

Радиационно-гигиенический мониторинг в местах применения ядерно-взрывных технологий в мирных целях и расчет доз облучения критических групп населения

В.П. Рамзаев, А.Ю. Медведев, В.С. Репин, М.А. Тимофеева, Е.В. Храмцов

ФГУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург

В данной статье изложены представления авторов об организации радиационно-гигиенического мониторинга на объектах, образовавшихся в результате применения ядерно-взрывных технологий в мирных целях. Сформулированы требования к методам отбора проб и проведения измерений, правилам регистрации измерений и картографического оформления результатов, критериям выбора критических групп населения и методам расчета дозы по результатам радиационно-гигиенического обследования. Отдельный раздел статьи касается порядка подготовки данных мониторинга для внесения в радиационно-гигиенический паспорт территории. Материалы статьи в первую очередь предназначены для работников органов Госсанэпиднадзора.

Ключевые слова: подземный ядерный взрыв, ядерно-взрывные технологии, критическая группа населения, радиационная гигиена, мониторинг, дозы облучения.

Введение

Несмотря на то, что с момента проведения последнего мирного ядерного взрыва (МЯВ) на территории РФ прошло более 20 лет, проблема обеспечения радиационной безопасности населения в местах проведения таких взрывов остается актуальной как для службы Госсанэпиднадзора, так и для других органов исполнительной власти [1]. Последствия применения ядерно-взрывных технологий (ЯВТ) в мирных целях по-прежнему находятся в поле зрения средств массовой информации и вызывают беспокойство у местного населения [2]. Результаты наших, сравнительно недавних, обследований десяти мест проведения МЯВ [1, 3–9], как и данные, полученные в результате других исследований [10–13], свидетельствуют в пользу того, что в некоторых случаях действительно имеются объективные основания для такого беспокойства. В частности, в местах проведения взрывов «Тайга» в Пермском крае, «Кристалл» и «Кратон-3» в Республике Саха (Якутия), «Глобус-1» в Ивановской области были обнаружены участки территории, на которых уровни загрязнения почвенного покрова и других объектов окружающей среды долгоживущими радионуклидами (РН) существенно превышали фоновые значения. Причем в некоторых пробах почвы и растений, отобранных на территориях, прилегающих к местам проведения этих взрывов, содержание РН было столь велико, что позволяло отнести такие образцы к категории радиоактивных отходов.

Так, в пробах почвы, отобранных на объекте «Кратон-3» в 2001 г., удельная активность ^{90}Sr достигала значения 190 Бк/г [3], что почти в 2 раза выше уровня минимально-значимой удельной активности (МЗУА) – 100 Бк/г для данного радионуклида [14]. При этом содержание ^{90}Sr в голубике также почти в два раза превышало допустимый уровень, разрешенный СанПиН [15] – 60 Бк/кг. Высокими оказались и уровни радиоактивного загрязнения проб съедобных грибов – в подберезовиках удельная активность ^{137}Cs

и ^{90}Sr была равна 26 000 и 500 Бк/кг соответственно, что существенно превышает уровни, допустимые по СанПиН [15] – 2500 Бк/кг для ^{137}Cs и 250 Бк/кг для ^{90}Sr . На объекте «Кристалл» в 2001 г. был выявлен участок, сильно загрязненный ^{241}Am – в поверхностном слое почвы удельная активность этого трансуранового элемента превышала значение 1 Бк/г, т.е. величину МЗУА для данного РН [14]. Концентрация ^{137}Cs во всех 18 пробах почвы, отобранных на объекте «Глобус-1» в 2008 г., была очень высокой и колебалась от 6000 до 170 000 Бк/кг сухой массы почвы [7]. Для большинства исследованных проб (16 из 18 образцов) имелось превышение МЗУА, которая для ^{137}Cs составляет 10 Бк/г (10 000 Бк/кг) [14]. Для нескольких проб почвы отобранных на объекте «Тайга» в 2009 г. [9], содержание трансурановых элементов существенно превышало значение МЗУА, которая для ^{241}Am и $^{238,239,240}\text{Pu}$ составляет 1 Бк/г (1000 Бк/кг) [14]. В соответствии с пунктом 3.12.1 ОСПОРБ-99 [16], такие материалы могут быть отнесены к категории твердых радиоактивных отходов. В то же время для многих изученных нами проб древесных растений и грибов, полученных с объекта «Тайга» в 2009 г., отмечалось превышение предела загрязнения бета-излучающими техногенными радионуклидами (^{137}Cs и ^{90}Sr), равного 300 Бк/кг. Согласно п. 3.11.3 ОСПОРБ-99 [16], такие материалы могут быть использованы без ограничений только по согласованию с федеральным органом, уполномоченным осуществлять государственный санитарно-эпидемиологический надзор.

