 2011-07-01. – Астана: РГП «Каз. институт стандартизации и сертификации», 2010. – 12 с.

74. ҚР СТ ISO 11277-2017 Качество почвы. Определение гранулометрического состава минеральных почв. Метод просеивания и осаждения. – Введ. 2019-01-01. – Астана: Госстандарт РК: Нац. стандарт РК, 2017. – 36 с.

75. Разработка системы радионуклидного мониторинга ядерных событий и радиационных аварий: отчет о НИР (промежуточный) за 2019 г. /

филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК; рук. Айдарханов А. О.; испол. Турченко Д. В. – Курчатов, 2019. – 40 с. – № ГР 0118РК01133. – Инв. № 0219РК00799.

76. РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы»: руководящий документ / М-во здравоохранения СССР, Госуд. комитет СССР по гидрометеорологии. – Инф. система «Параграф». – 397 с.

77. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан: за 2014-2020 гг. / Департамент экологического мониторинга РГП «КАЗГИДРОМЕТ». – Астана, 2014-2020.

78. ГОСТ 17.2.3.01-86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов. Взамен ГОСТ 17.2.3.01-77; введ. 1987-01-01. – М.: Изд. стандартов, 1986. – 6 с.

79. Карамышева, З. В. Ботаническая география степной части Центрального Казахстана / З. В. Карамышева, Е. И. Рачковская. – Л.: Наука, 1973. – 277 с.

80. Султанова Б. М. Ценозообразователи антропогенно-производных сообществ в местах проведения наземных и подземных ядерных взрывов на СИП / Б. М. Султанова. – Алматы, 1998. – 60 с.

81. Султанова, Б. М. Восстановление антропогенно-нарушенной степной растительности Казахстана / Б. М. Султанова // Развитие геоботаники. История и современность: материалы Всероссийской конф. – СПб, 2011. – С. 216-225.

82. Инструкция о радиологическом контроле качества кормов. Контрольные уровни соержжания радионуклидов цезия-134, 137 и стронция-90 в кормах и кормовых добавках: утв. Гл. госуд. ветер. инспек. РФ 01.12.1994 г. №13-7-2/216 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/9011503>.

83. Dujsebayeva, T. Report on the distribution and population density of the sand lizard *L. agilis* (SQUAMATA: LACERTIDAE) in former Semipalatinsk Nuclear Experimental Range with cadastre of lizard distribution in Semipalatinsk district/ T. Dujsebayeva, M. Chirikova, V. Korneychuk, V. Khromov // Вестник Университета «Семей». – 1999. – №8. – С.117-123.

84. Хромов, В. А. К орнитофауне Семипалатинской области. / В. А. Хромов, Р. Д. Даутбаев // В сб. Абай даристері гылым практикалык конференциясынын тезистері. – Семей, 1992.

85. Ковшарь, А. Ф. Мир птиц Казахстана/ А. Ф. Ковшарь. – Алма-Ата: Мектеп, 1988. – 270 с.

86. Khromov, V. A. The Amphibian Fauna of Semipalatinsk Province, North-Eastern Kazakstan./ V. A. Khromov, O. N. Pilguk // In Herpetology' 97 (ed. Z. Rocek and S. Hart). – Prague, Czech Republic, 1997. – 152 p.

87. Хромов, В. А. О фауне позвоночных животных урочища Балапан (Семипалатинский ядерный полигон). / В. А. Хромов, А. Т. Сейсебаев // Материалы международной конференции «Радиационная безопасность и социально-экологические проблемы Казахстана». – Караганда: Гылым, 1997. – С. 133-139.

88. Атаханова, К. Я. Эколого-генетическая характеристика некоторых видов позвоночных животных, обитающих на территории Семипалатинского испытательного полигона / К. Я. Атаханова // Материалы междунац. конф. «Радиационная безопасность и социально-экологические проблемы Казахстана». – Караганда: Гылым, 1998. – С. 121-129.

89. Rakhimzhanova, A. K. Morphological study of the green frog (*Rana ridibunda* Pallas, 1771) from eastern Kazakhstan province: In abstract of the Third asian herpetological meeting / A. K. Rakhimzhanova, V. A. Khromov. – Almaty, 1998. – P. 31.

90. Khromov, V. A. On the morphology of *Lacerta agilis* (Eicwaid, 1831) from north-eastern Kazakhstan: In abstract of the Third asian herpetological meeting/ V. A. Khromov, D. Korneychuk – Almaty, 1998. – P. 57-58.

91. Хромов, В. А. Позвоночные животные Семипалатинского региона/ В. А. Хромов // Вестник Университета «Семей». – 1999. – № 5-6. – С. 56-65.

92. Березовиков, Н. Н. Новые данные по распространению озерной лягушки *Rana ridibunda*, Pallas, 1771 на юго-востоке и востоке Казахстана. / Н. Н. Березовиков и др. // Вопросы герпетологии: Материалы первого съезда Герпетологического общества им. А. М. Никольского. – Пущино-на-Оке, 2000. – С. 26-28.

93. Дуйсебаева, Т. Н. Озерная лягушка (*Rana ridibunda*) в Казахстане: изменение ареала в XX столетии и современное распространение вида. / Т. Н. Дуйсебаева, Н. Н. Березовиков, З. К. Брушко, Р. А. Кубыкин, В. А. Хромов // Современная герпетология. – 2005. – Том 3/4. – С. 29-49.

94. Хромов, В. А. К герпетофауне некоторых территорий семипалатинского испытательного ядерного полигона / В. А. Хромов // Современные проблемы сохранения биоразнообразия: материалы междунац. конф. – Алматы, 2006. – С.136.

95. Хромов, В. А. «О биоразнообразии позвоночных животных Семипалатинского испытательного ядерного полигона» / В. А. Хромов,

Н. Ж. Кадырова, А. В. Паницкий // Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие и проблемы нераспространения: материалы III межд. научно-практической конф. – Курчатов, 2008. – С.46-48.

