

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

УДК504.064:614.8:539.16

Круглыхин Александр Александрович

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РАДИОНУКЛИДНОГО МОНИТОРИНГА
ЯДЕРНЫХ СОБЫТИЙ И РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ В НЯЦ РК**

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

(прикладные исследования)

Руководитель: Турченко Д.В.,
начальник группы ОРСМОС.

г. Курчатов, 2020 г.

АВТОР

Круглыхин Александр Александрович

инженер группы исследования радиационного состояния и мониторинга
воздушной среды ОРСМОС,

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии», РГП «НЯЦ РК»,
1992 года рождения,

Образование высшее (Томский Политехнический Университет, 2015 г),

специальность – инженерная защита окружающей среды,

квалификация по диплому – инженер - эколог,

работает в филиале «ИРБЭ» РГП «НЯЦ РК» с 2015 г,

общий стаж работы – 8,3 года.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Инженер группы

исследования радиационного

состояния и мониторинга ОРСМОС



22.04.2020

Круглыхин А.А.

подпись, дата

Начальник группы

исследования радиационного

состояния и мониторинга ОРСМОС



22.04.2020

Турченко Д.В.

подпись, дата

Начальник отдела

разработки систем мониторинга

окружающей среды ИРБЭ



22.04.2020

Ляхова О.Н.

подпись, дата

Круглыхин А.А
**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РАДИОНУКЛИДНОГО МОНИТОРИНГА ЯДЕРНЫХ СОБЫТИЙ И
РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ В НЯЦ РК**

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

071100, ВКО, г. Курчатов, ул. Красноармейская, 2,
тел. 8(72251)2-34-13
факс 8(72251)2-28-06
E_mail: kruglykhin@nnc.kz.

РЕФЕРАТ

Работа 17 страниц, 6 рисунков, 6 таблиц, 6 источника.

Объект исследования: воздушная среда.

Цель работы: Разработка методических рекомендаций для контроля за содержанием радионуклидов и радиоактивных благородных газов в воздухе.

Задачи исследований:

1. Изучение и выбор аппаратурных комплексов и методических подходов для проведения исследований.
2. Комплексное обследование места размещения станции радионуклидного мониторинга.
3. Оценка возможных источников загрязнения воздушной среды.

Методика исследований:

Станцию международного радионуклидного мониторинга планируется разместить в г. Курчатове на территории НЯЦ РК. На основании предварительного анализа инфраструктуры НЯЦ, метеорологических параметров и расстояния от зданий выбрано несколько потенциальных мест для размещения оборудования радионуклидной станции мониторинга. На выбранных 3 участках проведены комплексные радиологические исследования окружающей среды (почва, воздух), а также изучена возможность создания необходимой инфраструктуры (прокладка коммуникаций). Отбор проб и радионуклидный анализ объектов окружающей среды проводился в соответствии методиками и инструкциями, утвержденными НЯЦ РК.

По результатам проведенных исследований определен единственный участок для размещения оборудования радионуклидной станции мониторинга. На выбранном участке подготовлено бетонное основание для размещения 20 футового контейнера, проложены соответствующие инженерные коммуникации, по периметру участка смонтировано ограждение и освещение.

Для изучения динамики концентрации естественных радионуклидов в воздухе в месте размещения радионуклидной станции мониторинга проводился непрерывный отбор проб воздушных аэрозолей в течении года.

Результат работ:

Изучена динамика концентрации радионуклидов в воздушной среде на участке предполагаемого размещения радионуклидной станции. Проведенные экспериментальные исследования позволили определить основные факторы, которые влияют на загрязнение воздушной среды (взвешенные частицы, метеорологические параметры). По результатам проведенных мониторинговых наблюдений и экспериментальных исследований определены механизмы формирования радиоактивного загрязнения воздушной среды. Полученные данные будут использоваться для создания и эксплуатации станции радионуклидного мониторинга в Казахстане.

Актуальность:

В рамках исполнения договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) на территории Республики Казахстан мониторинг ядерных событий осуществляется только сейсмическими и ультразвуковыми станциями. Однако, эти станции не позволяют в полной мере определить происхождение того или иного события, и достоверно определить его природу - ядерный или химический взрыв, землетрясение либо иное событие. С этой целью, в ОДВЗЯИ предусмотрен другой тип контроля - радионуклидный мониторинг твердых частиц и благородных газов в воздухе при помощи станции радионуклидного мониторинга. На сегодняшний день на территории Республики Казахстан подобные станции отсутствуют.

Научная новизна:

В ходе выполнения данной работы рассмотрены и изучены методы определения радионуклидов в воздушной среде. Выбрано несколько участков и обосновано место для размещения станции радионуклидного мониторинга в г. Курчатова, на базе НЯЦ РК. Подготовлены рекомендации по основному и вспомогательному оборудованию для проведения экспериментальных исследований. В месте предполагаемого размещения радионуклидной станции получены количественных данных о содержании естественных и техногенных радионуклидов в воздушной среде. Определены возможные источники поступления радионуклидов в воздушную среду выбраны контролируемые радионуклиды.

Практическая значимость:

Разработка системы радионуклидного мониторинга ядерных событий и радиационных аварий позволит обеспечить функционирование радионуклидной станции в Казахстане на высоком уровне, что послужит усилению существующей международной сети мониторинга, а также будет являться одним из ключевых факторов для дальнейшего сотрудничества Казахстана и других стран в рамках ДВЗЯИ.

Личный вклад автора:

Публикации:

1. «Уровни радиоактивного загрязнения воздушной среды на следах радиоактивных выпадений от ядерных испытаний на СИП (1949, 1951 и 1953 гг.)» / Вестник НЯЦ РК. - Курчатова, 2018. - Вып. 4. – С. 165-170.

2. Комплексные исследования в месте предполагаемого размещения радионуклидной станции мониторинга в Казахстане / Journal of Radiation Researches, Vol.6, N2, 2018, Vaku, С. – 261.

**ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ, УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СИМВОЛОВ,
ЕДИНИЦ И ТЕРМИНОВ**

Бк/м³ – Беккерель на кубический метр,

СТОРБ – санитарные требования по обеспечению радиационной безопасности, №201от 03.02.2012 г.

ДВЗЯИ – Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний

ЭРОА радона – эквивалентная равновесная объемная активность радона

ППР – плотность потока радона

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. ИЗУЧЕНИЕ И ВЫБОР АППАРАТУРНЫХ КОМПЛЕКСОВ И МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ УРОВНЯ СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ И РБГ В ВОЗДУХЕ	6
1.1. Выбор и обоснование контролируемых параметров и необходимых методик определения радионуклидов в воздушной среде	8
1.2. Методы определения благородных газов и воздушных аэрозолей.	9
2. КОМПЛЕКСНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ УЧАСТКА ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ СТАНЦИИ РАДИОНУКЛИДНОГО МОНИТОРИНГА	9
3. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ	13
ВЫВОДЫ	17
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	17

ВВЕДЕНИЕ

В рамках исполнения договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) на территории Республики Казахстан мониторинг событий осуществляется только сейсмическими и ультразвуковыми станциями. Ближайшие к Казахстану сертифицированные станции радионуклидного мониторинга расположены в Монголии (Улан-Батор), в Кувейте и Российской Федерации (Новосибирск).

