

УДК 581.5:551.578.46: 546.11.02.3

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

Турченко Д.В., Ляхова О.Н., Круглыхин А.А.

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатова, Казахстан*

В статье рассмотрен вопрос создания радионуклидной станции мониторинга в Республике Казахстан с целью регистрации ядерных событий и радиационных аварий. Представлены методы определения радионуклидов в воздушной среде и рекомендации к выбору основного и вспомогательного оборудования для проведения отбора и анализа проб воздуха. Рассмотрен выбор участка для размещения станции радионуклидного мониторинга в г. Курчатова, на базе НЯЦ РК, в соответствии с требованиями Организации Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ОДВЗЯИ). Приведены данные о содержании естественных и техногенных радионуклидов в воздушной среде в месте планируемого размещения станции.

### ВВЕДЕНИЕ

С начала развития атомной энергии в военных и мирных целях, которое началось еще в первой половине XX века, с каждым годом возрастает проблема загрязнения окружающей среды техногенными радионуклидами. Источниками поступления таких радионуклидов в окружающую нас среду являются: атмосферные, наземные и подземные ядерные взрывы; выбросы радиоактивных веществ как при штатной работе атомных предприятий и электростанций, так и в случае аварийных ситуаций; использование ядерных технологий и источников радиоактивности в различных отраслях народного хозяйства и т. д.

Продолжающееся с годами развитие этой проблемы, в свою очередь, вызвало интенсивный рост систем радиоактивного мониторинга воздушной среды с целью проведения многолетних наблюдений за развитием радиационной обстановки. Анализ таких данных позволяет оценивать экологическую безопасность отдельных предприятий ядерного топливного цикла (ЯТЦ), выявлять нарушения в обращении с радиационно-опасными материалами, прогнозировать возможность возникновения аварийных ситуаций, и что не менее важно – осуществлять наблюдения за изменением радиационной ситуацией в мире.

В мировой практике контроль радионуклидного загрязнения воздуха принято осуществлять при помощи станций радионуклидного мониторинга, которые расположены по всему миру и входят в международную сеть мониторинга (МСМ). Такие станции используются для качественной идентификации того или иного ядерного события или инцидента, когда необходимо иметь представление о содержании определенных радионуклидов в воздушной среде. В случае резких повышений их концентрации в атмосферном воздухе, опираясь на полученные со станций данные, можно не только установить природу произошедшего события, но и провести оценку влияния на окружающую среду. В мире существуют станции радионуклидного мониторинга 2-х типов: для контроля твердых аэрозольных частиц и контроля благородных газов в воздухе [1].

На территории Республики Казахстан эксплуатируется Банк низкообогащенного топлива при участии МАГАТЭ, рассматривается вопрос строительства атомной электростанции, действуют производства по добыче природного урана и предприятия ядерного топливного цикла (ЯТЦ), в связи с чем возникает необходимость в обеспечении контроля за радиоактивным загрязнением воздушной среды. Однако, на сегодняшний день, на территории Казахстана станции подобного типа отсутствуют.

Создание станции радионуклидного мониторинга в Казахстане позволило бы более достоверно определять «природу» происхождения различных антропогенных событий, и внести существенный вклад в развитие системы мониторинга как в Казахстане, так и в мировом сообществе.

С целью создания такой станции, в ноябре 2017 года между Министерством энергетики РК и Министерством иностранных дел, торговли и развития Канады заключен Меморандум о взаимопонимании по имущественному вкладу в Радионуклидную станцию мониторинга благородных газов (далее – Меморандум) для укрепления контроля за выполнением Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (далее – ДВЗЯИ).

Согласно Меморандуму, ответственным за эксплуатацию оборудования радионуклидной станции назначено подведомственное предприятие Министерства – Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» Министерства энергетики РК (далее – РГП НЯЦ РК). В этой связи, после подписания меморандума, РГП НЯЦ РК начал работу по подготовке площадки для размещения станции радионуклидного мониторинга, соответствующей инфраструктуры и инженерных коммуникаций. Все работы проводились в строгом соответствии требованиям ОДВЗЯИ.

В связи с этим, целью данной работы являлось проведение исследований, направленных на обоснованный выбор основных критериев для создания системы радионуклидного мониторинга ядерных собы-

тий и радиационных аварий на основе станции радионуклидного мониторинга и выбора участка для ее расположения.

Исследования проводились на базе РГП НЯЦ РК, в г. Курчатов, в рамках мероприятия «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» республиканской бюджетной программы 036 «Развитие атомных и энергетических проектов», подпрограммы 105 «Прикладные научные исследования технологического характера в сфере атомной энергетики» за 2018–2020 гг.

### 1 КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИСТОЧНИКОВ ПОСТУПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ

При разработке системы радионуклидного мониторинга воздушной среды, необходимо иметь в виду, что в окружающей среде изначально имеются естественные и искусственные радионуклиды, которые создают радиационный «фон». Он складывается из космического излучения, излучения от радионуклидов, находящихся в земной коре, воздухе и других объектах внешней среды природных радионуклидов, и излучения от искусственных (техногенных) радионуклидов, образовавшихся в результате деятельности предприятий атомной промышленности, ядерного топливного цикла, учреждениями, использующими радиоактивные вещества.