96. Книга генетического фонда фауны Казахской ССР. Ч.1. Позвоночные животные. – Алма-Ата: Наука, 1989. – 215 с.

97. Красная Книга Казахской ССР. Ч. 1. Позвоночные животные. – Алма-Ата: Кайнар, 1978. – 203 с.

98. Птицы Казахстана / под ред. И. А. Долгушина, М. Н. Корелова, А. Ф. Ковшаря. – Алма-Ата: Наука, 1960-1974. – Т. I – V.

99. Калашников, А. П. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справочное пособие / А. П. Калашников, Н. И. Клейменов, В. Н. Баканов [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1985. – 352 с.

100. Quantification of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments for radiological assessments: Technical Report/ International Atomic Energy Agency. – Vienna, 2009. – IAEA – TECDOC-1616. – 624 p.

101. Исаков, К. И. Пастбища и сенокосы степной зоны / К. И. Исаков. – Алматы: Гылым, 1993. – С.51-62.

102. Определение эффективной дозы ионизирующего излучения на персонал и население: прил. №1 к приказу Председателя Комитета госуд. сан.-эпид. надзора от 8 сентября 2011 года № 194. – Инф. система «Параграф». – 14 с.

103. Обеспечение радиационной безопасности на территории Республики Казахстан. Мероприятие 1 «Обеспечение безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона»: информационный отчет о РПБ 038 за 2014 год / филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК; рук. Лукашенко С. Н. – Курчатов, 2014. – 206 с.

104. Кожуханов, Т. Е. Особенности накопления техногенных радионуклидов сельскохозяйственными культурами в районе проведения наземных ядерных испытаний / Т. Е. Кожуханов, С. Н. Лукашенко, А. В. Паницкий, Н. В. Ларионова // Вестник НЯЦ РК. – 2011. – Вып. 3. – С. 116-119.

105. Кожуханов, Т. Е. Содержание радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в продукции растениеводства на территориях, прилегающих к Семипалатинскому испытательному полигону / Т. Е. Кожуханов, С. Н. Лукашенко // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2017. – Т. 57. – № 2. – С. 220-225.

106. Kozhakhonov, T. E. Accumulation of artificial radionuclides in agricultural plants in the area used for surface nuclear tests / T. E. Kozhakhonov,

S. N. Lukashenko, N. V. Larionova // Journal of Environmental Radioactivity. – 2014. – Vol. 137. – P. 217-226.

107. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments: Technical reports series / International Atomic Energy Agency. – Vienna, 2010. – ISSN 0074–1914. – № 472.

108. Калашников, А. П. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справочное пособие / А. П. Калашников, Н. И. Клейменов, В. Н. Баканов [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1985. – 352 с.

109. Совместный приказ и.о. Министра здравоохранения и социального развития Республики Казахстан от 27 июля 2015 года № 623 и и.о. Министра национальной экономики Республики Казахстан от 31 июля 2015 года № 585 «Об утверждении Правил расчета величины прожиточного минимума и установлении фиксированной доли расходов на непродовольственные товары и услуги» (с изм. по сост. На 01.01.2018 г.). – Инф. система «Параграф». – 8 с.

110. Оценка дозовых нагрузок на население и персонал при проживании и ведении деятельности на исследуемой территории: Материалы комплексного экологического обследования «юго-восточной» части территории СИП /Национальный ядерный центр; рук. Кадыржанов К. К.; исполн. Лукашенко С. Н, Топорова А. В. и др. – Курчатов, 2012. – 196 с.

111. Топорова, А. В. Оценка граничных параметров радиоактивного загрязнения территорий, гарантирующих неперевышение допустимых дозовых нагрузок/ А. В. Топорова / Оптимизация исследований территорий Семипалатинского испытательного полигона с целью их передачи в хозяйственный оборот [Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана] // под рук. Лукашенко С. Н. – Павлодар: ТОО «Дом печати», 2015. – Вып. 5. – С. 293-308.

112. Приказ Мин. нац. экономики РК от 9 декабря 2016 года № 503 «Об утверждении научно обоснованных физиологических норм потребления продуктов питания». – Инф. система «Параграф». – 24 с.

113. Санитарно-эпидемиологические требования к водоемким объектам, местам водозабора для хозяйственно-питьевых целей, хозяйственно-питьевому водоснабжению и местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов: утв. приказом Мин-ром Нац. экономики РК от 16 марта 2015 года № 209. – Инф. система «Параграф». – 134 с.

114. Радиоэкологическое состояние «северной» части Семипалатинского испытательного полигона [Актуальные вопросы радиоэкологии Ка-

захстана]: монография / под рук. Лукашенко С. Н. – Павлодар: ТОО «Дом печати», 2010. – Вып. 1. – С. 61-62.

115. Проведение комплекса научно-технических и инженерных работ по приведению бывшего Семипалатинского испытательного полигона в безопасное состояние / Н. А. Назарбаев, В. С. Школьник, Э. Г. Батырбеков и др. – Курчатов: НЯЦ РК, 2016. – Том II. – С. 22-23.

116. Сборник трудов Национального ядерного центра РК за 2014-2016 гг. [Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана] / под ред. Э. Г. Батырбекова, С. Н. Лукашенко. – Павлодар: ТОО «Дом печати», 2017. – Вып. 6. – Т.1. – С.18-20.

117. Субботин, С. Б. Подземная миграция искусственных радионуклидов за пределы горного массива Дегелен / С. Б. Субботин, С. Н. Лукашенко, В. В. Каширский, Ю. Ю. Яковенко, Л. В. Бахтин // Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2007 – 2009 гг. [Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана] / под рук. Лукашенко С.Н. – Павлодар: ТОО «Дом печати», 2010. – Вып. 2. – С. 103-156. – Библиогр.: с. 224-231. – ISBN 978-601-7112-28-8.