Совместное регистрирование сейсмического события и выявление повышенных концентраций радионуклидов в воздухе позволит достоверно определить «природу» происхождения антропогенного события (ядерный или химический взрыв), что внесет существенный вклад в развитие системы мониторинга в Казахстане и в мировом сообществе в целом.

В случае пиковых изменений концентраций одного или нескольких радионуклидов в атмосферном воздухе, опираясь на результаты проведенного исследования, можно будет провести качественную оценку влияния на окружающую среду и население, а также определить источник радионуклидного загрязнения воздуха.

Целью данной работы является Разработка методических рекомендаций для контроля за содержанием радионуклидов и радиоактивных благородных газов в воздухе.

Для достижения цели были решены следующие задачи:

1. Обзор методических подходов для проведения исследований.
2. Выбор и обоснование места размещения станции радионуклидного мониторинга.
3. Оценка возможных источников загрязнения воздушной среды.

1. ИЗУЧЕНИЕ И ВЫБОР АППАРАТУРНЫХ КОМПЛЕКСОВ И МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ УРОВНЯ СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ И РБГ В ВОЗДУХЕ

В воздушной среде радионуклиды могут находиться в различном молекулярно-дисперсном состоянии, например, радиоактивные благородные газы (изотопы радона, криптона и ксенона) или в виде аэрозолей (продукты распада радона). При определении содержания радионуклидов в воздушной среде широко применяются аспирационные методы отбора проб.

Определения воздушных аэрозолей. Для определения концентрации воздушных аэрозолей в воздухе используется метод осаждения воздушных аэрозолей на фильтрующий элемент. Воздушный фильтр подготавливается с использованием промышленного пресса 10 т и анализируется гамма-спектрометрическим методом на содержание необходимых гамма-излучающих радионуклидов. Полученный спектр обрабатывается, путем определения энергетических линий на спектре и идентифицируется радионуклид. С помощью программного обеспечения для каждой энергетической линии определяются абсолютная активность, которая, с учетом объема прокачанного воздуха через фильтр, пересчитывается в объемную активность. Данный метод позволяет определять содержание радионуклидов различного, как естественного (^{210}Pb , ^{212}Pb и ^7Be), так и техногенного (^{241}Am , ^{137}Cs , ^{131}I и ^{140}Ba) происхождения.

Как правило, все стадии процесса отбора и анализа проб воздушных аэрозолей проводятся в ручном режиме. Существуют также установки типа RASA, которые могут определять наличие радиоактивных аэрозолей в автоматическом режиме, в этом случае оператор только обслуживает установку 1 раз в месяц.

Недостатком аспирационного метода являются большая трудоемкость отбора проб, и большое усреднение концентрации определяемого вещества в воздухе за продолжительный период времени. Выбор методики отбора проб воздушных аэрозолей зависит от периода полураспада радионуклида (короткоживущие и долгоживущие). Как правило, отбор проб воздуха проводится стационарным пробоотборным устройством с

расходом воздуха не менее 500 м³/ч. Замена фильтрующего элемента осуществляется 1 раз в сутки, что позволяет оценить динамику изменения концентрации радионуклидов в атмосферном воздухе. Для исключения потерь при определении концентрации короткоживущих радионуклидов, отобранные образцы воздуха подготавливаются с использованием промышленного пресса и измеряются на гамма-спектрометрическом оборудовании детектором из особо чистого германия.

Определения благородных газов. При определении изотопов ксенона атмосферный воздух принудительно пропускают через специальное устройство по очистке, в котором удаляются различного рода загрязнители (частицы пыли, водяных паров и различные химических элементы). Далее производится охлаждение воздуха до температуры, при которой образуется жидкий кислород. В кислороде содержатся повышенные концентрации ксенона и криптона по сравнению с атмосферным воздухом.

Пробу кислорода путём естественного испарения в газификаторе уменьшают до требуемого объёма и затем перерабатывают на специализированной установке, состоящей из газификатора и сорбера с цеолитом NaX. В процессе газификации кислорода, ксенон и криптон сорбируются в цеолитовом сорбере. Далее газовая фаза десорбируется с сорбера в спектрометрическую ампулу с активированным углем, который играет роль ловушки радона. Достижимый коэффициент очистки от радона примерно 105.

С помощью измерительных устройств (гамма-, бета-спектрометр) определяется содержание радиоактивных изотопов ксенона (¹³¹mXe, ¹³³Xe, ¹³³mXe, ¹³⁵Xe) в измеряемом образце.

Для определения изотопов ксенона в воздухе (¹³¹mXe, ¹³³Xe, ¹³³mXe, ¹³⁵Xe) как наиболее оптимальные, выбраны специальные установки Sauna (Франция), Spalax (Швеция) или Arix (Россия). Система SAUNA разработана в Swedish Defence Research Agency и коммерциализирована в 2004. SAUNA позволяет отбирать 2 образца в день, в течение 12 часов общий объёмом воздуха на 1 пробу составляет 15 м³. В системе используется спектрометрическое оборудование, так называемое «бета-гамма совпадение».

Система ARIX разработана и коммерциализирована Радиевым Институтом им. В.Г.Хлопина в Российской Федерации. Образцы ARIX объёмом до 15 м³ воздуха отбираются в течение 12 часов. Аналогично, как и SAUNA система ARIX позволяет отбирать 2 образца в день и также используется анализ «бета-гамма совпадений».

Система SPALAX разработана French Commissariat à l'énergieatomique. Оборудование отбирает 1 образец в сутки объёмом до 75 м³. По окончании каждого цикла отбора пробы и окончательной ее очистки ксенон передается в счетную систему с германиевым детектором высокого разрешения.

Все необходимое для отбора и анализа благородных газов оборудование размещено внутри 20 футового контейнера. Процесс отбора воздуха и подготовки образцов в данных установках полностью автоматизирован. Измерение полученных образцов проводится оператором с использованием β- и γ- спектрометров с высоким разрешением.

Для выявления источников поступления радионуклидов в воздушную среду проводится анализ метеорологических данных. Рассчитывается обратная траектория движения воздушных масс и определяется преимущественное направление ветра.

Согласно работам Бойера [2] и Финкельштейна [3], отношение активностей ¹³⁵Xe/¹³³Xe при наступлении равновесия в реакторной зоне достигает 0,24–0,33. Сравнение полученных экспериментальных отношений с равновесными позволит рассчитать время, прошедшее между выходом изотопов ксенона из реактора и моментом его измерения в отобранной пробе воздуха. Расчет обратной траектории переноса атмосферных масс проводится по дисперсионной транспортной модели HYSPLIT, разработанной лабораторией ARL.