Как правило, основной вклад в естественную радиацию вносят радионуклиды  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$ , вместе с продуктами распада урана и тория, такими как  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ , изотопы свинца и висмута ( $^{212}\text{Pb}$ ,  $^{212}\text{Bi}$ ), также могут присутствовать  $^{210}\text{Rb}$  и  $^{210}\text{Po}$ . Свой вклад в естественную радиацию вносят и радионуклиды космического излучения – это  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$  и  $^{22}\text{Na}$ . При проведении исследований радиоактивного загрязнения воздушной среды естественные радионуклиды зачастую используются для изучения движения воздушных масс. Например,  $^7\text{Be}$  и  $^{210}\text{Pb}$ , используются для оценки изменения климатических условий местности, что в свою очередь, может оказать существенную пользу при определении места происхождения инцидента или аварии.

Существенный вклад в загрязнение атмосферы естественными и техногенными радионуклидами могут вносить месторождения радиоактивных и некоторых других полезных ископаемых, предприятия по добыче и переработки радиоактивного минерального сырья, естественные горные породы с повышенным содержанием радиоактивных элементов, природные воды с высоким содержанием радона, промышленные предприятия по добыче и переработке некоторых типов полезных ископаемых, в том числе угля, нефти и газа, ГРЭС и ТЭЦ, работающие на углях или горючих сланцах. Продукты распада радона поступают в атмосферу с золой при сжигании угля в ТЭЦ, в результате чего происходит выброс в атмосферу ряда радиоактивных элементов.

Одним из значимых источников загрязнения воздушной среды является ядерная энергетика. По состоянию на сегодняшний день в мире эксплуатируется 192 атомных электростанции, где используется 438 энергоблоков. Для обеспечения этих АЭС ядерным топливом необходимо ежегодно почти 4000 т природного урана. При ядерных реакциях, происходящих в активной зоне реактора, выделяются радиоактивные газы. Однако, расчеты показали, что радиоактивное воздействие на биосферу этих предприятий, при нормальной эксплуатации, не превышает 2% от местного радиационного фона. В основном, выбросы АЭС на 99,9% состоят из инертных радиоактивных газов (ИРГ). В процессе деления образуется около 20 радионуклидов криптона (Kr) и ксенона (Xe), из которых основной вклад в ИРГ вносят  $^{88}\text{Kr}$  (период полураспада ( $T_{1/2}$ ) = 2,8 ч),  $^{133}\text{Xe}$  ( $T_{1/2}$ =5,3 сут.) и  $^{135}\text{Xe}$  ( $T_{1/2}$ =9,2 ч), дающие различный вклад, в зависимости от типа реактора. Наиболее часто встречающимся из этого семейства является  $^{133}\text{Xe}$ , так как он имеет наиболее высокий выход при делении и сравнительно большой период полураспада, и вследствие высокой летучести его можно фиксировать на значительных расстояниях от места образования. Также, при делении ядер U или Pu образуются короткоживущие техногенные радионуклиды  $^{134}\text{Cs}$  (2 года),  $^{131}\text{I}$  (8 суток),  $^{140}\text{Ba}$  (12,8 суток). На их долю и долю других оставшихся радионуклидов приходится менее 1%. Характер и количество газообразных радиоактивных выбросов зависит от типа реактора и системы обращения с этими отходами [2], однако при возникновении аварии, всегда существуют риск существенного увеличения концентрации перечисленных радионуклидов в атмосферном воздухе.

Испытания ядерного оружия в атмосфере послужили существенному увеличению концентрации радиоактивных продуктов в воздушной среде во время их проведения. По данным ООН с 1945 до 1980 гг. произведено 423 атмосферных взрыва суммарной мощностью 545,4 Мт. В 1963 г. США, СССР и Великобритания подписали договор о прекращении экспериментальных ядерных взрывов в атмосфере, космическом пространстве и под водой. Франция отказалась присоединиться к этому договору и продолжала испытания ядерного оружия в атмосфере до 1974 г., а КНР – вплоть до 1980 г. Ядерное оружие испытывали на полигонах в Маралинге (Австралия), Семипалатинске (СССР), штате Невада близ Лас-Вегаса (США), на атолле Муруроа во французской Полинезии и в китайской провинции Синцзянь. При этих взрывах образовалось большое количество радионуклидов как в результате процессов деления ядра, так и при реакциях синтеза легких ядер. Принято считать, что выход продуктов деления пропорционален мощности взрыва за счет реакции деления, а выход нуклидов – за счет продуктов активации таких ядер, как например  $^3\text{H}$  и  $^{14}\text{C}$  – пропорционален мощности взрыва за счет реакции синтеза.