118. Ядерные испытания в СССР. Общие характеристики. Цели. Организация ядерных испытаний СССР. / под. ред. В. Н. Михайлова; состав ред. И. А. Андрюшин, В. В. Богдан, С. А. Зеленцев. и др. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1997. – Т.1. – 303 с.

119. Радиоэкологические последствия испытаний БРВ на Семипалатинском полигоне: Бюллетень по атомной энергии/ ЦНИИ упр., экономики и информ. Росатома – М: Атомиум, 2002. – №12.

120. Обеспечение безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона. Обеспечение радиационной безопасности: отчеты о РБП 011 за 2005-2010 гг. / ДГП «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК; рук. Птицкая Л. Д., Лукашенко С. Н. – Курчатов, 2005-2010.

121. Волошин, Н. П. К истории отечественного атомного проекта: курс лекций для слушателей учебных заведений «Росатома», студентов физических специальностей вузов/ Н. П. Волошин. – М.: ИздАТ, 2009. – 315 с.

122. Закон Республики Казахстан от 18 декабря 1992 года № 1787-ХІІ «О социальной защите граждан, пострадавших вследствие ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном ядерном полигоне (с изм. и доп. по сост. на 02.07.2018 г.), статья 5. – Инф. система «Параграф». – С. 3.

123. О предоставлении услуг по проведению мониторинга радиоактивности в рамках бюджетной программы 044 «Сохранение лесов и увеличение лесистости территории республики»: отчет по контракту № CS/SS -01 от 25.05.2008 г. (заключительный) / ДГП «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК; рук. Лукашенко С. Н.; исполн. рук. работ Стрильчук Ю. Г. – Курчатов, 2008. – 61 с.

124. О предоставлении услуг по проведению мониторинга радиоактивности в рамках бюджетной программы 044 «Сохранение лесов и увеличение лесистости территории республики»: отчет по контракту № CS/SS – 03 от 15 июня 2009 г. (заключительный) / ДГП «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК; рук Лукашенко С. Н.; исполн. рук. работ Стрильчук Ю. Г. – Курчатов, 2009. – 33 с.

125. О предоставлении услуг по проведению мониторинга радиоактивности в рамках бюджетной программы 044 «Сохранение лесов и увеличение лесистости территории республики»: отчет по контракту № CS/SS – 03 от 06 мая 2010 г. (заключительный) / ДГП «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК; рук Лукашенко С.Н.; исполн. рук. работ Стрильчук Ю. Г. – Курчатов, 2010. – 30 с.

126. Проведение комплекса научно-технических и инженерных работ по приведению бывшего Семипалатинского испытательного полигона в безопасное состояние / Н. А. Назарбаев, В. С. Школьник, Э. Г. Батырбеков и др. – Курчатов: НЯЦ РК, 2016. – Том II. – 448 с. – ISBN 978-9965-675-95-9.

127. Лукашенко, С. Н. Радиоэкологическое обследование территорий, прилегающих к с. Саржал / С. Н. Лукашенко, А. В. Паницкий, Ю. Г. Стрильчук, А. Н. Шатров, Ю. Ю. Яковенко // Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2014-2016 г. [Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана] / под рук. Э. Г. Батырбекова, С. Н. Лукашенко – Павлодар: ТОО «Дом печати», 2017. – Вып. 6. – Т.1. – С. 143-157.

128. Республиканская бюджетная программа 008 «Развитие атомных и энергетических проектов», подпрограмма 101 «Обеспечение радиационной безопасности на территории Республики Казахстан», мероприятие 6 «Обеспечение радиационной безопасности на территориях, прилегающих к бывшему СИП»: информационный отчет за 2014 г. по дог. № КАЭ-34 от 11.05.2014 / филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК; рук. Лукашенко С. Н.; рук. работ. Айдарханов А. О. – Курчатов, 2014. – 221 с.

129. Генова, С. В. Исследования характера и уровней радионуклидного загрязнения вод р. Шаган / С. В. Генова, С. Н. Лукашенко, А. О. Айдарханов // Сборник трудов Национального ядерного центра [Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана] / под рук. С. Н. Лукашенко. – Павлодар: ТОО «Дом печати», 2011. – Вып. 3. – Том 2. – С. 165-178.

130. Есимбеков, А. Ж. Определение и локализация каналов поступления трития в воды р. Шаган / А. Ж. Есимбеков, А. О. Айдарханов, М. Р. Актаев, А. В. Дроздов // Сборник трудов Национального Ядерного центра Республики Казахстан за 2011 – 2012 гг. [Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана] / под рук. С. Н. Лукашенко. – Павлодар: ТОО «Дом печати», 2013. – Вып. 4. – Том 2. – С.25-40.

131. Республиканская бюджетная программа 038 «Развитие атомных и энергетических проектов», подпрограмма 101 «Обеспечение радиационной безопасности на территории Республики Казахстан», мероприятие 1 «Обеспечение безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона»: информационный отчет за 2014 г. (договор КЭ 35 от 11.05.14 г.) / филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК; рук. Лукашенко С. Н.; рук. работ. Стрельчук Ю. Г. – Курчатов, 2014. – 206 с.

132. Айдарханов, А. О. Определение и локализация каналов поступления ^3H в воды р. Шаган / А. О. Айдарханов, А. Ж. Есимбеков, М. Р. Актаев, В. С. Анисимов // Радиация и риск. – 2013. – Том 22. – №4. – ISSN 0131-3878.