Помимо суши, загрязненными оказались и водные объекты, расположенные в местах проведения МЯВ. Существенно повышенные (по сравнению с фоновыми) уровни содержания трития были обнаружены в пробах воды, отобранных в местах проведения шести МЯВ – «Ангара» (Ханты-Мансийский АО), «Днепр» (Мурманская область) и «Глобус-1» (Ивановская область), «Тайга» (Пермский край), «Кристалл» и «Кратон-3» (Республика Саха (Якутия)) [3, 4, 5, 7–9]. При

этом в пробах с объектов «Ангара», «Днепр» и «Глобус-1» удельная активность трития превышала значение 7600 Бк/кг, что является уровнем вмешательства для питьевой воды в соответствии с НРБ 99/2009 [14].

В дополнение к вышеизложенному следует отметить, что в настоящее время на всех объектах использования ЯВТ в мирных целях активность породы центральной зоны взрыва определяют осколочные радионуклиды, ^{90}Sr и ^{137}Cs , а также ^3H и трансурановые элементы. По уровню загрязнения осколочными радионуклидами и трансурановыми элементами порода столба обрушения и расплав центральной зоны взрыва могут быть отнесены к категории твердых радиоактивных отходов [17].

Наличие техногенных радионуклидов на земной поверхности и потенциальная угроза выхода радиоактивности из недр на поверхность или в зону активного водообмена могут привести к дополнительному облучению жителей.

Выявить изменения радиационной обстановки на территории, прилегающей к объекту, позволяет радиационно-гигиенический мониторинг (РГМ). Периодический контроль параметров радиационной обстановки дает возможность своевременно прогнозировать негативное развитие ситуации и провести соответствующие мероприятия.

В статье изложены наши представления об организации и проведении РГМ в местах применения ЯВТ в мирных целях. В их основе лежит опыт собственных исследований, выполненных в период 2001–2009 гг. в местах проведения МЯВ [1–9]. При подготовке статьи был использован ряд сообщений, возникших в процессе обсуждения данной проблемы с нашими коллегами из региональных управлений и центров гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора и других надзорных органов в обследованных регионах. Кроме того, важное влияние на выработку рекомендаций оказал документ МАГАТЭ «Руководство по мониторингу при ядерных или радиационных авариях» [18]. И, наконец, был учтен многолетний опыт, накопленный учеными НИИРГА при проведении радиационно-гигиенических исследований территорий России, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской атомной электростанции [19, 20].

Цели и стадии мониторинга

Основными целями РГМ являются оценка текущей радиационной обстановки на территории, прилегающей к месту проведения мирного ядерного взрыва, наблюдение за динамикой радиационной обстановки и оценка доз облучения критических групп населения. Поскольку МЯВ является источником существующего или потенциально радиоактивного загрязнения суши и водных объектов, то результаты такого мониторинга должны заноситься в радиационно-гигиенический паспорт территории.

РГМ можно разделить на две стадии:

- первичное (наиболее детальное) обследование;
- последующий периодический контроль радиационной обстановки в реперных точках, выбранных на основе данных первичного обследования.

Организация первичного обследования объекта

Полная схема первичного обследования включает:

- рекогносцировку на местности и определение координат местоположения или очертаний объекта и элементов ландшафта;

- измерения мощности дозы гамма-излучения в воздухе;

- идентификацию гамма-излучающих радионуклидов *in situ* методом полевой гамма-спектрометрии;

- отбор проб почвы, воды, продуктов натурального происхождения (грибов, ягод), растительности, а в близлежащих населенных пунктах (НП) – пищевых продуктов сельскохозяйственного производства;

- опрос населения о режимах поведения и рационах питания, отбор проб выделений человека;

- проведение натурной фото- и видеосъемки;

- составление карт-схем с указанием географических координат элементов ландшафта, сооружений, точек пробоотбора;

- гамма-спектрометрию счетных образцов проб окружающей среды и выделений человека с целью качественной и количественной идентификации гамма-излучающих радионуклидов;

- радиохимическое определение содержания ^{90}Sr и трансурановых элементов в пробах окружающей среды, а также ^{137}Cs в тех пробах, в которых чувствительность гамма-спектрометра недостаточна для достоверной оценки концентрации данного радионуклида;

- измерение концентрации ^3H в пробах воды и мочи человека;

- оценку доз облучения критических групп населения;

- подготовку данных для радиационно-гигиенического паспорта.

Первичному обследованию объекта обычно предшествует подготовительный этап, связанный с подробным изучением существующих радиоэкологических и радиационно-гигиенических данных об объекте и близлежащих НП. К настоящему времени накоплен большой объем такой информации практически по всем взрывам. В обобщенной форме эти сведения представлены в монографиях [11, 12, 13], подготовленных коллективом авторов под руководством профессора В.А. Логачева.