Выбросы радионуклидов криптона и ксенона могут фиксироваться на значительных расстояниях от источника образования радионуклидов. Наличие в пробе воздуха двух радионуклидов ^{133}Xe и ^{135}Xe позволяет оценить расстояние от источника выброса до точки пробоотбора. С помощью имеющихся моделей атмосферного переноса можно рассчитывать концентрацию радионуклидов в момент выброса. Измерение криптона и ксенона, выделенных из проб жидкого кислорода, позволяет получать данные о содержании радионуклидов в небольшом интервале по времени.

Описанные методы определения радионуклидов в воздухе применяются на станциях международного радионуклидного мониторинга. Эти методы хорошо себя зарекомендовали при выявлении ядерных событий и инцидентов в любой части мира.

1.1. Выбор и обоснование контролируемых параметров и необходимых методик определения радионуклидов в воздушной среде

Летучесть и отсутствие химических реакций контролируемого радионуклида повышает вероятность длительного нахождения элемента в атмосфере в течение периода его миграции от места ядерного события до радионуклидной станции мониторинга.

При делении ядер урана или плутония образуются короткоживущие техногенные радионуклиды ^{134}Cs (2 года), ^{131}I (8 суток), ^{140}Ba (12,8 суток). Однако, наилучшими характеристиками обладают радиоактивные изотопы ксенона, которые являются летучими и, при нормальных условиях, не вступают в химические реакции с окружающей средой.

Основными радионуклидами ксенона, образующимися в результате реакции ядерного деления, являются ^{133}Xe ($T_{1/2} = 5,245$ сут), ^{135}Xe ($T_{1/2} = 9,1$ ч), ^{133m}Xe ($T_{1/2} = 2,19$ сут) и ^{131m}Xe ($T_{1/2} = 11,9$ сут). Наиболее часто встречающимся из этого семейства является ^{133}Xe , так как он имеет наиболее высокий выход при делении и сравнительно большой период полураспада, что позволяет фиксировать этот радионуклид на значительных расстояниях от места его образования.

При подземном ядерном взрыве, ксенон не образует соединений ни с одним из химических элементов и, благодаря этому, беспрепятственно попадает в атмосферу, затем медленно вымывается осадками. Так, после аварии на Фукусиме, повышенные концентрации ксенона в северном полушарии Земли через несколько недель регистрировались повсеместно, а их значения были, в отличие от радионуклида ^{137}Cs , в разных местах северного полушария практически одинаковы [4].

По соотношению концентраций $^{133}\text{Xe}/^{135}\text{Xe}$ выбросы АЭС отличаются от выбросов при ядерных взрывах. Но, из-за малого времени облучения, выбросы с радиофармацевтических предприятий практически не отличаются от ядерных взрывов по соотношению концентраций данных радионуклидов. Для установления места, где произведен выброс, используется метод построения линий, откуда приходят воздушные массы с ветром, где каждому моменту времени соответствуют свои координаты.

Рекомендуется проводить радионуклидный мониторинг ядерных событий на участках, где происходит обильное перемешивание слоев атмосферы. Как свидетельствует ряд исследований [5,6] в таких местах наблюдаются повышенные концентрации ^7Be , генерируемого под воздействием космического излучения в верхних слоях атмосферы, а также пониженные значения концентрации ^{210}Pb , который является показателем эманации из почвы продуктов распада радона (^{222}Rn).

При изучении радионуклидного состава атмосферы, также следует уделить внимание радиоактивным аэрозолям ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{106}Ru , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am и ^{99}Tc , изменение концентрации которых может свидетельствовать о возникновении чрезвычайной ситуации на предприятиях ЯТЦ.

С целью выбора и обоснования контролируемых параметров и радионуклидов для проведения мониторинга воздушной среды был проведен литературный обзор по воздушным выбросам в процессе различных ядерных событий (аварий). В результате

проведенного анализа выбран универсальный набор радионуклидов, который позволит различать ядерные события, как на региональном, так и на международном уровне, а именно:

- маркерные радионуклиды ^{134}Cs , ^{131}I , ^{140}Ba , ^{133}Xe , ^{135}Xe ядерного события (аварии на АЭС и ядерные испытания);
- радионуклиды ^7Be , ^{210}Pb , как вспомогательные параметры, характеризующие изменение климатических условий местности;
- другие радионуклиды ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{106}Ru , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am и ^{99}Tc характеризующие ядерные события на предприятиях ЯТЦ.

1.2. Методы определение благородных газов и воздушных аэрозолей.

Современная станция международного радионуклидного мониторинга включает в себя несколько различных методов определения радиоактивных веществ в атмосферном воздухе. К этим методам относятся определение аэрозолей и благородных газов в воздушной среде. Для наблюдения и прогнозной оценки климатических изменений атмосферного воздуха используется метеорологическая станция. Массив полученных данных анализируется и передается по выделенным спутниковым каналам связи в Международный Центр Данных (МЦД).

Для определения изотопов ксенона в воздухе ($^{131\text{m}}\text{Xe}$, ^{133}Xe , $^{133\text{m}}\text{Xe}$, ^{135}Xe) как наиболее оптимальные, выбраны специальные установки Sauna (Франция), Spalax (Швеция) или Arix (Россия). Система SAUNA разработана в Swedish Defence Research Agency и коммерциализирована в 2004. SAUNA позволяет отбирать 2 образца в день, в течение 12 часов общий объем воздуха на 1 пробу составляет 15 м^3 . В системе используется спектрометрическое оборудование, так называемое «бета-гамма совпадение».

Система ARIX разработана и коммерциализирована Радиевым Институтом им. В.Г.Хлопина в Российской Федерации. Образцы ARIX объемом до 15 м^3 воздуха отбираются в течение 12 часов. Аналогично, как и SAUNA система ARIX позволяет отбирать 2 образца в день и также используется анализ «бета-гамма совпадений».

Система SPALAX разработана French Commissariat à l'énergieatomique. Оборудование отбирает 1 образец в сутки объемом до 75 м^3 . По окончании каждого цикла отбора пробы и окончательной ее очистки ксенон передается в счетную систему с германиевым детектором высокого разрешения.

Все необходимое для отбора и анализа благородных газов оборудование размещено внутри 20 футового контейнера. Процесс отбора воздуха и подготовки образцов в данных установках полностью автоматизирован. Измерение полученных образцов проводится оператором с использованием β - и γ - спектрометров с высоким разрешением.

2. КОМПЛЕКСНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ УЧАСТКА ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ СТАНЦИИ РАДИОНУКЛИДНОГО МОНИТОРИНГА

Строительство станции международного радионуклидного мониторинга подразумевает подготовку технико-экономического обоснования, выбор и обследование участков для строительства станции на территории Казахстана, создание инфраструктуры, подбор и приобретение оборудования, монтаж, наладку оборудования и специальных приемо-передающих систем, сертификацию оборудования и методик, эксплуатацию и техническое обслуживание станции. Станция международного радионуклидного мониторинга будет включать в себя: оборудование для контроля благородных газов на базе мобильного контейнера, оборудование для контроля твердых частиц, метеорологическое оборудование, оборудование для контроля эксплуатационных параметров и защиты от проникновения посторонних лиц.