133. Актаев, М. Р. Характер загрязнения тритием вод р. Шаган в районе «Атомного озера» / М. Р. Актаев, С. Н. Лукашенко, А. О. Айдарханов, О. Н. Ляхова // Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2014-2016 гг. [Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана] / под ред. Э. Г. Батырбекова, С. Н. Лукашенко. – Павлодар: ТОО «Дом печати», 2017. – Вып.6. – Т.1 – С. 202-208.

134. Республиканская бюджетная программа 008 «Развитие атомных и энергетических проектов», подпрограмма 101 «Обеспечение радиационной безопасности на территории Республики Казахстан», мероприятие 1 «Обеспечение безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона»: информационный отчет за 2015 г. / филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК; рук. Лукашенко С. Н.; рук. работ. Стрельчук Ю. Г. – Курчатов, 2015. – 148 с.

135. Механизмы перераспределения трития в природных экосистемах, подверженных воздействию радиационно-опасных объектов и предприятий атомной отрасли: отчет о НИР (промежуточ.) / филиал «Институт

радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК; рук. работ Ляхова О. Н.; исполн.: Тимонова Л. В. и др. – Курчатова, 2018. – 40 с. – Библиогр.: с. 33-34; 19 назв. – № ГР 0118РК01128. – Инв. № 0218РК00330.

136. Механизмы перераспределения трития в природных экосистемах, подверженных воздействию радиационно-опасных объектов и предприятий атомной отрасли: отчет о НИР (промежуточ.) / филиал «Ин-т радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК; рук. работ Ляхова О. Н.; исполн. Мамырбаева А. С. и др. – Курчатова, 2019. – 68 с. – Библиогр.: с. 27-28; 20 назв. – № ГР 0118РК01128. – № 0219РК00804.

137. Турченко, Д. В. Оценка состояния загрязненности воздушного бассейна на испытательной площадке «Опытное поле» при проведении сельскохозяйственных работ / Д. В. Турченко, С. Н. Лукашенко, А. О. Айдарханов, А. В. Паницкий // Вестник НЯЦ РК. – 2013. – Вып. 4. – С. 59-65.

138. Актаев, М. Р. Мониторинг поверхностных и подземных вод на территории Семипалатинского испытательного полигона / М. Р. Актаев, О. Н. Ляхова, А. О. Айдарханов, Б. А. Кокежанов, Т. Ш. Токтаганов // Современные проблемы радиобиологии радиозологии и агроэкологии.: тез. докл. Междунар. конф., 03–04 октября 2019. – Обнинск: ВНИИРАЭ, 2019. – С. 120-122. – ISBN 978-5-903386-57-4.

139. Актаев, М. Р. Определение и локализация каналов поступления ^3H в воды р. Шаган / М. Р. Актаев, А. О. Айдарханов, А. Ж. Есимбеков, В. С. Анисимов // Радиация и риск. – 2013. – Том 22. – №4. – ISSN 0131-3878.

140. Радиозоэкологическое состояние «северной» части Семипалатинского испытательного полигона [Актуальные вопросы радиозологии Казахстана]: монография / под рук. Лукашенко С. Н. – Павлодар: ТОО «Дом печати», 2010. – Вып. 1. – С. 108-120.

141. Субботин, С. Б. Подземная миграция искусственных радионуклидов за пределы горного массива Дегелен / С. Б. Субботин, С. Н. Лукашенко, В. В. Каширский, Ю. Ю. Яковенко, Л. В. Бахтин // Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2007 – 2009 гг. [Актуальные вопросы радиозологии Казахстана] / под ред. Лукашенко С. Н. – Павлодар: ТОО «Дом печати», 2010. – Вып. 2. – С. 103-156. – ISBN 978-601-7112-32-5.

142. Субботин, С. Б. Радиоактивное загрязнение водной среды горного массива Дегелен / С. Б. Субботин, Ю. В. Дубасов // Радиохимия. – 2013. – Т. 55. – № 6. – С. 561-567.

143. Субботин, С. Б. Исследование миграции трития с подземными водами на бывшем Семипалатинском полигоне / С. Б. Субботин, А. О. Айдарханов, Ю. В. Дубасов // Радиохимия. – 2013. – Т. 55. – №. 5. – С. 471-478.

144. Субботин, С. Б. Выявление путей миграции техногенных радионуклидов за пределы испытательной площадки «Балапан» / С. Б. Субботин, С. Н. Лукашенко, В. В. Романенко, В. В. Каширский, Е. Ю. Пестов, Э. М. Горбунова, К. И. Кузеванов // Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2010 гг. [Актуальные вопросы радиозэкологии Казахстана] / под ред. Лукашенко С. Н. – Павлодар: ТОО «Дом печати», 2011. – Вып. 3. – Т. 2. – С. 161-232.: ил. - ISBN 978-601-7112-53-0.

145. Есимбеков, А. Ж. Определение и локализация каналов поступления ^3H в воды реки Шаган / А. Ж. Есимбеков, А. О. Айдарханов, М. Р. Актаев, А. В. Дроздов // Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2010 гг. [Актуальные вопросы радиозэкологии Казахстана] / под ред. Лукашенко С. Н. – Павлодар: ТОО «Дом печати», 2013. – Вып. 4. – Том 2. – С. 25-41.

146. Актаев, М. Р. Мониторинг поверхностных и подземных вод на территории Семипалатинского испытательного полигона / М. Р. Актаев, О. Н. Ляхова, А. О. Айдарханов, Б. А. Кокежанов, Т. Ш. Токтаганов // Современные проблемы радиобиологии радиозэкологии и агроэкологии.: тез.докл. Междунар. конф., 03–04 октября 2019. – Обнинск: ВНИИРАЭ, 2019. – С.120-122. – ISBN 978-5-903386-57-4.