## 2 «РЕПЕРНЫЕ» РАДИОНУКЛИДЫ И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

### 2.1 Виды «реперных» радионуклидов

В случае появления избыточной радиации в атмосферном воздухе, необходимо не только определить концентрацию радионуклидов в нем, но и точно определить источник их образования, поскольку активность радионуклида не всегда характеризует его биологическую опасность. Так, например, 1 Бк  $^{210}\text{Po}$  отличается по своему биологическому действию на живой организм от 1 Бк  $^3\text{H}$  при поступлении внутрь организма, примерно, в 200 тысяч раз. В первом случае, практически в 100% случае наступит летальный исход, во втором случае, такая концентрация  $^3\text{H}$  вполне допустима [3]. В связи с этим, при поступлении какого-либо радионуклида в воздух, для оценки источника излучения, необходимо рассматривать каждый радионуклид отдельно. Это наиболее правильный подход, но не всегда удобный по временным затратам. Поэтому, при рассмотрении опасного радиационного инцидента, общепринятым считается метод использования реперных (наиболее показательных) радионуклидов, изучение которых позволит в краткие сроки сделать оценочные, а затем и более достоверные выводы [4–7].

Например, при подземных ядерных взрывах, изотопы Хе не образуют соединений ни с одним из химических элементов и, благодаря этому, беспрепятственно попадают в атмосферу, затем медленно вымываются осадками. Так, после аварии на Фукусиме, повышенные концентрации Хе в северном полушарии Земли через несколько недель регистрировались повсеместно, а их значения были в разных местах северного полушария практически одинаковы [8]. В зависимости от характера ядерного испытания или взрыва, после его возникновения также можно ожидать появления в воздухе повышенных концентраций  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ , которые вследствие своих физико-химических свойств могут легко перемещаться на большие расстояния относительно места их образования. Наличие повышенных концентраций данных радионуклидов по сравнению с фоновыми значениями, будут свидетельствовать о возникновении техногенного источника радиации. Это может быть не только ядерных взрыв, но и радиационной аварии либо незапланированные сверхнормативные выбросы на АЭС и других предприятиях ЯТЦ.

При этом, по соотношению концентраций  $^{133}\text{Xe}/^{135}\text{Xe}$  аварийные выбросы отличаются от выбросов при ядерных инцидентах (взрывах), следовательно, изучение их соотношений позволит определить природу радиационного инцидента. Сравнение полученных экспериментальных отношений с равновесными позволит рассчитать время, прошедшее между выходом изотопов ксенона из реактора и моментом его измерения в отобранной пробе воздуха.

В выбросах АЭС и после проведении ядерных испытаний, наряду с инертными радиоактивными газа-

ми, часто присутствуют радиоактивные аэрозоли, таких как  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  и  $^{99}\text{Tc}$ , увеличение концентрации которых в воздухе может свидетельствовать о возникновении чрезвычайной радиационной ситуации.

Значительное место среди короткоживущих радионуклидов в атмосфере занимают продукты распада радона и торона. Даже через сутки после отбора пробы, ее радиоактивность может быть обусловлена естественным  $^{212}\text{Pb}$ , период полураспада которого 10,6 ч. Кроме того, в пробах аэрозолей практически всегда присутствует космогенный радионуклид  $^7\text{Be}$  (53 суток) и  $^{210}\text{Pb}$  (22,3 г.).

Последние два радионуклида,  $^7\text{Be}$  и  $^{210}\text{Pb}$ , являются дочерними продуктами радона, и содержатся в приземном слое воздуха. Данные радионуклиды часто используются как маркерные при изучении распределения аэрозолей по слоям воздуха, а также концентрации аэрозольных частиц в воздушной среде.

Таким образом, универсальный набор радионуклидов, который позволит зафиксировать ядерные события и радиационные аварии, как на региональном уровне, так и в глобальном масштабе, может быть следующим:

- $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{133}\text{Xe}$ ,  $^{135}\text{Xe}$  присутствие которых в воздухе может свидетельствовать о ядерном событии (ядерное испытание) или радиационной аварии на предприятия ЯТЦ.

- присутствие радионуклидов  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{99}\text{Tc}$  и др. также может дополнительно характеризовать природу ядерного события, связанного с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду;

- радионуклиды  $^7\text{Be}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  и ряд других естественных радионуклидов могут использоваться как вспомогательные, характеризующие изменение климатических условий местности.

В случае ядерной или радиационной аварии либо иного радиационного инцидента, выбросы указанных радионуклидов в различных концентрациях могут фиксироваться на значительных расстояниях от источника. С помощью имеющихся моделей атмосферного переноса и анализа метеорологических данных можно рассчитывать концентрацию радионуклидов в момент выброса. Для этого рассчитывается обратная траектория движения воздушных масс и определяется преимущественное направление ветра [9].

### 2.2 Методы определения «реперных» радионуклидов в атмосферном воздухе

Специфика исследований воздушной среды заключается в том, что в большинстве случаев требуется определить очень малые количества вещества, измеряемые миллиграммами или их долями. Поэтому, используемые методы должны быть высокочувствительными, точными и быстрыми. Методы определения содержания радиоактивных веществ в воздухе

основаны на различных физических и химических явлениях, при этом важное значение имеет порядок осуществления контроля, выбор точек отбора проб, продолжительность и периодичность отбора, оценка результатов измерения загрязнения воздуха.