В соответствии с инструкцией ОДВЗЯИ, основным критерием для выбора места строительства станции радионуклидного мониторинга является отсутствие препятствий воздушных масс (лесопосадки, здания и сооружения)

Идеальным местом является плоский ландшафт на достаточном удалении от высоких препятствий, таких как здания или деревья. Минимальное расстояние от возможного препятствия должно быть в пять раз больше высоты купола растительности или препятствия (Рисунок 1.

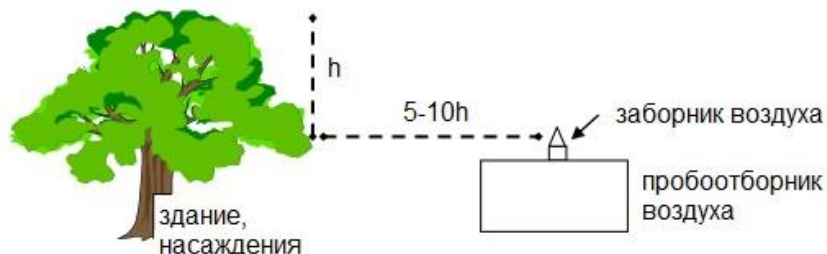


Рисунок 1 – Расположение пробоотборного устройства.

Общая географическая информация. Город Курчатов расположен в северо-западной части Восточно-Казахстанской области, в левобережье реки Иртыш, на границе Восточно-Казахстанской и Павлодарской областей. Территория города занимает 11,2 тыс. га. Расстояние от города Курчатов до крупных населенных пунктов Усть-Каменогорска – 330 км; до г. Семей – 130 км; Астаны – 800 км; Алматы – 1100 км.

Территория вблизи г. Курчатова занимает крайнюю северо-восточную часть Казахского мелкосопочника с переходом в плоскую равнину, полого наклоненную в сторону долины реки Иртыш. Относительные превышения рельефа составляют 10-15 м, абсолютная высота рельефа варьирует в пределах 150-300 м. Ландшафты представлены низкогорными массивами, отдельными горными грядами, сопками и межсочными равнинами, понижениями под сухими и опустыненными степями. Растительный покров является характерным для зоны сухих степей и представлен полынно-злаковой ассоциацией.

Климатические особенности региона. Климат Восточно-Казахстанской области резко-континентальный. Зима холодная и продолжительная. Самый холодный месяц - январь, со средней месячной температурой воздуха $-12, -17^{\circ}\text{C}$, в некоторых местах $-23, -27^{\circ}\text{C}$. Температура самого теплого месяца, июля, $15-24^{\circ}\text{C}$. Минимальные температуры воздуха зимой достигают $-20, -32^{\circ}\text{C}$, а абсолютный минимум в отдельные зимы достигает $-51, -54^{\circ}\text{C}$. Абсолютная максимальная температура воздуха достигает $35-45^{\circ}\text{C}$. Теплый период со средней суточной температурой выше 0° на северо-востоке области длится меньше 200 дней (горные и предгорные районы), на юге области от 200 до 230 дней (степные, полупустынные и пустынные районы).

Распределение годового количества осадков неравномерно. На северо-востоке области 400-650 мм (горные и предгорные районы), наименьшее количество осадков выпадает в районах межгорных впадин - менее 200 мм в год. Максимум осадков на большей части территории приходится на лето, чаще всего на вторую половину.

Средние скорости ветра равны 2-5 м/с. Однако в отдельных районах области сильные ветры (15 м/с и больше) не являются исключением. В среднем за год на большей части территории области преобладают ветры юго-восточных и южных направлений, в южной части - восточные и северо-восточные.

По результатам изучения территориальных и климатических особенностей местности был выбран участок для предполагаемого строительства станции радионуклидного мониторинга.

Измерения МЭД. Для определения радиометрических параметров, на каждом участке отбора проб почвы, проводилось измерение МЭД. Измерения МЭД и плотности

потока β -частиц проводились на высоте 1 м с использованием радиометра-дозиметра МКС-АТ6130. В таблице (Таблица 1) представлены результаты радиометрических измерений на участках обследования.

Таблица 1 - Результаты радиометрических измерений на участках обследования в месте отбора проб почвы

Точка отбора	Координаты		Расстояние, м	МЭД, мкЗв/ч	Бета, част/(мин*см ²)
	Широта	Долгота			
Центр	50° 45' 11,1"	78° 31' 42,0"	0	0,15	>10
Северо-запад	50° 45' 10,1"	78° 31' 51,7"	65	0,12	>10
Юго-запад	50° 45' 06,7"	78° 31' 51,8"	77	0,10	>10
Восток	50° 45' 08,7"	78° 31' 58,0"	75	0,11	>10

Измеренные значения мощности эквивалентной дозы (МЭД) на участках обследования составляют: на участке 1 – 0,11 мкЗв/ч, на участке 2 – 0,15 мкЗв/ч, на участке 3 – 0,11 мкЗв/ч. Плотность потока β -частиц на всех участках обследования составляла <10 част/см²·мин.

Измерение ЭРОА радона и ППР. Среднее измеренное значение ЭРОА радона для выбранного участка составляет 8 Бк/м³, минимальное значение – 5 Бк/м³, максимальное значение – 18 Бк/м³. Среднее значение ППР составляет 53 Бк/м², минимальное значение – 33 Бк/м², максимальное значение – 76 Бк/м².

Оценка радиоактивного загрязнения воздушной среды. Для оценки уровней радиоактивного загрязнения воздушной среды на выбранном участке проведен отбор проб воздушных аэрозолей с использованием стационарного пробоотборника воздуха «Бриз». Отбор проб воздуха проводился непрерывно на протяжении 3 суток. Средний объем прокаченного воздуха через фильтр, для каждой пробы воздуха, составлял 77 000 м³.



Рисунок 2. Отбор проб воздушных аэрозолей с использованием стационарного пробоотборника воздуха «Бриз»

Отобранные пробы воздуха анализировались гамма-спектрометрическим методом на содержание ¹³⁷Cs, ⁷Be, ²¹⁰Pb, ²¹²Pb с использованием гамма-спектрометра ORTEC (GMX25P4-70-CW). Результаты объемной активности естественных и техногенных радионуклидов представлены в таблице (Таблица 2).