На основе картографических данных следует разработать оптимальный маршрут и выбрать средства доставки специалистов, приборов, оборудования к месту обследования и обратно, определиться с вариантами организации ночлега, питания, экипировки.

Для изучения уровней мощности дозы гамма-излучения и конфигурации гамма-поля используют три схемы измерений:

- радиальную (с центром в месте размещения боевой скважины);

- по прямоугольной сетке с шагом от 10 до 50 м;

- по сети случайных точек, достаточно равномерно покрывающих обследуемую территорию.

Радиальная схема выбирается, как правило, при отсутствии явных признаков радиоактивного загрязнения; при этом радиус, в пределах которого выполняются измерения, не превышает 300–500 м. При обнаружении повышенных уровней мощности дозы более корректными являются измерения по сетке с выбором более мелкого шага в местах повышенных значений мощности дозы. Измерения необходимо проводить по всей площади радиоактивного загрязнения до выхода к фоновому уровню значений мощности дозы. Максимальный рекомендуемый шаг сетки не должен превышать 50 м.

В процессе измерения мощности дозы устанавливаются реперные точки, в которых необходимо произвести отбор проб почвы и измерение спектрального состава гамма-поля. Наибольший интерес представляют точки с максимальными значениями мощности дозы. В местах с фоновыми значениями мощности дозы также необходимо произвести 3–5 измерений.

В этих же точках целесообразно провести гамма-спектрометрические измерения *in situ*, которые позволяют оперативно определить наличие и соотношение в спектре пиков от природных и техногенных радионуклидов.

Отбор проб почвы осуществляется послойно со строго определенной площади с шагом по глубине керна 1, 2 или 5 см до глубины 20 см и более, с отделением органической части керна от минеральной. В процессе отбора пробы необходимо провести фотосъемку места пробоотбора и неразделенного керна, затем поместить пробы почвы в промаркированные полиэтиленовые пакеты, которые тщательно завязываются, чтобы избежать потери влаги.

Отбор проб грибов и растений осуществляется по возможности в тех же местах, где проводился отбор проб почвы. Отбор проб ягод и плодовых тел грибов осуществляется отдельно по видам. Для лабораторного анализа используют около 1 кг сырой (либо 0,1 кг сухой) массы.

При отборе проб древесины, коры и зеленой массы деревьев используются основные лесообразующие породы района исследования. Масса пробы должна составлять не менее 1 кг сырой массы [21].

Полезную информацию о возможном влиянии объекта можно почерпнуть при анализе содержания техногенных радионуклидов в пробах мяса и костей диких млекопитающих и птиц. Масса проб должна быть не менее 1 кг.

Пробы воды отбираются из имеющихся в наличии контрольных скважин или колодцев и/или естественных или искусственных водоемов и водотоков – рек, озер, прудов, луж, каналов и т.д. Пробы для гамма-спектроскопического и радиохимического анализа помещаются в пластиковые емкости, в которые предварительно добавляется небольшое количество 6N соляной кислоты. Объем пробы должен быть не менее 4 л. Пробы воды для определения содержания трития отбираются в стеклянные вакуумированные емкости объемом около 100 мл.

По возможности из тех же водоемов вылавливается рыба, которая используется для приготовления пробы.

В полевой лаборатории или в стационарных условиях все отобранные пробы взвешиваются. Последующая подготовка проб грибов, растений, рыбы, мяса и птицы в полевых условиях включает консервацию с целью последующего проведения измерений в лабораторных условиях. Консервация грибов, растений проводится путем сушки, ягод – методом засахаривания или сушки, рыбы, мяса и птицы – путем засаливания.

Для достоверного выявления дополнительного загрязнения обследуемой территории техногенными радионуклидами необходимо сравнить уровни загрязнения проб почвы, отобранных рядом с объектом, с контрольными (фоновыми) пробами из тех мест, где заведомо известно, что радиоактивное загрязнение местности в результате взрыва отсутствует. Такие места выбираются на расстоянии от нескольких сотен метров до нескольких

километров от объекта. При наличии реки места отбора контрольных проб воды необходимо выбрать выше по течению от объекта.

Организация первичного обследования населенного пункта

Целью радиационно-гигиенического мониторинга НП является получение объективных данных о реальных уровнях текущего облучения жителей. Кроме того, эти данные могут быть использованы в качестве информационной основы для работы с населением [2, 9].