Для изучения содержания аэрозольных радиоактивных частиц в воздухе широко применяются аспирационные методы отбора проб, которые позволяют определять содержание радионуклидов как естественного ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{212}\text{Pb}$  и  $^7\text{Be}$ ), так и техногенного ( $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{140}\text{Ba}$  и др.) происхождения. Недостатком метода являются большая трудоемкость при проведении отбора проб, и большое усреднение концентрации определяемого вещества в воздухе за продолжительный период времени. Выбор методики отбора проб зависит от периода полураспада радионуклида (короткоживущие и долгоживущие). Как правило, отбор проб воздуха проводится стационарным аспирационным устройством, производительностью не менее  $500 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Для определения концентрации воздушных аэрозолей в воздухе используется метод осаждения воздушных аэрозолей на фильтрующий элемент. В качестве фильтрующего элемента для улавливания воздушных аэрозолей хорошо себя зарекомендовали себя фильтры АФА-РМ из метилакрилатного материала, для определения изотопного состава радиоактивных аэрозолей спектрометрическим методом – фильтры АФА-РСП из перхлорвинилового материала [10].

Частота замены фильтрующего элемента выбирается в зависимости от поставленных задач. Общепринятым является метод, когда отбор проб производится не реже 1 раза в сутки, что позволяет оценить динамику изменения концентрации радионуклидов в атмосферном воздухе, но может составлять и больший промежуток времени. При возникновении чрезвычайных ситуаций (аварийные выбросы, радиационные аварии) частота отбора может увеличиваться до 1 раза в час.

Перед проведением лабораторного анализа для определения гамма-излучающих радионуклидов, воздушные фильтры подготавливаются с использованием промышленного пресса (прессуются до необходимой геометрии, в соответствии с геометрией используемого спектрометрического комплекса). Метод озонения применять не желательно, во избежание потерь легколетучих элементов. Для определения содержания в пробе  $\gamma$ -излучающих радионуклидов проводятся прямые измерения, при определении альфа-, бета-излучающих радионуклидов – выполняется предварительная радиохимическая подготовка. Все подготовленные счетные образцы измеряются на соответствующем  $\alpha$ -,  $\beta$ -, и  $\gamma$ -спектрометрическом оборудовании с детекторами из особо чистого германия, типа *ORTEC* или *CANBERRA*, с высоким разрешением. Полученные спектры обрабатываются при помощи специальных программных пакетов, что позволяет определить качественный и количественный радионуклидный состав в измеряемом образце. Данный метод позволяет определять содержание радионук-

лидов как естественного ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{212}\text{Pb}$  и  $^7\text{Be}$  и др.), так и техногенного ( $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{131}\text{I}$  и  $^{140}\text{Ba}$  и др.) происхождения.

При определении концентрации радиоактивных благородных газов в воздушной среде, 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.

Пробу кислорода путем естественного испарения в газификаторе уменьшают до требуемого объема и затем перерабатывают на специализированной установке, состоящей из газификатора и сорбера с цеолитом. В процессе газификации кислорода,  $\text{Xe}$  и  $\text{Kr}$  сорбируются в цеолитовом сорбере. Далее газовая фаза десорбируется с сорбера в спектрометрическую ампулу с активированным углем, который играет роль «ловушки» радона, мешающего при определении концентрации данных радионуклидов.

Вышеописанный метод отбора и анализа проб благородных газов осуществляется при помощи специальных установок. Наиболее современные, из представленных в настоящее время на мировом рынке – это установки *SAUNA* (Швеция), *SPALAX* (Франция) и *ARIX* (Россия).

Системы *SAUNA* и *ARIX* позволяют отбирать 2 образца в день, в течение 12 часов общим объемом воздуха на 1 пробу составляет  $15 \text{ м}^3$ . В системе используется спектрометрическое оборудование с функцией регистрации бета-, гамма совпадений.

Принцип работы системы *SPALAX*, разработанной во Франции, основан на отборе 1 образца в сутки объемом до  $75 \text{ м}^3$ . По окончании каждого цикла отбора пробы и окончательной ее очистки, проба передается в счетную систему с германиевым детектором высокого разрешения.

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

Такие системы не требуют специальной технической оснащённости для установки, все необходимое оборудование для отбора и анализа благородных газов, твердых аэрозольных частиц может быть размещено внутри 20-футового контейнера. Процесс отбора воздуха и подготовки образцов в данных установках полностью автоматизирован и требует минимального вмешательства оператора.

Однако, необходимо понимать, что при создании станции радионуклидного мониторинга воздуха, необходимо соблюдать все требования, которые были разработаны ОДВЗЯИ. Данные требования диктуют необходимость качественного подхода к выбору места расположения станции мониторинга и регламен-

тирует правила проведения комплексного обследования выбранного участка.

### 3 ВЫБОР И КОМПЛЕКСНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ УЧАСТКА ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ СТАНЦИИ РАДИОНУКЛИДНОГО МОНИТОРИНГА

В связи с тем, что ответственным за эксплуатацию будущей станции радионуклидного мониторинга было назначено РГП «НЯЦ РК», выбор участков для ее расположения осуществлялся на территории данного предприятия. При выборе участков учитывались следующие важные критерии ОДВЗЯИ: площадка для оборудования должна быть размещена на открытом пространстве, хорошо проветриваемом со 4-х сторон; инфраструктура инженерных коммуникаций должна учитывать возможность непрерывной круглосуточной работы оборудования станции; территория вокруг площадки должна быть под круглосуточной охраной, чтобы исключить возможность проникновения посторонних лиц.