Таблица 2. Объемная активность естественных и техногенных радионуклидов на территории ИРБЭ

Дата отбора	Объемная активность радионуклидов, Бк/м ³			
	²¹⁰ Pb	⁷ Be	²¹² Pb	¹³⁷ Cs
23.06.2018	$1,5 \times 10^{-4} \pm 0,2 \times 10^{-4}$	$4,0 \times 10^{-3} \pm 0,4 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-2} \pm 0,1 \times 10^{-2}$	$< 4,0 \times 10^{-6}$

Дата отбора	Объемная активность радионуклидов, Бк/м ³			
	²¹⁰ Pb	⁷ Be	²¹² Pb	¹³⁷ Cs
26.06.2018	$1,0 \times 10^{-4} \pm 0,1 \times 10^{-4}$	$3,0 \times 10^{-3} \pm 0,3 \times 10^{-3}$	$6,0 \times 10^{-3} \pm 0,6 \times 10^{-3}$	$< 4,0 \times 10^{-6}$
29.06.2018	$< 2,0 \times 10^{-5}$	$2,5 \times 10^{-3} \pm 0,3 \times 10^{-3}$	$6,0 \times 10^{-3} \pm 0,6 \times 10^{-3}$	$< 2,5 \times 10^{-6}$

В период с 20.02.2017 по 31.01.2018 гг. на территории ИРБЭ г. Курчатова проводились мониторинговые наблюдения за текущим состоянием воздушной среды. Отбор проб воздуха проводился ежедневно с использованием пробоотборника Бриз, средний объем прокачанного воздуха на воздушном фильтре составлял 25000 м³. Отобранные пробы воздуха анализировались на содержание естественных радионуклидов ⁷Be, ²¹⁰Pb. Объемная активность радионуклидов пересчитывалась на момент отбора с учетом периода полураспада ⁷Be, ²¹⁰Pb.

В таблице (Таблица 3) представлено среднегодовое содержание естественных радионуклидов ⁷Be и ²¹⁰Pb в воздушной среде г. Курчатова за период с 20.02.2017 по 31.01.2018 гг.

Таблица 3. Среднегодовое содержание естественных радионуклидов ⁷Be и ²¹⁰Pb в воздушной среде г. Курчатова.

Расчётное значение	Объемная активность радионуклидов, Бк/м ³	
	²¹⁰ Pb	⁷ Be
Среднее	$4,2 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-3}$
Минимальное	$3,0 \times 10^{-5}$	$9,5 \times 10^{-5}$
Максимальное	$3,0 \times 10^{-3}$	$5,0 \times 10^{-3}$

На рисунках (Рисунок 3, Рисунок 4) представлена динамика изменения концентрации естественных радионуклидов ⁷Be и ²¹⁰Pb в воздушной среде г. Курчатова.

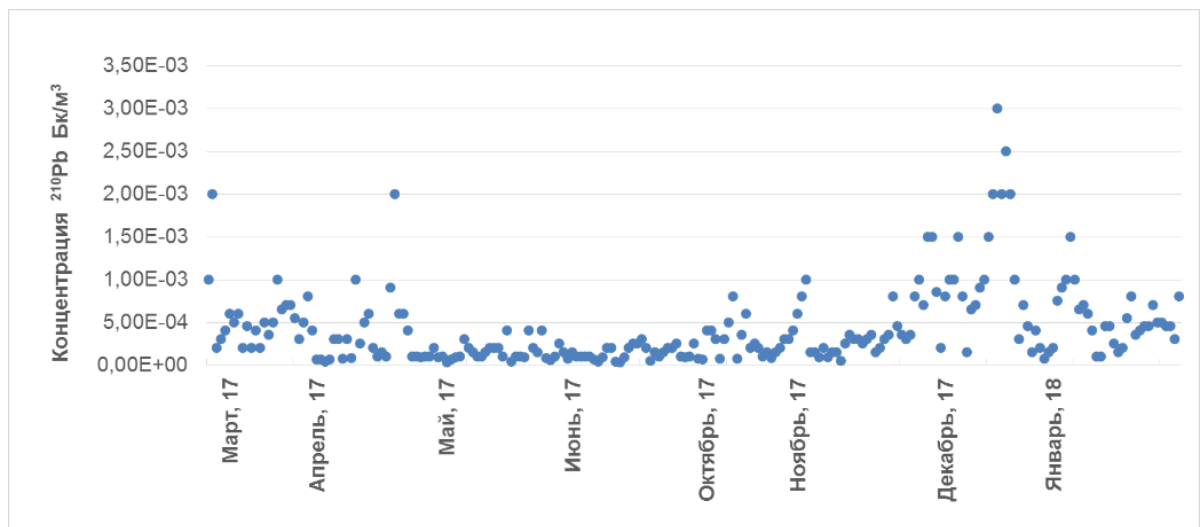


Рисунок 3. Динамика изменения концентрации ²¹⁰Pb в воздухе г. Курчатова

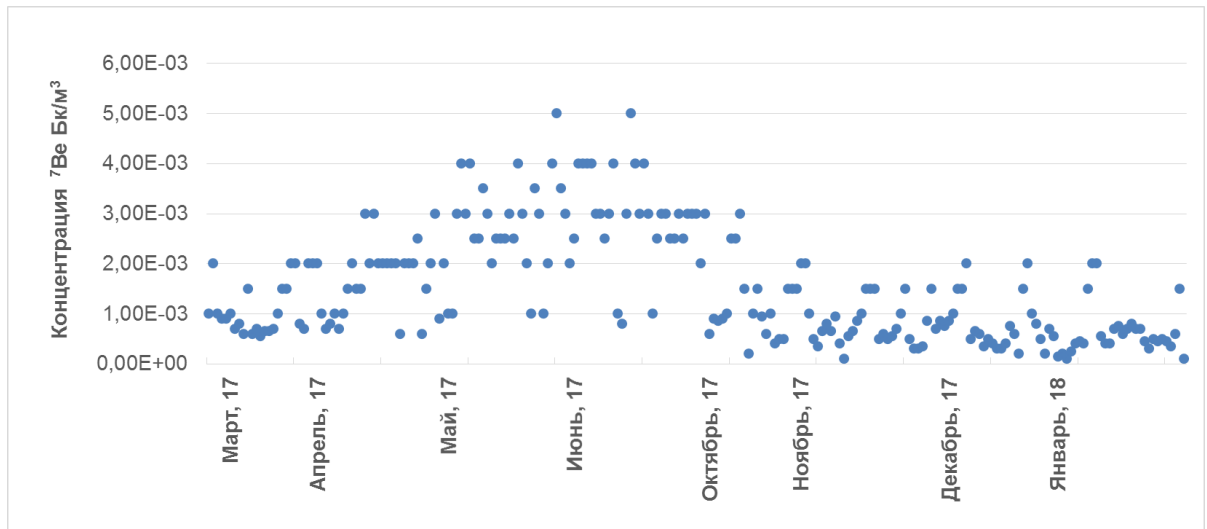


Рисунок 4. Динамика изменения концентрации ^7Be в воздухе г. Курчатов

Результаты проведенных работ показали, что содержание техногенного радионуклида ^{137}Cs в атмосферном воздухе находится на уровне предела обнаружения ($<4,5 \cdot 10^{-6}$ Бк/м³). Содержание естественных радионуклидов находится на уровне фоновых значений для данного региона Казахстана.