Мощность дозы внешнего гамма-излучения измеряют в тех местах (локациях) обследуемого НП и территории, где осуществляется хозяйственная и иная деятельность населения. Сюда относятся жилые и общественные здания, типичные для обследуемого НП, приусадебные участки, улицы, целинные и пахотные земли, окружающие лесные массивы, зоны отдыха (луг, берег реки и др.) [21]. В местах, где выявлены максимальные и минимальные значения мощности дозы, проводятся гамма-спектрометрические исследования для идентификации гамма-излучающих радионуклидов. В местах забора питьевой воды (колодец, родник, скважина, водопровод), а также из поверхностных водоемов осуществляется отбор проб воды для последующего лабораторного анализа. Целесообразно также собрать у жителей данного НП 2–3 пробы мочи объемом не менее 200 мл каждая для последующего лабораторного анализа содержания трития в организме.

Во многих случаях основной вклад в дозу внутреннего облучения жителей вносят молоко, картофель, а также природные пищевые продукты (грибы и ягоды), собранные в окрестностях НП. В НП отбирают 3–5 проб молока от разных животных. Объем пробы должен быть не менее 1 литра. Пробы картофеля отбирают в личных подсобных хозяйствах (3–5 подворий). Масса пробы составляет не менее 2 кг.

Организация лабораторных анализов и измерений

Лабораторные исследования отобранных проб должны выполняться только в аккредитованных лабораториях на поверенном оборудовании в соответствии с аттестованными методиками измерений.

Идентификация и измерение содержания техногенных гамма-излучающих радионуклидов (¹³⁷Cs, ⁶⁰Co, ²⁴¹Am, ¹⁵²Eu и т.д.) осуществляется с использованием полупроводникового гамма-спектрометра. В тех пробах, где содержание ¹³⁷Cs оказалось ниже предела чувствительности гамма-спектрометрического метода, используются радиохимические методы.

Содержание изотопов Pu и ⁹⁰Sr также определяется с помощью радиохимических методов.

Содержание ³H в пробах воды и мочи определяется с помощью жидкостного бета-спектрометра.

Картографическое представление результатов

Основой для картографического отображения местности могут служить электронные карты в масштабе 1:200 000 и 1:100 000 и данные GPS-навигатора, позволяющие более подробно отобразить характерные детали рельефа в непосредственной близости от объекта. По этим ориентирам при последующем мониторинге можно будет легче находить контрольные точки измерений и отбора проб. Сопоставление мест измерений или отбора проб с эле-

ментами рельефа местности, узлов гидрографии удобнее всего делать на основе построения тематических карт, представляющих собой либо нанесенные на топографическую основу точки отбора проб (почвы, воды, растительности), точки измерений мощности дозы либо совокупность изолиний гамма-поля, построенных по данным измерений мощности дозы в отдельных точках. Тематические карты точек отбора проб или измерений строятся отдельно для каждого вида проб (вида измерений).

Выделение контрольных точек для последующего мониторинга

По результатам анализа данных первичного (детально-го) обследования необходимо выделить перечень реперных точек, в которых в процессе последующего периодического мониторинга должны проводиться измерения или отбираться пробы.

Реперы выбираются в соответствии со следующими критериями:

- точки измерений мощности дозы около объекта должны характеризоваться максимальными значениями мощности дозы. Число точек измерений должно быть не менее 6.
- точки отбора проб почвы выбираются в местах с наиболее высокими уровнями содержания в почве техногенных радионуклидов, совмещенными с контрольными точками измерений мощности дозы. Число реперных проб почвы должно быть не менее 3;
- наиболее предпочтительными для отбора проб воды являются контрольные скважины, а также места стока воды вследствие понижения рельефа. При отсутствии контрольных скважин точки отбора проб воды необходимо выбирать в водоемах, ближе всего расположенных к объекту;
- места сбора проб грибов и ягод выбираются там же, где они были обнаружены при первичном обследовании;
- результаты измерений в реперных точках должны обеспечивать объективную оценку дозы облучения критической группы населения.

Организация последующего периодического мониторинга

Целью периодического мониторинга является контроль динамики радиационной обстановки на территории, прилегающей к объекту, по ограниченному, но достаточному для оценки текущей дозы критической группы населения набору радиационно-гигиенических показателей. Полученные данные могут быть использованы для оценки параметров моделей миграции радионуклидов в окружающей среде.

Таковыми показателями являются:

- средняя мощность дозы гамма-излучения;
- уровень поверхностного загрязнения почвы техногенными радионуклидами;
- концентрация техногенных радионуклидов в воде;
- концентрация техногенных радионуклидов в грибах, ягодах и рыбе.

На основании анализа результатов периодического обследования рассчитывается доза облучения критической группы населения, а результаты обследования заносятся в радиационно-гигиенический паспорт территории.