Комплексное обследование участков проводилось в соответствии с требованиями ОДВЗЯИ для размещения станций радионуклидного мониторинга, которое заключалось в радиологическом обследовании непосредственно самих участков и территории вокруг них.

#### 3.1 Выбор участка

Предполагаемые участки находятся на равнине, высота над уровнем моря составляет от 118 до 121 м. В 40 км в юго-юго-западном направлении расположен хребет Коския, протяженностью 1500 м с абсолютной отметкой 307 м над уровнем моря. В 120 км на юго-запад – хребет Муржик, который объединяет несколько горных массивов, также приурочен к тектонической структуре – главный Чингизский разлом (сотни километров). Самый высокий пик составляет 917,1 м.

На северо-востоке в 400-х метрах протекает р. Иртыш. Истоки Иртыша находятся на границе Монголии и Синьцзян-Уйгурского автономного района Китая, на восточных склонах хребта Монгольский Алтай.

Участки обследования характеризуются резко континентальным климатом. Из-за большой удаленности и отгороженности горными системами теплые и влажные воздушные массы с Атлантического океана доходят трансформированными, потерявшими большую часть влаги, а воздушные массы, проникающие с Северного Ледовитого океана – холодными и сухими. Зима в районе продолжительная, с редкими оттепелями, ветреная, малоснежная, лето – достаточно теплое, весна и осень прохладные, с довольно сильными ветрами, с умеренным количеством осадков. Среднее число дней в году с осадками – 143 дня. Средняя высота снежного покрова – 22,8 см.

В зимнее время года, по многолетним данным, преобладают юго-восточные (38,4%) и южные ветры (16,3%). В летнее время режим ветра резко меняется, преобладают ветры северо-западной (27,4%), запад-

ной (16,8%) и северной (14,9%) части горизонта и отмечается повышенная повторяемость штилей.

Идеальным местом для размещения радионуклидной станции является плоский ландшафт на достаточном удалении от высоких препятствий, таких как здания или деревья. Минимальное расстояние от участка размещения станции до возможного препятствия должно быть в пять раз больше высоты купола растительности или препятствия (рисунок 1).

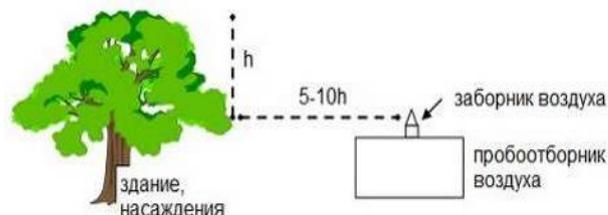


Рисунок 1. Расположение пробоотборного устройства

Согласно указанным критериям на территории г. Курчатова предварительно было выбрано 2 наиболее перспективных участка, на которых возможно размещение радионуклидной станции мониторинга. Схема расположения участков представлена на рисунке 2.

Для оценки возможных препятствий к прохождению воздушных потоков на каждом участке проведения топографическая съемка местности с определением высотной отметки. Построены карты с расстояниями от ближайших зданий и насаждений до участков. Согласно полученным результатам определено, что оба участка по их расположению, удовлетворяют требованиям ДВЗЯИ, близлежащие здания и насаждения не будут оказывать препятствие воздушным массам.

#### 3.2 Радиологическое обследование участков

Для оценки радиоактивного загрязнения окружающей среды, на выбранных участках проведены следующие виды работ: определение ЭРОА и плотности потока радона; измерение МЭД; определение естественных и техногенных радионуклидов в воздухе и почве.

##### 3.2.1 Определение ЭРОА и плотности потока радона

Измерения ЭРОА (эквивалентно равновесная объемная активность) радона и ППР (плотность потока радона) проводились на открытом воздухе в месте предполагаемого размещения радионуклидной станции, в течение календарного года. Периодичность измерения ЭРОА и ППР составляла 1 раз в 10 дней. Измерения ЭРОА и его дочерних продуктов распада проводилось радиометром радона РАМОН-02, измерения ППР – радиометром «Альфарад плюс». Всего проведено 80 измерений, из которых 40 измерений ЭРОА радона и 40 измерений ППР.

На рисунках 3 и 4 представлена динамика концентрации ЭРОА радона и ППР на исследуемой территории.