Оценка радиоактивного загрязнения почвы. Для оценки радиоактивного загрязнения почвы в месте предполагаемого размещения радионуклидной станции проведен отбор проб почвы. Точки отбора проб почвы располагались непосредственно на участке размещения радионуклидной станции (центр) и на расстоянии 70-100 м в северо-западном, юго-западном и восточном направлениях. Отбор проб почвы проводился на глубину 0,15 см, масса пробы составляла 0,5 кг. Отобранные пробы почвы подготавливались в лабораторных условиях и измерялись гамма-спектрометрическим методом на содержание естественных (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) и техногенных (^{137}Cs и ^{241}Am) радионуклидов. В таблице (Таблица 4) представлены результаты удельной активности радионуклидов на участке обследования.

Таблица 4 - Удельная активность радионуклидов в почве на участках обследования

Точка отбора	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг				
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs	^{241}Am
Центр	15 ± 2	25 ± 3	850 ± 100	5 ± 1	< 1
Северо-Запад	10 ± 1	18 ± 2	800 ± 100	5 ± 1	< 1
Юго-Запад	15 ± 2	15 ± 2	850 ± 100	3 ± 1	< 2
Восток	7 ± 1	30 ± 3	850 ± 100	< 1	< 1

Наличия повышенных концентраций естественных и техногенных радионуклидов в почве не обнаружено. Средняя концентрация естественных и техногенных радионуклидов в объектах окружающей среды рассматриваемой территории находится на уровне фона глобальных выпадений для данного региона Казахстана.

3. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

Для оценки потенциальных возможных источников загрязнения в месте предполагаемого размещения станции радионуклидного мониторинга ядерных событий и аварий определены расстояния до ближайших возможных источников радиоактивного загрязнения воздушной среды в Казахстане.

Расстояние до ближайших научно-исследовательские реакторов и учреждений, по переработке урана или использующих радиоизотопы в Казахстане:

- ИВГ-1М, Институт Атомной Энергии, г. Курчатов – 66,2 км;
- ИГР, Институт Атомной Энергии, г. Курчатов, – 48,2 км.
- ВВРК, Институт Ядерной Физики, г. Алматы – 831,1 км;
- БН-350, г. Актау – 2195,6 км.
- Ульбинский Металлургический Завод, г. Усть-Каменогорск – 301,85 км;
- Онкологический центр, г. Семей – 124,3 км.

На основании проведенного анализа установлено, что в районе участка предполагаемого расположения радионуклидной станции отсутствуют какие-либо значимые источники радиоактивного загрязнения воздушной среды, ближайшие реакторные комплексы и учреждения не оказывают влияние на воздушную среду г. Курчатов.

С целью разработки системы радионуклидного мониторинга регулярно проводилось изучение информации, касающейся различных радиационных и ядерных событий или инцидентов, как на территории Республики Казахстан, так и во всем мире. К таким событиям относятся аварии на атомных электростанциях, объектах ядерно-топливного цикла, компаниях по производству радионуклидных фармацевтических препаратов, степные и лесные пожары на радиоактивно-загрязненных территориях, испытание ядерного оружия. Так например в период с 27 марта по 15 апреля 2011 года на территории Казахстана было обнаружено увеличение концентрации радионуклидов ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs в воздушной среде, связанное с радиационной аварией в Японии на АЭС Фукусима-1. Наряду с учеными всего мира, научно-исследовательскими лабораториями НЯЦ РК в г. Курчатов был зафиксирован факт присутствия в воздухе техногенного радионуклида ^{134}Cs , объемная активность которого достигала $1,0-1,4 \cdot 10^{-4}$ Бк/м³. Результаты лабораторных исследований в графическом виде представлены на рисунке 5.

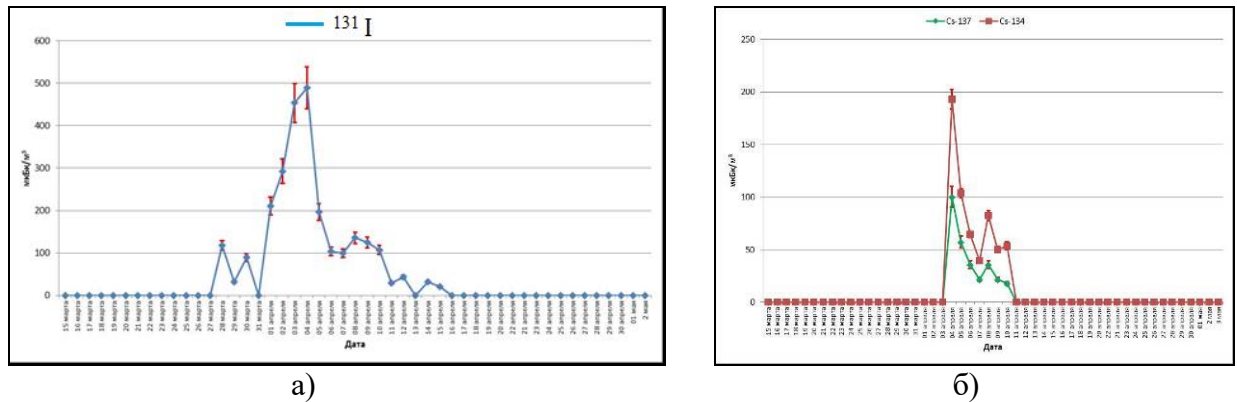


Рисунок 5. а) Характер распределения ^{131}I . б) Характер распределения ^{134}Cs и ^{137}Cs в воздухе г. Курчатов

Авария на АЭС "Фукусима-1" оказала определенное влияние на уровень радионуклидного загрязнения воздушного бассейна Республики Казахстан. При этом максимальные значения по ^{131}I в 14 500 раз ниже уровня допустимой объемной активности в воздухе для населения. В настоящее время концентрация техногенных радионуклидов ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs в воздухе находится на фоновом уровне.

В период с 13.09.2017 по 06.10.2017 г.г. мониторинговыми наблюдениями воздушной среды на объектах «ИГР» и КИР «Байкал» зафиксировано наличие радионуклида ^{106}Ru в атмосферном воздухе. Максимальная концентрация ^{106}Ru в воздухе составила $7 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³, что не превышает ДООА для категории население, установленной гигиеническими нормативами «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности».

Впервые о появлении рутения в воздушной среде было сообщено в конце сентября специалистами ряда Европейских стран (Германии, Австрии и Швейцарии). Вероятнее всего, появление ^{106}Ru в атмосферном воздухе связано с неким «ядерным инцидентом» на территории Европы. Полученные результаты мониторинговых наблюдений хорошо согласуются с информацией, полученной из зарубежных источников [7,8].

Еще одним инцидентом стал взрыв, произошедший 8 августа 2019 г. на военноморском полигоне в г. Северодвинске, Архангельской области РФ во время испытания ракеты предположительно с радиоизотопным источником. Согласно анализу, метеорологических данных, в период с 12.08.2019 г. по 19.08.2019 г. предполагаемое загрязнение от взрыва должно было перемещаться в направлении Республики Казахстан.

Для оценки возможного воздействия данного инцидента на радиоактивное загрязнение воздушной среды в Казахстане, в месте предполагаемого размещения радионуклидной станции проведены утоняющие исследования.