При стабильной радиационной обстановке на объектах, на которых отсутствует вынос радиоактивности на поверхность, периодические обследования достаточно

проводить один раз в 5 лет. При наличии на объекте высоких уровней загрязнения долгоживущими техногенными радионуклидами обследование рекомендуется проводить один раз в 3 года. При проведении защитных мероприятий (изоляционных работ) обследование проводится непосредственно перед началом работ и сразу после их завершения. В случае природных аномальных явлений (наводнение, землетрясение, пожар) обследование территории, прилегающей к объекту, проводится в максимально сжатые и технически осуществимые сроки.

Выбор критической группы населения

При оценке радиационной опасности объекта речь идет, как правило, об облучении критической группы населения (ограниченной группы лиц), которая облучается или за счет пребывания на данной территории, или в результате миграции радионуклидов в окружающей среде.

Основным критерием для выбора критической группы является уровень возможного дополнительного техногенного облучения (внешнего и внутреннего), вызванного влиянием рассматриваемого объекта. Все территории, прилегающие к объектам, где радиоактивность вышла на поверхность, могут быть в принципе квалифицированы, как территории с локальным радиоактивным загрязнением.

Опыт проведения радиационно-гигиенических исследований на территориях, прилегающих к объектам МЯВ, показывает, что имеется два основных контингента лиц, которые могут формировать критическую группу. Первый – лица из населения, которые эпизодически посещают данный объект (охотники, рыбаки, собиратели грибов и ягод, неорганизованные группы туристов) или по условиям проживания подвергаются дополнительному облучению от объекта. Эта группа населения может получать дополнительную дозу как за счет внешнего, так и за счет внутреннего облучения. Второй контингент составляют группы исследователей (не относящиеся к категории «персонал»), которые могут в течение 7–14-дневного срока обследовать объект и получать дополнительную дозу в основном за счет внешнего облучения.

Вместе с тем, два названных контингента лиц не исчерпывают все возможные варианты, поэтому расчет дозы облучения критической группы проще выполнить для гипотетического индивидуума с набором факторов поведения, приближенных к реальной ситуации. К таким факторам следует отнести время пребывания на территории около объекта, потребление воды и природных пищевых продуктов с территории объекта. Такой подход дает консервативную оценку дозы, но одновременно позволяет стандартизировать процедуру ее расчета.

Для консервативной оценки дозы облучения критической группы предлагается использовать следующие условия:

- длительность пребывания на территории вблизи объекта – 100 часов (в течение около 2 недель);
- ежедневный маршрут перемещения равномерно охватывает всю территорию, то есть расчет дозы внешнего облучения может быть выполнен по среднему значению мощности дозы, характеризующему всю территорию вокруг объекта;
- объем воды, потребляемой из открытого водоема за время пребывания вблизи объекта в течение 2 недель – 14 л.;
- за время пребывания на территории потребляется по 2 кг сырого веса грибов, ягод, дичи, рыбы, мяса диких

животных.

Если в процессе текущего обследования территории не удалось отобрать пробы каких-либо названных продуктов, то компонент дозы внутреннего облучения, связанный с потреблением этого продукта, принимается равным нулю. Однако если в предыдущие годы по этому продукту имелись данные, то они привлекаются для расчета дозы.

Оценка доз облучения критической группы населения

Суммарная доза облучения критической группы E_{sum} складывается из дозы внешнего облучения E_{ext} , дозы внутреннего облучения за счет потребления пищевых продуктов и воды E_{int} и дозы облучения за счет ингаляционного поступления радионуклидов вследствие ветрового подъема E_{resp} :

$$E_{sum} = E_{ext} + E_{int} + E_{resp} \quad (1)$$

Существует два варианта оценки дозы внешнего облучения:

1. По величине плотности поверхностного загрязнения почвы радионуклидами;
2. По результатам измерения уровней мощности дозы на объекте и в контрольных (фоновых) точках.

Первый вариант применяется в тех случаях, когда уровни техногенного загрязнения являются незначительными, что не позволяет надежно определить техногенную компоненту, используя результаты полевых измерений с помощью гамма-дозиметров и мониторов. Как правило, в этих случаях в составе техногенных гамма-излучателей отчетливо преобладает ^{137}Cs .

Второй вариант является предпочтительным в тех случаях, когда уровни мощности дозы, определяемые техногенным загрязнением, заметно превышают фоновые показатели.

Расчет дозы внешнего облучения E_{ext} , мкЗв в год по первому варианту производится по формуле:

$$E_{ext} = T_{site} \cdot A^{137} \cdot K^E \cdot g^{137}, \quad (2)$$

где T_{site} – продолжительность пребывания на территории, час;
 A^{137} – поверхностная активность ^{137}Cs в почве, кБк/м²;
 K^E – коэффициент перехода от мощности поглощенной дозы в воздухе на высоте 1 м к значению мощности эффективной дозы, Зв/Гр;
 g^{137} – удельная мощность дозы ^{137}Cs , (мкГр/час)/(кБк/м²);

При расчете дозы по формуле (2) рекомендуется использовать значение параметра T_{site} равным 100 часов, параметра K^E – равным 0,71 Зв/Гр [22], а параметра g^{137} – $0,71 \times 10^{-3}$ (мкГр/час)/(кБк/м²) [23].