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



Рисунок 2. Расположение участков предполагаемого размещения радионуклидной станции на территории г. Курчатова



Рисунок 3. Динамика концентрации ЭРОА радона на исследуемой территории

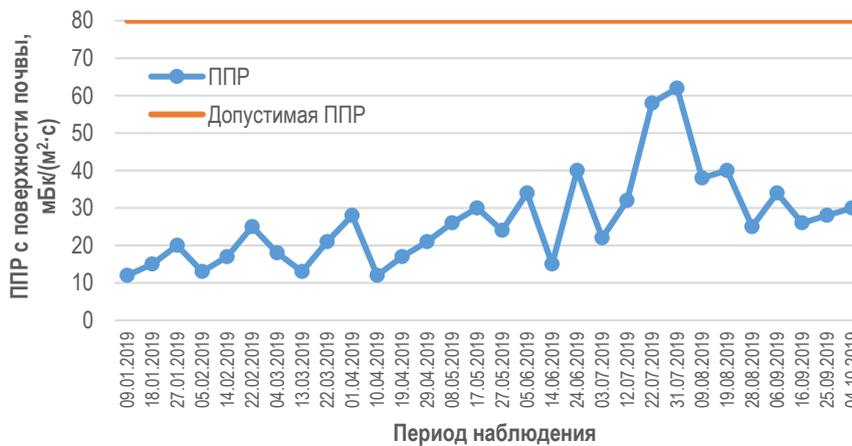


Рисунок 4. Динамика концентрации ППР на исследуемой территории

Установлено, что в месте предполагаемого размещения радионуклидной станции среднее значение ЭРОА радона составило  $14 \text{ Бк/м}^3$ , ППР –  $26,5 \text{ мБк/(м}^2\cdot\text{с)}$ . Проведенные исследования показали, что измеренные значения ЭРОА радона и ППР не превышают значение допустимой среднегодовой ЭРОА радона, равное  $100 \text{ Бк/м}^3$  и допустимое значение ППР, равное  $80 \text{ мБк/(м}^2\cdot\text{с)}$ , указанные в гигиенических нормативах [11].

### 3.2.2 Определение радиометрических параметров

Определение радиометрических параметров (МЭД, плотность потока  $\beta$ -частиц) проводилось в месте отбора проб почвы по 5 точкам – в центре, и по четырем углам, сориентированным по сторонам света. Измерения проводились в соответствии с методическими рекомендациями по радиационной гигиене «Измерения гамма-фона территории и помещений» [12]. Замеры проводились радиометром-дозиметром МКС-АТ6130 на высоте 1 м. В таблице 1 представлены результаты радиометрических измерений.

Таблица 1. Результаты радиометрических измерений на участках обследования

Участок	Точка отбора	Координаты		МЭД, мкЗв/ч	Бета, част/ (см <sup>2</sup> ·мин)
		широта	долгота		
Участок 1	центр	50° 45' 11,1"	78° 31' 42,1"	0,11	<10
	северо-запад	50° 45' 12,9"	78° 31' 39,5"	0,10	<10
	юго-запад	50° 45' 09,4"	78° 31' 39,3"	0,12	<10
	восток	50° 45' 11,2"	78° 31' 45,2"	0,10	<10
Участок 2	центр	50° 45' 11,1"	78° 31' 42,0"	0,15	<10
	северо-запад	50° 45' 10,1"	78° 31' 51,7"	0,12	<10
	юго-запад	50° 45' 06,7"	78° 31' 51,8"	0,10	<10
	восток	50° 45' 08,7"	78° 31' 58,0"	0,11	<10

Измеренные значения мощности эквивалентной дозы (МЭД) на участках обследования составляют: на участке 1 –  $0,11 \text{ мкЗв/ч}$ , на участке 2 –  $0,15 \text{ мкЗв/ч}$ . Плотность потока  $\beta$ -частиц на всех участках обследования составляла  $<10 \text{ част/см}^2\cdot\text{мин}$ . Таким образом, значения МЭД и плотности потока  $\beta$ -частиц в местах предполагаемого размещения радионуклидной станции находятся на уровне природного фона для данной местности.

### 3.2.3 Определение естественных и техногенных радионуклидов в воздухе

Для оценки уровня радиоактивного загрязнения воздушной среды проведен отбор проб воздушных аэрозолей (твердых аэрозольных частиц) и воздуха для определения содержания радиоактивных благородных газов (РБГ) в воздушной среде. Данные параметры необходимо было определить с целью получения начальных (фоновых) значений на участках обследования.

Для отбора проб воздушных аэрозолей использовалась аспирационная установка воздуха «Бриз», производительностью  $1500 \text{ м}^3/\text{ч}$  (рисунок 5, а). С целью изучения динамики изменения объемной активности радионуклидов в воздушной среде отбор 6-ти проб воздушных аэрозолей на каждом участке проводился непрерывно на протяжении 3 суток в 3-х кратной повторности. При этом, средний объем прокаченного воздуха через фильтр, для каждой пробы воздуха, составил порядка  $75\,000 \text{ м}^3$ . В качестве фильтра использовалась фильтрующая материя ФПП 15-1,5.



а)



б)

Рисунок 5. Отбор проб воздушных аэрозолей

*Таблица 2. Содержание естественных и техногенных радионуклидов в воздухе на участках обследования*

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

В рамках изучения уровня и динамики концентрации РБГ в воздушной среде в местах предполагаемого размещения радионуклидной станции проведен отбор 4-х проб воздуха. В качестве пробоотборного оборудования использовалась криогенная установка «Пурга», позволяющая производить отбор проб газоаэрозольных форм различных радиоактивных и нерадиоактивных примесных фракций, содержащихся в атмосферном воздухе (рисунок 5, б).