Для определения концентрации естественных и техногенных радионуклидов в воздушной среде в месте предполагаемого размещения радионуклидной станции проводился непрерывный отбор проб воздушных аэрозолей. Отбор проб проводится стационарным пробоотборником воздуха Бриз, с производительностью $1100 \text{ м}^3/\text{ч}$. Замена воздушного фильтра осуществлялась 1 раз в месяц с января по октябрь. Всего отобрано 10 проб. Отобранные пробы воздуха подготовлены и проанализированы γ -спектрометрическим методом на содержание естественных (^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^7Be , ^{210}Pb , ^{212}Pb) и техногенных (^{241}Am , ^{137}Cs , ^{106}Ru , ^{131}I) радионуклидов, с использованием γ -спектрометра ORTEC.

В таблицах (таблица 5, 6) представлены результаты определения объемной активности естественных и техногенных радионуклидов в месте предполагаемого размещения радионуклидной станции.

Таблица 5 – Объемная активность естественных радионуклидов в месте предполагаемого размещения радионуклидной станции

Период наблюдений	Объемная активность радионуклидов, Бк/м ³					
	^{40}K	^{232}Th	^{226}Ra	^7Be	^{210}Pb	^{212}Pb
Январь	$(3,0\pm 0,3)\times 10^{-6}$	$<2,5\times 10^{-7}$	$(9,0\pm 0,9)\times 10^{-6}$	$(2,0\pm 0,2)\times 10^{-3}$	$(2,0\pm 0,2)\times 10^{-3}$	$(4,0\pm 0,4)\times 10^{-7}$
Февраль	$(5,5\pm 0,6)\times 10^{-5}$	$<8,5\times 10^{-7}$	$(6,5\pm 0,7)\times 10^{-6}$	$(1,5\pm 0,2)\times 10^{-3}$	$(2,0\pm 0,2)\times 10^{-3}$	$(1,0\pm 0,1)\times 10^{-6}$
Март	$(1,5\pm 0,1)\times 10^{-6}$	$<9,5\times 10^{-8}$	$(1,5\pm 0,2)\times 10^{-6}$	$(8,0\pm 0,8)\times 10^{-4}$	$(4,5\pm 0,4)\times 10^{-4}$	$(1,0\pm 0,1)\times 10^{-7}$
Апрель	$(1,5\pm 0,1)\times 10^{-5}$	$<6,0\times 10^{-7}$	$<5,5\times 10^{-7}$	$(3,5\pm 0,4)\times 10^{-3}$	$(8,0\pm 0,8)\times 10^{-4}$	$(9,0\pm 0,9)\times 10^{-7}$
Май	$(1,0\pm 0,1)\times 10^{-6}$	$<6,1\times 10^{-7}$	$<6,0\times 10^{-7}$	$(3,2\pm 0,4)\times 10^{-3}$	$(4,5\pm 0,4)\times 10^{-4}$	$(6,5\pm 0,6)\times 10^{-7}$
Июнь	$(7,5\pm 0,7)\times 10^{-6}$	$<4,5\times 10^{-7}$	$<2,5\times 10^{-7}$	$(1,5\pm 0,1)\times 10^{-3}$	$(1,5\pm 0,1)\times 10^{-4}$	$(4,5\pm 0,5)\times 10^{-7}$
Июль	$(1,0\pm 0,1)\times 10^{-4}$	$(1,5\pm 0,2)\times 10^{-6}$	$(1,5\pm 0,2)\times 10^{-6}$	$(1,5\pm 0,1)\times 10^{-3}$	$(1,5\pm 0,2)\times 10^{-4}$	$<1,0\times 10^{-6}$
Август	$(4,5\pm 0,5)\times 10^{-4}$	$<8,0\times 10^{-6}$	$(2,5\pm 0,3)\times 10^{-3}$	$(4,0\pm 0,4)\times 10^{-3}$	$<2,0\times 10^{-4}$	$(4,0\pm 0,4)\times 10^{-4}$
Сентябрь	$(3,0\pm 0,3)\times 10^{-6}$	$<2,5\times 10^{-7}$	$(9,0\pm 0,9)\times 10^{-6}$	$(2,0\pm 0,2)\times 10^{-3}$	$(2,0\pm 0,2)\times 10^{-3}$	$(9,1\pm 0,9)\times 10^{-5}$
Октябрь	$(1,5\pm 0,2)\times 10^{-4}$	$<1,0\times 10^{-6}$	$<6,5\times 10^{-7}$	$(1,5\pm 0,2)\times 10^{-3}$	$(2,0\pm 0,2)\times 10^{-4}$	$(1,0\pm 0,1)\times 10^{-5}$

Таблица 6 – Объемная активность техногенных радионуклидов в месте предполагаемого размещения радионуклидной станции

Период наблюдений	Объемная активность радионуклидов, Бк/м ³			
	^{241}Am	^{137}Cs	^{106}Ru	^{131}I
Январь	$<1,0\times 10^{-7}$	$<6,0\times 10^{-8}$	$<7,0\times 10^{-7}$	$<2,0\times 10^{-6}$
Февраль	$<1,0\times 10^{-7}$	$<1,0\times 10^{-7}$	$<6,0\times 10^{-7}$	$<9,0\times 10^{-7}$
Март	$<4,5\times 10^{-8}$	$<2,0\times 10^{-8}$	$<3,0\times 10^{-7}$	$<8,5\times 10^{-7}$
Апрель	$<2,0\times 10^{-7}$	$<7,5\times 10^{-8}$	$<8,5\times 10^{-7}$	$<1,5\times 10^{-6}$
Май	$<2,5\times 10^{-7}$	$<6,5\times 10^{-8}$	$<5,8\times 10^{-7}$	$<2,5\times 10^{-6}$
Июнь	$<7,0\times 10^{-8}$	$<4,0\times 10^{-8}$	$<4,0\times 10^{-7}$	$<9,2\times 10^{-7}$
Июль	$<5,5\times 10^{-7}$	$<1,5\times 10^{-7}$	$<8,5\times 10^{-7}$	$<8,6\times 10^{-7}$
Август	$<7,5\times 10^{-7}$	$<2,0\times 10^{-7}$	$<5,5\times 10^{-7}$	$<9,3\times 10^{-7}$
Сентябрь	$<6,8\times 10^{-7}$	$<1,3\times 10^{-7}$	$<7,4\times 10^{-7}$	$<1,8\times 10^{-6}$
Октябрь	$<7,0\times 10^{-7}$	$<2,0\times 10^{-7}$	$<1,5\times 10^{-6}$	$<2,0\times 10^{-7}$

Результаты проведенных работ показали, что объемная активность естественных радионуклидов в воздушной среде находится на уровне природного радиационного фона для данного региона Казахстана. Концентрация техногенных радионуклидов ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{106}Ru и ^{131}I в атмосферном воздухе составила менее предела обнаружения используемого аппаратурно-методического обеспечения. Возникший инцидент в г. Северодвинск не оказал воздействия на воздушную среду Республики Казахстан.