Расчет дозы внешнего облучения по второму варианту производится по формуле:

$$E_{ext} = T_{site} \cdot (P_{site} - P_{bg}), \quad (3)$$

где $(P_{site} - P_{bg})$ – разница между средним значением мощности дозы гамма-излучения на местности вокруг объекта – P_{site} и средним значением мощности гамма излучения в контрольных точках, P_{bg} , мкЗв/час;

T_{site} – продолжительность пребывания на территории, час.

При расчете дозы по формуле (3) время пребывания T_{site} на территории принимается также равным 100 часов.

Доза внутреннего облучения за счет поступления ^{137}Cs и ^{90}Sr с пищевыми продуктами природного происхождения (грибы, ягоды, рыба, дичь) и ^3H с питьевой водой рассчитывается по концентрации радионуклидов и массе потребления с уче-

том дозовых коэффициентов для каждого радионуклида.

В общем виде доза внутреннего облучения может быть рассчитана по формуле:

$$E_{int} = \sum_{i=1}^n \left[K_i \cdot m_{i_site} \cdot (C_i^{137} \cdot d_i^{137} + C_i^{90} \cdot d_i^{90}) \right] + V_{site} \cdot (C^{137} \cdot d^{137} + C^{90} \cdot d^{90} + C^3 \cdot d^3), \quad (4)$$

где m_{i_site} – масса i -го продукта (грибов, ягод, рыбы и мяса диких млекопитающих и птиц), потребляемая за 2 недели пребывания на территории, прилегающей к объекту МЯВ и принимаемая равной 2 кг для каждого из названных продуктов;

C_i^{137} и C_i^{90} – удельная активность ^{137}Cs или ^{90}Sr в i -том продукте, Бк/кг;

C^{137} , C^{90} и C^3 – объемная активность ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^3H в питьевой воде, Бк/л;

d^{137} , d^{90} и d^3 – дозовые коэффициенты при поступлении ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^3H с водой и пищевыми продуктами в организм взрослого человека, которые в соответствии с НРБ-99/2009 [14] равны $1,3 \times 10^{-2}$, $2,8 \times 10^{-2}$ и $1,8 \times 10^{-5}$ мкЗв/Бк соответственно.

V_{site} – объем воды, потребляемой за 2 недели пребывания на территории, прилегающей к объекту и принимаемый равным 14 л;

K_i – коэффициент снижения содержания радионуклида в i -м пищевом продукте за счет его кулинарной обработки в процессе приготовления пищи, отн. ед. Для грибов K_i принимается равным 0,5 отн.ед, а для всех остальных продуктов – 1 отн.ед.

Оценка дозы облучения за счет ингаляционного поступления радионуклидов E_{resp} , мкЗв в год осуществляется по формуле:

$$E_{resp} = T_{site} \cdot V_{resp} \cdot \Omega \cdot \sum_k (d_{resp}^k \cdot S_{resp}^k), \quad (5)$$

где T_{site} – время нахождения на объекте, час;

V_{resp} – объем вдыхаемого воздуха, принятый равным для взрослого населения – $0,93 \text{ м}^3$ в час;

Ω – коэффициент дефляции (ветрового подъема), численное значение которого может колебаться для ситуации «старых» загрязнений от 10^{-8} до 10^{-10} м^{-1} [24];

d_{resp}^k – дозовый коэффициент для ингаляционного поступления k -го нуклида с воздухом в организм человека; в соответствии с НРБ-99/2009 численное значение d_{resp}^k для населения составляет: $4,6 \times 10^{-3}$; $5,0 \times 10^{-2}$; $4,6 \times 10^1$; $5,0 \times 10^1$, $4,2 \times 10^1$ и $1,2 \times 10^{-2}$ мкЗв/Бк для ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am и ^{60}Co , соответственно;

S_{resp}^k – плотность поверхностного загрязнения почвы k -м радионуклидом, Бк/м².

Оценка доз облучения жителей населенного пункта

Результаты полевых и лабораторных исследований, выполненных в местах проведения МЯВ [1–15], свидетельствуют о том, что в период 2001–2009 г. доза техногенного облучения жителей близлежащих НП определялась, в основном, остаточным загрязнением ^{137}Cs и ^{90}Sr из глобальных выпадений, которые имели место в прошлом веке. Для тех НП, которые расположены в европейской части страны, отмечается

также вклад ^{137}Cs (и в меньшей степени ^{90}Sr) чернобыльского происхождения. Для такой ситуации оценка дозы облучения от ^{137}Cs и ^{90}Sr и мониторинг могут быть проведены в полном соответствии с методическими указаниями МУ 2.6.1.2003-05 «Оценка средних годовых эффективных доз облучения критических групп жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС» [21].