147. Актаев, М. Р. Исследование характера радионуклидного загрязнения водоема «Кишкенсор» на территории Семипалатинского испытательного полигона / М. Р. Актаев, С. Н. Лукашенко, А. О. Айдарханов, О. Н. Ляхова, С. С. Пронин //Межд. научный форум «Ядерная наука и технологии», посв. 60-летию Института ядерной физики: XI Межд. конф. «Ядерная и радиационная физика»: Межд. конференция «Ядро-2017»: 67-е Совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра: 8-я Евразийская конференция «Ядерная наука и ее применение» (12-15.09.2017). – Алматы, 20017. – С. 298-299. – ISBN 978-601-06-4394-9.

148. Субботин, С. Б. Влияние последствий проведения ПЯВ на состояние подземных вод в зоне влияния Калба-Чингизского разлома/ С. Б. Субботин, К. Л. Зеленский, Е. А. Новикова, Л. В. Бахтин, Э. М. Горбунова // Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2014–2016 гг. [Актуальные вопросы радиозэкологии Казахстана] / под ред. Батырбеко-

ва Э. Г., Лукашенко С. Н. – Павлодар: ТОО «Дом печати», 2017. – Вып. 6. – Том 1. – С. 401-423.

149. Субботин, С. Б. Современное радиоэкологическое состояние окружающей среды на испытательной площадке СИП «Сары-Узень» / С. Б. Субботин, Ю. Г. Стрильчук, Е. А. Новикова, В. В. Романенко // Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011-2012 г. [Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана] / под ред. Лукашенко С. Н. – Павлодар: Дом печати, 2013. – Вып. 4. – Т.1. – С. 189-203. – ISBN 978-601-7112-74-5.

150. Реабилитация территории бывшего ядерного полигона Маралинга (Австралия) // Медицинская радиология и радиационная безопасность; Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна. – М., 2006. – Т.51. – С. 57-62. – ISSN: 1024-6177.

151. Купол Рунит. Радиоактивная свалка на Атолле Эниветок. [Электронный ресурс LifeGlobe]. – Режим доступа: URL: <http://lifeglobe.net/entry/4552>

152. Закон Республики Казахстан от 12 января 2016 г. № 442-V «Об использовании атомной энергии» (с изм. и доп. по состоянию на 25.02.2021 г.): распоряжение Премьер-Министра РК от 29.01.2016 г. № 7-р. – Инф. система «Параграф». – 32 с.

153. Закон Республики Казахстан от 16 мая 2014 г. №202-V «О разрешениях и уведомлениях» (с изм. и доп. по состоянию на 16.12.2020 г.). – Инф. система «Параграф». – 121 с.

154. Земельный кодекс Республики Казахстан от 20 июня 2003 года № 442-II (с изм. и доп. по состоянию на 16.01.2021 г.): признан соотв. Конституции Постанов. Конституционного Совета РК от 10 июня 2003 г. № 8. – Инф. система «Параграф». – 167 с.

155. Магашева, Р. Ю. Характер радиоактивного загрязнения почвенного покрова СИП / Р. Ю. Магашева, А. В. Паницкий, А. М. Кабдыракова // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2010. – № 3 (14). – С.54 -63.

156. 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. – 2010. – № 3 (14). – С.158 – 163. – Библиогр.: с. 163.

157. Паницкий, А. В. Особенности вертикального распределения радионуклидов в почвах бывшего семипалатинского испытательного поли-

гона / А. В. Паницкий, С. Н. Лукашенко Р. Ю. Магашева // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10 (часть 10). – С. 2231-2236.

158. Panitskiy, A. V. Nature of radioactive contamination of components of ecosystems of streamflows from tunnels of Degelen massif / Panitskiy A. V., Lukashenko S. N. // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2015. Vol.144. – P. 32-40.

159. Паницкий, А. В. Особенности вертикального распределения радионуклидов в почвах условно-чистой территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона / А. В. Паницкий, С. Н. Лукашенко, Р. Ю. Магашева // *Радиационная биология. Радиоэкология*. – 2016. – Том 56. – №6. – С. 623-638.

160. Кундузбаева, А. Е. Формы нахождения искусственных радионуклидов в почвах условно «фоновых» территорий Семипалатинского испытательного полигона. / А. Е. Кундузбаева, А. М. Кабдыракова, С. Н. Лукашенко // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики*. – 2016. – № 6. – С. 3-17.

161. Kabdyrakova, A. M. Distribution of artificial radionuclides in particle-size fractions of soil on fallout plumes of nuclear explosions / A. M. Kabdyrakova, S. N. Lukashenko, A. T. Mendubaev, A. E. Kunduzbayeva, A. V. Panitskiy, N. V. Larionova // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2018. – Vol. 186. – P. 45-53.

162. Кундузбаева, А. Е. Формы нахождения искусственных радионуклидов в почвах объекта «Атомное озеро» Семипалатинского испытательного полигона. / А. Е. Кундузбаева, А. М. Кабдыракова, Н. В. Ларионова, С. Н. Лукашенко // *Радиационная биология. Радиоэкология*. – 2017. – № 4. – С. 399-413.

163. Кабдыракова, А. М. Распределение искусственных радионуклидов по агрегатным фракциям почв в районе проведения подземных ядерных испытаний в скважинах на площадке «Балапан» / А. М. Кабдыракова, А. Т. Меньдубаев // *Вестник НЯЦ РК*. – 2019. – Вып. 4. – С. 131-141.

164. Ларионова, Н. В. Изучение параметров накопления искусственных радионуклидов растениями лугового биогеоценоза / Н. В. Ларионова, С. Н. Лукашенко, А. М. Кабдыракова, Р. Ю. Магашева, А. В. Паницкий, Н. В. Ястребкова, Ж. А. Байгазинов // *Вестник НЯЦ РК*. – 2008. – Вып. 3. – С. 33 -38.