Для оценки возможных климатических изменений проведен сравнительный анализ естественных радионуклидов ^7Be и ^{210}Pb в воздухе. В случаях, когда радионуклидная станция зафиксировала радиационное событие, но источник радиационного события не установлен, данные радионуклиды являются своеобразными индикаторами движения и перемешивания воздушных масс. Анализ концентрации радионуклидов ^7Be и ^{210}Pb в воздухе, совместно с метрологическими параметрами, позволит оценить возможные направления воздушных масс и приблизительное расстояние от радиационного источника.

Динамика изменения концентрации естественных радионуклидов ^7Be и ^{210}Pb в воздушной среде на исследуемой территории представлена на рисунке (Рисунок 6).

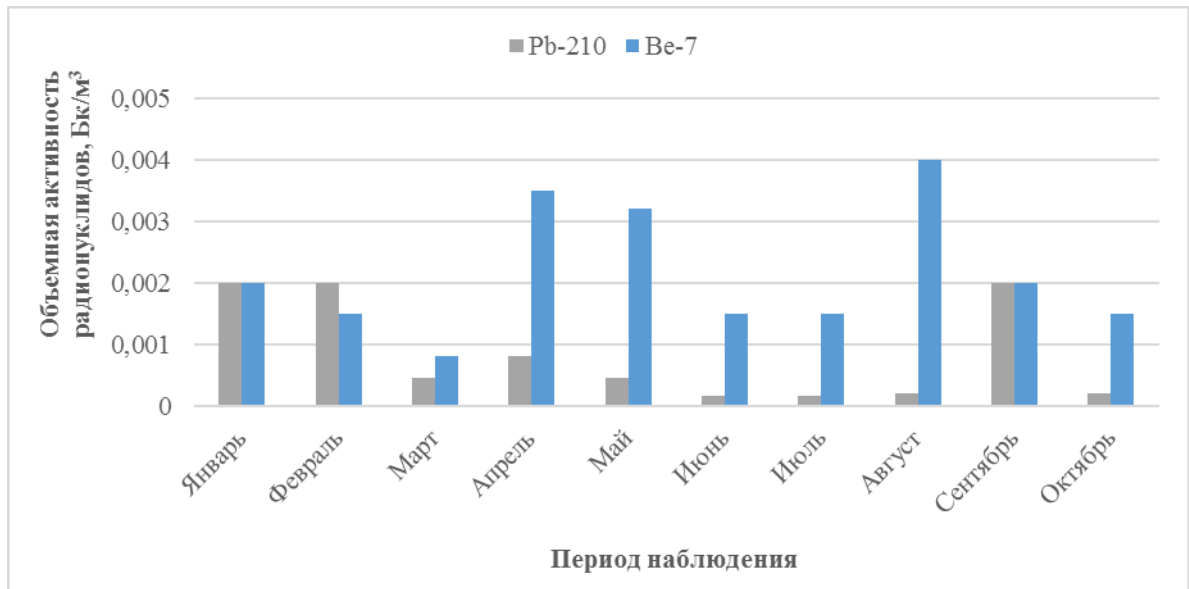


Рисунок 6 – Динамика изменения концентрации естественных радионуклидов ^7Be и ^{210}Pb в воздушной среде на исследуемой территории

Проведенный сравнительный анализ показал, что изменение концентрации радионуклидов ^7Be и ^{210}Pb в воздухе связано с сезонными климатическими изменениями приземной атмосферы (изменение направления атмосферных фронтов). При этом, максимальные концентрации радионуклида ^{210}Pb наблюдаются в зимний период (январь, февраль), минимальные – в летний период (июнь, июль), максимальные концентрации радионуклида ^7Be наблюдается в апреле и августе. Полученные результаты содержания естественных радионуклидов в воздухе хорошо согласуются с результатами международных исследований.

Таким образом, выбранный участок в г. Курчатов удовлетворяет международным требованиям ДВЗЯИ, предъявляемым к местам расположения радионуклидных станций мониторинга.

ВЫВОДЫ

В результате выполнения данной работы рассмотрены и изучены методы определения радионуклидов в воздушной среде. Выбран и обоснован участок для размещения станции радионуклидного мониторинга в г. Курчатов.

В месте предполагаемого размещения радионуклидной станции проведены экспериментальные исследования, направленные на получение количественных данных о содержании естественных и техногенных радионуклидов в почве и воздушной среде.

Средняя концентрация естественных и техногенных радионуклидов в окружающей среде рассматриваемой территории находится на уровне фона глобальных выпадений для данного региона Казахстана. Анализ полученных данных показал, что выбранные участки удовлетворяют международным требованиям ДВЗЯИ, предъявляемым к местам расположения радионуклидных станций мониторинга.

Изучены основные факторы, обусловленные воздействием загрязненных территорий на радиоактивное загрязнение атмосферного воздуха. Установлено, что основное влияние на воздушную среду в условиях радиоактивного загрязнения оказывает концентрация взвешенных частиц в приземном слое атмосферы. При этом данный показатель зависит от метеорологических параметров, таких, как скорость, направление ветра, относительная влажность воздуха и количество осадков.

Исследована динамика изменения концентрации естественных (^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^7Be , ^{210}Pb , ^{212}Pb) и техногенных (^{241}Am , ^{137}Cs , ^{106}Ru , ^{131}I) радионуклидов в воздушной среде на участке предполагаемого размещения радионуклидной станции. Установлено, что концентрации радионуклидов в атмосферном воздухе находятся на уровне фона глобальных выпадений для данного региона Казахстана.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Турченко Д.В., Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О., Паницкий А.В., Оценка состояния загрязненности воздушного бассейна на испытательной площадке «Опытное поле» при проведении сельскохозяйственных работ, Вестник НЯЦ РК, Выпуск 4, декабрь 2013, стр 59.
2. Bowyer T., Meyers R.A. et al. Xenon Radionuclides, Atmospheric, Monitoring // Encyclopedia of Environmental Analysis and Remediation. – Wiley, 1998. - P. 12.
3. Finkelstein, Y. Fission Product Isotope Ratios as Event Characterization Tools: Radioxenon Isotopic Activity Ratios // Kerntechnik. - 2001. - Vol.66. - Part II. - № 5–6. - P. 229-236.
4. Axelsson, A., Ringbom A. The noble gas releases from Fukushima some implications and reflections // СТВТО SPECTRUM 20. - 2013. - P. 16.
5. Бураева Е.А., Стасов В.В., Малышевский В.С. и др. Сезонное поведение ^7Be в приземном слое воздуха г. Ростова-на-Дону // Физико-математические науки, Фундаментальные исследования. – 2013. - № 1. - С. 8.
6. Дружинин С.В., Киселев Г.П., Очеретенко А.В. и др. Особенности распределения бериллия-7 в атмосферных выпадениях и растениях европейского севера России // Матер. IV Междунар. конф., 4-8 июня 2013 г. – Томск, 2013. - С. 28.
7. <https://newizv.ru/news/incident/14-10-2017/nikto-ne-hotel-priznavat-no-ruteniy-106-letaet-nad-evropoy>.
8. <http://tass.ru/proisshestviya/4634282>