Расчет дозы внутреннего облучения, связанной с потреблением питьевой воды E_{water} , мкЗв в год от поступления ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^3H проводится по формуле:

$$E_{\text{water}} = V_{\text{water}} \cdot (C^{137} \cdot d^{137} + C^{90} \cdot d^{90} + C^3 \cdot d^3), \quad (6)$$

где V_{water} – объем воды, потребляемый за 1 год (365 дней), принимается равным 730 л;

C^{137} , C^{90} и C^3 – объёмная активность ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^3H в воде соответственно, Бк/л;

d^{137} , d^{90} и d^3 – дозовые коэффициенты при поступлении ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^3H с водой и пищевыми продуктами в организм взрослого человека, которые в соответствии с НРБ-99/2009 [14] равны $1,3 \times 10^{-2}$, $2,8 \times 10^{-2}$ и $1,8 \times 10^{-5}$ мкЗв/Бк соответственно.

Дозой внутреннего облучения за счет ветрового подъема в НП можно пренебречь.

Полученную величину дозы облучения жителей НП целесообразно сопоставить с дозой облучения критической группы и тем самым оценить возможное суммарное влияние глобальных и чернобыльских выпадений, а также МЯВ на общую дозу техногенного облучения.

Занесение данных мониторинга в радиационно-гигиенический паспорт

Полученные в результате проведения РГМ данные должны быть внесены в радиационно-гигиенический паспорт территории.

Необходимо рассчитать и представить следующие характеристики:

- мощность дозы внешнего излучения (количество точек измерений, среднее, с учетом стандартного отклонения, минимальные и максимальные значения), нЗв/ч;

- удельную активность выявленных техногенных радионуклидов в почве (^{137}Cs , ^{90}Sr , изотопы Pu, ^{60}Co и т.п.), Бк/кг;

- поверхностную плотность загрязнения почвы техногенными радионуклидами, кБк/м², с указанием глубины отбора пробы в см;

- удельную активность выявленных техногенных радионуклидов в пробах растительности (ягоды, древесина, зеленая масса), грибов, рыбы, дичи и сельскохозяйственной продукции (молоко, мясо, картофель), Бк/кг, с указанием, на какую массу (сухую или влажную) рассчитаны показатели;

- объёмную активность радиоактивных веществ в воде открытых водоемов и воде источников питьевого водоснабжения, Бк/л;

- значение дозы облучения критической группы населения.

Заключение

Радиационно-гигиенический мониторинг территорий, расположенных вблизи объектов, образовавшихся в результате применения ядерных взрывных технологий необходим, по крайней мере, для восемнадцати субъектов РФ. РГМ является одним из элементов системы обеспече-

ния радиационной безопасности населения в регионах проведения МЯВ. Периодический РГМ дает возможность выявить развитие негативных процессов, приводящих к дополнительному облучению населения. Данные РГМ могут служить основой для принятия решений по осуществлению защитных мер. В данной статье предложена схема обследования, которая позволяет использовать результаты текущего мониторинга для расчета дозы критической группы населения и для анализа динамики изменения радиационной обстановки по результатам мониторинга, выполненного в предыдущие годы.