165. Магашева, Р. Ю. Миграция радионуклидов в почвенно-растительном покрове и по пищевой цепи на пастбищных угодьях действующей

щей зимовки Сартай-Кора / Р. Ю. Магашева, Н. В. Ястребкова, Н. В. Ларионова, А. М. Кабдыракова, А. В. Паницкий // Вестник НЯЦ РК. – 2007. – Вып. 4. – С. 63-69.

166. Ларионова, Н. В. Изучение параметров накопления 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. – 2008. – Вып. 3. – С.33 -38.

167. Larionova, N. V. Transfer of radionuclides to plants of natural ecosystems at the Semipalatinsk Test Site / N. V. Larionova, S. N. Lukashenko, A. M. Kabdyrakova, A. Y. Kunduzbayeva, A. V. Panitskiy, A. R. Ivanova // Journal of Environmental Radioactivity. – 2018. – Vol. 186. – P. 163–70.

168. Ларионова, Н. В. Оценка радиоактивного загрязнения растительного покрова условно «фоновых» территорий Семипалатинского испытательного полигона / Н. В. Ларионова, С. Н. Лукашенко // Современные проблемы науки и образования: электронный журнал. – 2016. – №3. – Биологические науки. – Режим доступа: <https://www.science-education.ru/ru/issue/view?id=140#theme180>.

169. Larionova, N. V. Plants as indicators of tritium concentration in ground water at the Semipalatinsk test site / N. V. Larionova, S. N. Lukashenko, O. N. Lyakhova, A. O. Aidarkhanov, S. B. Subbotin, A. B. Yankauskas // Journal of Environmental Radioactivity. – 2017. – Vol. 177. – P. 218-224.

170. Ларионова, Н. В. Оценка влияния индивидуальных биологических особенностей растений на содержание отдельных химических элементов и радионуклидов / Н. В. Ларионова, Т. Е. Кожаханов, А. Р. Иванов // Вестник НЯЦ РК. – 2020. – Вып. 2 (82). – С. 160-166.

171. Panitskiy, A. V. ^{137}Cs and ^{90}Sr in lizards of Semipalatinsk test site / A. V. Panitskiy, S. N. Lukashenko, N. Zh. Kadyrova // Journal of Environmental Radioactivity. – 2017. – Vol. 166. – P. 91-96.

172. Кадырова, Н. Ж. Содержание радионуклидов в организме мышевидных грызунов, обитающих на участках с различным уровнем радиоактивного загрязнения площадки «Балапан» / Н. Ж. Кадырова, А. В. Паницкий, А. О. Айдарханов, С. Н. Лукашенко // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2010. – № 3 (14). – С.165 – 168. – Библиогр.: с. 1168-169.

173. Шатров, А. Н. Оценка дозовых нагрузок у природных популяций животных Семипалатинского полигона / А. Н. Шатров, А. В. Топорова, Н. Ж. Кадырова, А. В. Паницкий, Р. Ж. Жапбасов // Астана медициналык журналы. – 2019. – № 2 (100). – С. 656-661.

174. Исследование базовых характеристик радионуклидного загрязнения в водной среде: отчет о НИР за 2019 г. (промежуточ.) / филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК; рук. работ Айдарханов А. О.; исп. Айдарханова А. К. – Курчатов, 2019. – 49 с. – №ГР 0118РК01138. – Инв. № 0219РК00806.

175. Zhapasheva, Zh. Ye. Speciation of technogenic radionuclides in water bodies of Semipalatinsk test site / Zh. Ye. Zhapasheva, A. K. Aidarkhanova // 3rd European radiological protection research week (October 1-5, 2018). – Rovinj-Rovigno, Croatia. – P. 212.

176. Тлеуканова, Ж. Е. Исследование содержания ^{238}U в воде, как фактора радиоактивного загрязнения водных объектов / Ж. Е. Тлеуканова, А. К. Айдарханова // Актуальные проблемы урановой промышленности: сб. трудов IX Междунар. научн.-практич. конф., 07-09 ноября 2019 г./ АО НАК «Казатомпром». – Алматы, 2019. – Т.2 – С. 175-179.

177. Сержанова, З. Б. Методические подходы для исследования связанных форм нахождения трития в почвах радиоактивно-загрязненных участков Семипалатинского испытательного полигона / З. Б. Сержанова, А. К. Айдарханова, О. Н. Ляхова, Л. В. Тимонова, А. М. Раимканова // Вестник НЯЦ РК. – 2020. – Вып. 2 (82). – С. 41-48.

178. Lyakhova, O. N. Contamination mechanisms of air basin with tritium in venues of underground nuclear explosions at the former Semipalatinsk test site / O. N. Lyakhova, S. N. Lukashenko, N. V. Larionova, Y. S. Tur // Journal of Environmental Radioactivity. – 2012. – Vol. 113. – P. 98–107.

179. Timonova, L. V. Tritium Distribution in Soil in the Area of “Atomic” Lake near the Semipalatinsk Test Site / L. V. Timonova, O. N. Lyakhova, S. N. Lukashenko, A. O. Aidarkhanov, A. M. Kabdyrakova, Z. B. Serzhanova // Eurasian Soil Science. – 2020. – Vol. 53. – No. 3. – P. 355–361.

180. Тимонова, Л. В. Тритиевое загрязнение почвы в местах проведения наземных ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном полигоне / Л. В. Тимонова, О. Н. Ляхова, А. О. Айдарханов, З. Б. Сержанова // Радиация и риск. – 2020. – Т.29. – №4. – С. 106-117.

181. 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.

182. Ляхова, О. Н. Сравнительная оценка основных источников поступления трития в воздушную среду на территории Семипалатинского

испытательного полигона / О. Н. Ляхова, С. Н. Лукашенко, Н. В. Ларионова, Ю. Ю. Яковенко, Е. С. Тур // Радиация и риск. – 2014. – Т.23. – № 3. – С. 43-56.