Анализ образцов проводился на гамма-спектрометрической установке CANBERRA с полупроводниковым детектором из особо чистого германия. Время экспозиции каждой пробы составляло 120 мин, погрешность измерений – не более 10%.

В таблице 2 представлено содержание естественных (<sup>210</sup>Pb, <sup>7</sup>Be, <sup>212</sup>Pb) и техногенных (<sup>137</sup>Cs) радионуклидов в образцах воздушных аэрозолей.

Результаты проведенных работ показали, что содержание техногенного радионуклида <sup>137</sup>Cs в атмосферном воздухе находится ниже уровня обнаружения ( $< 4,5 \cdot 10^{-6}$  Бк/м<sup>3</sup>). Содержание естественных радионуклидов находится на уровне фоновых значений для данного региона Казахстана.

По результатам исследований концентрации РБГ на обследуемых участках установлено, что их объемная активность в воздушной среде составила: <sup>41</sup>Ar –  $< 3,7$  Бк/м<sup>3</sup>, <sup>85m</sup>Kr –  $< 1,7$  Бк/м<sup>3</sup>, <sup>87</sup>Kr –  $< 3,1$  Бк/м<sup>3</sup>, <sup>88</sup>Kr –  $< 5,0$  Бк/м<sup>3</sup>, <sup>135</sup>Xe –  $< 1,5$  Бк/м<sup>3</sup>, <sup>138</sup>Xe –  $< 4,8$  Бк/м<sup>3</sup>. Полученные значения соответствуют уровню природного радиационного фона для данного региона Казахстана.

### **3.2.4 Определение естественных и техногенных радионуклидов в почве**

Для оценки радиоактивного загрязнения на поверхности, в местах предполагаемого размещения радионуклидной станции проведен отбор проб почвы. Для получения более полной картины радиационной ситуации на участках обследования, точки отбора проб располагались в центре участка (место предполагаемого размещения станции) и на расстоянии порядка 100 м в северо-западном, юго-западном и восточном направлениях от него. 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

(<sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K) и техногенных (<sup>137</sup>Cs и <sup>241</sup>Am) радионуклидов. В таблице 3 представлены результаты удельной активности радионуклидов на участках обследования.

*Таблица 3. Удельная активность радионуклидов в почве на участках обследования*

Место отбора	Точка отбора	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг				
		<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>241</sup> Am
Участок 1	центр	8 ± 1	20 ± 2	900 ± 100	2 ± 1	< 1
	северо-запад	10 ± 1	20 ± 2	950 ± 100	2 ± 1	< 1
	юго-запад	10 ± 1	18 ± 2	900 ± 100	< 1	< 1
	восток	20 ± 2	20 ± 2	850 ± 100	2 ± 1	< 1
Участок 2	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

Согласно полученным результатам, удельная активность техногенных радионуклидов <sup>137</sup>Cs и <sup>241</sup>Am составила менее предела обнаружения используемого аппаратно-методического обеспечения. Концентрация естественных и техногенных радионуклидов в почве на исследуемой территории находится на уровне фона глобальных выпадений для данного региона Казахстана.

### **Выводы и заключение**

В результате выполнения данной работы рассмотрены и изучены методы определения радионуклидов в воздушной среде. Рассмотрено оборудование для определения радиоактивных аэрозольных частиц и благородных газов. Изучены возможные источники радионуклидов в воздухе и вспомогательные контролируемые параметры. На основе результатов комплексного обследования выбраны и обследованы участки для размещения станции радионуклидного мониторинга в г. Курчатова на базе РГП НЯЦ РК. Изучены технические характеристики оборудования и подготовлены рекомендации для подготовки соответствующей инфраструктуры.

Необходимо понимать, что при создании системы радионуклидного мониторинга основными условиями для качественного функционирования методов

определения радионуклидов в воздухе является непрерывность получения данных, первичная обработка, анализ и передача данных для сбора, анализа и статистической обработки всего полученного массива. В этой связи, в дальнейшем, после установки станции на место, будут проведены работы по созданию системы контроля эксплуатационных параметров основного, пробоотборного и лабораторного оборудования, а также по защите от проникновения, как с использованием защитных ограждений, так и с помощью электронных средств, встроенных в оборудование (выключатели, сенсоры и др.).

После того, как радионуклидная станция будет введена в эксплуатацию и полностью готова к передаче данных в Международный центр данных (МЦД), необходимо пройти сертификацию. В ходе

этого процесса будет определено соответствие станции всем техническим параметрам, в том числе требованиям, предъявляемым к аутентификации данных и их передаче по каналу Инфраструктуры глобальной связи (ИГС) в МЦД ОДВЗЯИ в г. Вена, Австрия. С этого момента станция будет являться эксплуатационным объектом Международной сети мониторинга.