183. Ляхова, О. Н. Оценка уровня концентрации газообразных соединений трития в местах проведения ядерных испытаний на территории Семипалатинского испытательного полигона / О. Н. Ляхова, С. Н. Лукашенко, Л. В. Тимонова, Н. В. Ларионова, Д. В. Турченко // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2020. - Т. 60 – № 6 – С. 649–660.

184. Паницкий, А. В. Экспериментальная оценка поступления распределения 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. – 2010. – № 3 (14). – С.145 -151. – Библиогр.: с. 152.

185. Кожуханов, Т. Е. Особенности накопления техногенных радионуклидов сельскохозяйственными культурами в районе проведения наземных ядерных испытаний / Т. Е. Кожуханов, С. Н. Лукашенко, А. В. Паницкий, Н. В. Ларионова // Вестник НЯЦ РК. – 2011. – Вып. 3. – С. 116-119.

186. 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. – 2011. – Вып. 3. – С. 129-133.

187. Байгазинов, Ж. А. Параметры перехода радионуклидов ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ в организм овец при их содержании в условиях радиационного загрязнения на испытательной площадке «Опытное поле» бывшего Семипалатинского полигона / Ж. А. Байгазинов, С. Н. Лукашенко, А. В. Паницкий, С. С. Каратаев, С. А. Байгазы, А. С. Мамырбаева / Фундаментальные исследования. – 2014. – № 3. – С. 731-735.

188. Паницкий, А. В. Оценка возможности производства продукции животноводства на радиоактивно загрязненной территории площадки «Дегелен» Семипалатинского испытательного полигона / А. В. Паницкий, С. Н. Лукашенко, С. И. Спиридонов // Радиация и риск. – 2014. – Т.23. – № 3. – С. 57-69.

189. Baigazinov, Zh. A. Transfer of tritium into laying hen's meat and eggs at prolonged intake with atmospheric air, water and grass meal / Zh. A. Baigazinov, S. N. Lukashenko S. S. Karatayev, A. V. Panitskiy, A. S. Mamyrbayeva, S. A. Baigazy, T. Ye. Kozhakhonov, L. F. Subbotina // Journal of Environmen-

tal Radioactivity. – 2017. – Vol. 178–179. – P. 110–115. – Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X17301509#>.

190. Baigazinov, Z. A. The transfer of $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{137}Cs and ^{90}Sr to the tissues of horses / Z. A. Baigazinov, S. N. Lukashenko, A. V. Panitsky, N. Z. Kadyrova, S. S. Karatayev, A. S. Mamyrbayeva, S. A. Baigazy, A. B. Bazarbaeva, A. M. Kabdyrakova, A. E. Kunduzbaeva, L. B. Kenzhina, A. A. Zhadyranova, M. Hegedus, T. Kovacs // Journal of Environmental Radioactivity. – October 2020. – Vol. 222. – P. 1-9 – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X2030254X>.

191. Mamyrbayeva, A. S. The transfer of ^{241}Am and ^{137}Cs to the tissues of broilers' organs/ A. S. Mamyrbayeva, Z. A. Baigazinov, S. N. Lukashenko, A. V. Panitskiy, S. S. Karatayev, A. N. Shatrov et al. // Journals.plos.org. – 2020. – PLOS ONE 15(7): e0235109. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235109>.

192. Mamyrbayeva, A. S. The excretion of ^{241}Am and ^{137}Cs from the broilers organs after long-term application/ A. S. Mamyrbayeva, Z. A. Baigazinov, S. N. Lukashenko, A. V. Panitskiy at all. // Journal of Environmental Radioactivity. - April 2021. – Vol. 229–230. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X21000151>.

193. Kozhakhonov, T. E. Accumulation of artificial radionuclides in agricultural plants in the area used for surface nuclear tests / T. E. Kozhakhonov, S. N. Lukashenko, N. V. Larionova // Journal of Environmental Radioactivity. – 2014. – Vol. 137. – P. 217-226.

194. Бахтин, М. М. О некоторых признаках индикации состояния природной среды Семипалатинского полигона/ М. М. Бахтин, А. Т. Сейсебаев // Вестник НЯЦ. – 2002. – Вып. 3. – С. 68-71.

195. Бахтин, М. М. Цитогенетическое изучение природных популяций хирономид (*Diptera, Chironomidae*) открытых водоемов бывшего СИП: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. биол. наук (03.00.11 – генетика) / Бахтин Мейрат Мухамедкаримович. – Алматы: КазНУ им. Аль-Фараби, 2002. – 29 с.

196. Бахтин, М. М. Хирономиды (*Diptera, chironomidae*) как возможные биоиндикаторы экологического состояния водоемов / М. М. Бахтин, А. Т. Сейсебаев, // Вестник НЯЦ. – 2002. – Вып. 3. - С. 72-75.

197. Минкенова, К. С. Цитогенетические изменения тонконога (*Koeleria gracilis Pers*), произрастающего в местах испытания боевых радиоактивных веществ на Семипалатинском испытательном полигоне / К. С. Минкенова, Ж. А. Байгазинов, С. Н. Лукашенко, А. Н. Мамырбаева,

К. С. Каримбаева // Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2014-2016гг. [Актуальные вопросы радиэкологии Казахстана] / под рук. Батырбекова Э. Г., Лукашенко С. Н. – Павлодар: ТОО «Дом печати», 2017. – Т.2. – Вып. 6. – С. 185- 203. – ISBN 978-601-7844-54-7.

198. Кадырова, Н. Ж. Радиобиологические и цитогенетические аспекты последствий хронического воздействия ионизирующих излучений Семипалатинского испытательного полигона на природные популяции растений и животных: Монография / Н. Ж. Кадырова, Р. Ж. Жапбасов. - Павлодар, 2019. – 312 с.

199. Минкенова, К. С. Цитогенетические эффекты у тонконога тонкого с площадки, где проводили испытания боевых радиоактивных веществ на Семипалатинском испытательном полигоне / К. С. Минкенова, Ж. А. Байгазинов, С. А. Гераськин, А. Н. Переволоцкий // Радиационная биология. Радиэкология. - 2020. – Том. 60. – № 3. – С. 249–264.

200. Panitskiy, A. V. Practical Experience in Applying Remediation Methods at the Semipalatinsk Test Site [Remediation Measures for Radioactively Contaminated Areas] (Kazakhstan). / A. V. Panitskiy, S. N. Lukashenko, E. G. Batyrbekov, S. A. Berezin, M. A. Umarov, Y. G. Strilchuk, V. V. Yakovlev; In: Gupta D., Voronina A. – Cham, 2018. – P. 273–289 [Электронный ресурс Springer Link]. – Режим доступа: DOI https://doi.org/10.1007/978-3-319-73398-2_13, Print ISBN978-3-319-73397-5, Online ISBN978-3-319-73398-2.

201. ГОСТ 17.4.3.01-83 (СТ СЭВ 3847 - 82). Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. – Введ. 1984-07-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1998. – 3 с.

202. ҚР СТ РК ГОСТ Р 51593-2003 «Вода питьевая. Отбор проб». – Введ.2005-01-01. – Астана: Госстандарт РК, 2003. – 13 с.

203. ҚР СТ РК ГОСТ Р 51592-2003 «Вода. Общие требования к отбору проб». – Введ. 2005-01-01. – Астана: Госстандарт РК, 2003. – 58 с.

204. СТ РК 1545-2006 Радиационный контроль. Отбор проб поверхностных и сточных вод. – Введ. 2008-01-01. – Астана: Госстандрт РК, 2006. – 7 с.

205. ГОСТ ISO 5667-11-2013 «Качество воды. Часть 11. Отбор проб. Руководство по отбору проб грунтовых вод. – Введ. 2018-01-01. – Минск: Госстандарт, 2013. – 35 с.

206. Методика выполнения измерений «Определение содержания

искусственных радионуклидов плутония-(239+240), стронция-90 и цезия-137 в водах методом концентрирования»: утв. ген. дир. РГП ИЯФ РК 18.07.2017: зарегистр. в реестре ГСИ РК 10.11.2017 № KZ.07.00.03615-2017. – Алматы: РГП ИЯФ РК, 2017. – 25 с.

207. ISO 9698:2019 (E) «Качество воды. Тритий. Метод определения активности с помощью жидкостно-сцинтилляционного счета» - Введ. 2019-05. – Швейцария: Межд. стандарт, 2019. – 3-е изд. – 25 с.

208. СТ РК СТБ 1058-2006 (БСТ 1058-98, IDT) Радиационный контроль. Отбор проб атмосферного воздуха. Общие требования. – Введ. 2008-01-01. Астана: Госстандарт РК, 2006. – 7 с.

209. СТ РК 1510-2006 Радиационный контроль. Отбор проб продукции животноводства. Общие требования. – Введ. 2007-01-01. – Астана: Госстандарт РК, 2006. – 10 с.

210. Методика выполнения измерений «Определение содержания искусственных радионуклидов плутония-(239+240), стронция-90 в биологических объектах»: утв. ген. дир. РГП ИЯФ МЭ РК 10.07.2017: зарегистр. в реестре ГСИ РК 10.11.2017 № KZ.07.00.03614-2017. – Алматы: РГП ИЯФ РК, 2017. – 26 с.

211. ГОСТ 27262-87 «Корма растительного происхождения. Методы отбора проб». – Введ. 1988-07-01. – Астана : Изд-во стандартов: госуд. стандарт Союза ССР, 1987. – 9 с.

212. Радиационная обстановка на территории СССР в 1990 г./ под ред. Махонько К.П.// Ежегодник Госкомгидромет СССР. – Обнинск: НПО «Гайфун», 1991. – 215 с.

Монография
«Комплексное радиозоологическое обследование
Семипалатинского испытательного полигона»

Авторы-составители:
Э.Г. Батырбеков, А.О. Айдарханов,
В.А. Витюк, Н.В. Ларионова,
М.А. Умаров

Верстка: Горшкова Т.А.
Корректор: Бакирова А.М.

Формат 60/90 1/8.
Печать офсетная. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 39.
Заказ №1223. Тираж 500.

Национальный ядерный центр Республики Казахстан
г. Курчатов, ул. Бейбіт атом, 2Б

Отпечатано в ТОО «Надежда 2050»
г. Кокшетау, ул. Баймуканова, 3

Э.Г. Батырбеков, А.О. Айдарханов,
В.А. Витюк, Н.В. Ларионова, М.А. Умаров

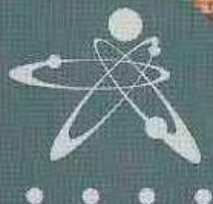
КОМПЛЕКСНОЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

2021

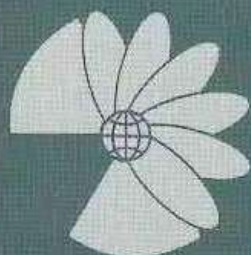
В книге представлены результаты комплексного радиозоологического обследования территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона.

Обследование проводилось специалистами Национального ядерного центра Республики Казахстан в период с 2008 по 2021 годы.

Результаты данной работы позволили определить текущее радиационное состояние территории, выявить участки, представляющие опасность для человека и окружающей среды и участки, которые, потенциально, могут быть переданы в хозяйственный оборот. Книга рассчитана на специалистов в области радиозоологии, радиационной безопасности, охраны окружающей среды, а также на широкий круг читателей, интересующихся актуальными вопросами экологического состояния бывшего Семипалатинского испытательного полигона.



30-летию закрытия
Семипалатинского
испытательного
полигона посвящается...



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР
Г. КУРЧАТОВ