*Работа выполнена в рамках темы «Разработка системы радионуклидного мониторинга ядерных событий и радиационных аварий» РБП 036 «Развитие атомных и энергетических проектов», подпрограммы 105 «Прикладные научные исследования технологического характера в сфере атомной энергетики», мероприятие «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» на 2018–2020 гг.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Wernsperger B, Schlosser C. Noble gas monitoring within the International monitoring system of the comprehensive nuclear test-ban treaty // Radiation Physics and Chemistry. – 2004. – Vol. 71. – P. 775–779.
2. Гордиенко В. А., Показеев К. В., Старкова М. В. Экология. Базовый курс для студентов небиологических специальностей: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2014. – С. 483–504.
3. Панченко С.В., Линге И.И., Крышев И.И., Сазыкина Т.Г., Гераськин С.А., Радиоэкологическая обстановка в регионах расположения предприятий Росатома. // Под общей редакцией Линге И.И. и Крышева И.И. – М.: «САМ полиграфист», 2015. – 296 с.
4. Leppänen A., Mattila A., Kettunen M., Riitta, Kontro R., Artificial radionuclides in surface air in Finland following the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident // Journal of Environmental Radioactivity. – 2013. – Vol. 126. – P. 73–83.
5. Дубасов, Ю. Г. Содержание радионуклидов  $^{85}\text{Kr}$  и  $\text{Xe}$  в атмосферном воздухе Северо-Западного региона России в 2006–2008 гг. / Ю. В. Дубасов, Н. С. Окунев // Труды Радиового института им. В. Г. Хлопина. – Т. XV. – Санкт-Петербург, 2011. – с. 84.
6. Salbu, B. Challenges associated with the behaviour of radioactive particles in the environment / B. Salbu, V. Kashparov, O. Christian Lind [et al] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2018. – Vol. 186. – P. 101–115.
7. Warr, O. Tracing ancient hydrogeological fracture network age and compartmentalisation using noble gases // O. Warr, B. S. Lollar, J. Fellowes [et al] // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2018. – Vol. 222. – P. 340–362.
8. Axelsson, A., Ringbom A. The noble gas releases from Fukushima some implications and reflections // CTBTO SPECTRUM 20. – 2013. – P. 16.
9. Ngan F., Stein A., Finn D., Eckman R., Dispersion simulations using HYSPLIT for the Sagebrush Tracer Experiment // Atmospheric Environment. – 2018. – Vol. 186. – P. 18–31.
10. Физико-химические методы исследования вредных веществ в воздухе рабочей зоны. – С. 1. Режим доступа: [http://lib.kstu.kz:8300/tb/books/2018/RAiOT/Baytuganova\\_i\\_dr/Теория/5.htm](http://lib.kstu.kz:8300/tb/books/2018/RAiOT/Baytuganova_i_dr/Теория/5.htm).
11. Гигиенические нормативы «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» / Утверждены приказом министра национальной экономики Республики Казахстан от 27 февраля 2015 года – №155.
12. Проведение радиационно-гигиенического обследования территории и жилых и общественных зданий. Методика измерения гамма-фона территории и помещений (приложение № 4 к приказу Председателя Комитета государственного санитарно-эпидемиологического надзора от 8 сентября 2011 года № 194 «Об утверждении «Методических рекомендаций по радиационной гигиене»).

#### ҚР ҰЯО-ДА ЯДРОЛЫҚ ОҚИҒАЛАР МЕН РАДИАЦИЯЛЫҚ АПАТТАРДЫҢ РАДИОНУКЛИДТІК МОНИТОРИНГ ЖҮЙЕСІН ДАМУ

Д.В. Турченко, О.Н. Ляхова, А.А. Круглыхин

*ҚР ҰЯО «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Курчатова, Қазақстан*

Мақалада ядролық оқиғалар мен радиациялық апаттарды тіркеу мақсатында Қазақстан Республикасында мониторингілеудің радионуклидтік станциясын құру мәселесі қаралды. Ауа ортасындағы радионуклидтерді анықтау әдістері және ауа сынақтарын іріктеу және талдау жүргізу үшін негізгі және қосымша жабдықтарды таңдауға ұсыныстар берілген. ЯСЖТШ талаптарына сәйкес, ҚР ҰЯО базасында Курчатова қаласында радионуклидтік мониторингілеу станциясын орналастыру үшін учаскені таңдау қарастырылды. Станцияны орналастыру жоспарланған жердің ауа ортасындағы табиғи және техногендік радионуклидтердің құрамы туралы деректер келтірілді.

**DEVELOPMENT OF A RADIONUCLIDE MONITORING SYSTEM  
OF NUCLEAR EVENTS AND RADIATION ACCIDENTS IN NNC RK**

**D.V. Turchenko, O.N. Lyakhova, A.A. Kruglykhin**

*Branch "Institute of Radiation Safety and Ecology" RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan*

The article addresses the issue of building a radionuclide monitoring station in the Republic of Kazakhstan in order to register nuclear events and radiation accidents. Techniques for determining radionuclides in the air environment and recommendations for the choice of the main and auxiliary equipment to sample and analyze air are provided. The choice of a site for deploying the radionuclide monitoring station in Kurchatov city on the basis of NNC RK in accordance with CNTBT organization's requirements is addressed. Data on the content of naturally occurring and man-made radionuclides in the air environment at the planned station location is given.