Литература

1. Рамзаев, В.П. Мирные ядерные взрывы: проблемы и пути обеспечения радиационной безопасности населения / В.П. Рамзаев, В.С. Репин, Е.В. Храмцов // Радиационная гигиена. – 2009. – Т. 2, № 2. – С. 27–33.
2. Архангельская, Г.В. Субъективные оценки радиационного риска на территориях, прилегающих к местам проведения мирных ядерных взрывов / Г.В. Архангельская, А.Л. Вайнберг, В.В. Губернаторова [и др.] // Радиационная гигиена. – 2009. – Т. 2, № 2. – С. 34–39.
3. Голиков, В.Ю. Радиационная безопасность Республики Саха (Якутия). Оценка текущих и реконструкция накопленных доз облучения населения вследствие проведения подземных ядерных взрывов «Кристалл» и «Кратон-3» с целью обоснования мер социальной защиты: отчет СПБНИИРГ / В.Ю. Голиков, В.П. Рамзаев, Г.Я. Брук [и др.]. – СПб., 2002. – 115 с.
4. О результатах радиационно-гигиенического обследования в августе 2002 г. территории, примыкающей к скважине 112 (ОПЯВ «АНГАРА»): Отчет ООО НТЦ РАДОМИР. – СПб., 2002. – 10 с.
5. Выполнение комплекса мероприятий по организации и проведению радиационного мониторинга на территории автономного округа в 2007 году, необходимого для составления радиационно-гигиенического паспорта Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Том 3. Проведение комплексных радиационных обследований на объектах подземных ядерных взрывов (ОПЯВ): «Ангара», расположенного в Октябрьском районе и «Кварц-3», расположенного в Сургутском районе: отчет ООО НТЦ ЭКОРАНТ. Т. 3. – СПб., 2007. – 41 с.
6. Рамзаев, В.П. О влиянии подземных ядерных взрывов «Кратон-3» и «Кристалл» на радиационно-гигиеническую обстановку в близлежащих населенных пунктах / В.П. Рамзаев, И.Г. Травникова, Л.Н. Басалаева // Радиационная гигиена. – 2008. – Т. 1, № 2. – С. 14–19.
7. Репин, В.С. Радиационно-гигиеническое обследование территорий, прилегающих к местам проведения мирных ядерных взрывов, сопровождавшихся выходом на поверхность радионуклидов и разработка критериев и условий обеспечения безопасности населения: отчет СПб ФГУН НИИРГ Роспотребнадзора / В.С. Репин, В.П. Рамзаев, Г.В. Архангельская [и др.]. – СПб., 2008. – 200 с.
8. Ramzaev, V. Radioecological studies at the Kraton-3 underground nuclear explosion site in 1978–2007: a review / V. Ramzaev, A. Mishin, V. Golikov [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2009. – V. 100, № 12. – P. 1092–1099.
9. Репин, В.С. Разработка и обоснование критериев и условий обеспечения радиационной безопасности населения, проживающего вблизи объектов применения ядерно-взрывных технологий, совершенствование системы информационных мероприятий при работе с населением. Разработка и обоснование критериев и условий обеспечения радиационной безопасности населения на примере объекта «Тайга»: отчет ФГУН СПб НИИРГ Роспотребнадзора НИР / В.С. Репин, В.П. Рамзаев, Г.В. Архангельская [и др.]. – СПб, 2009. – 190 с.
10. Gedeonov, A.D. Residual radioactive contamination at the peaceful underground nuclear explosion sites "Kraton-3" and

- “Crystal” in the Republic of Sakha (Yakutia) / A.D. Gedeonov, E.R. Petrov, V.G. Alexeev [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2002. – V. 60, № 1–2. – P. 221–234.
11. Мирные ядерные взрывы: обеспечение общей и радиационной безопасности при их проведении / колл. авторов под. рук. проф. В.А. Логачева. – М.: Изд. АТ, 2001. – 519 с.
 12. Современная радиоэкологическая обстановка в местах проведения мирных ядерных взрывов на территории Российской Федерации. / колл. авторов под рук. проф. В.А. Логачева. – М.: Изд. АТ, 2005. – 256 с.
 13. Ядерные взрывы в СССР и их влияние на здоровье населения Российской Федерации / колл. авторов под. рук. проф. В.А. Логачева. – М.: Изд. АТ, 2008. – 470 с.
 14. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы (СанПиН 2.6.1.2523–09): утв. и введены в действие от 07 июля 2009 г. взамен СанПиН 2.6.1.758–99. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
 15. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (СанПин 2.3.2.1078–01): утв. 14.11.2001 г. взамен СанПин 2.3.2.560–96ю. – М.: Минздрав России, 2002. – 168 с.
 16. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
 17. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (СанПиН 2.3.2.1078–01): утв. 14.11.2001 г. взамен СанПиН 2.3.2.560–96. – М.: Минздрав России, 2002. – 168 с.
 18. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности: (ОСПОРБ-99): 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность (СП 2.6.1.799–99): утв. и введены в действие от 27 декабря 1999 г. взамен ОСП-72/87. – М.: Минздрав России, 2000. – 98 с.
 19. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99). СП 2.6.1.799–99: утв. 27.12.1999. взамен ОСП-72/87. – М.: Минздрав России, 2000. – 98 с.
 20. Касаткин, В.В. Подземные ядерные взрывы – проблема окончательного захоронения радиоактивных продуктов: сборник докладов IV Международный Международного ядерного форума (сборник докладов, 28 сентября – 2 октября 2009 г.) / В.В. Касаткин [и др.]. – СПб: НОУ ИДПО «АТОМПРОФ», 2009. – С. 147–149.
 21. Руководство по мониторингу при ядерных или радиационных авариях МАГАТЭ, Вена // МАГАТЭ IAEA-TECDOC-1092/R ISSN 1011-4289., Вена: IAEA-TECDOC-1092/R ISSN 1011-4289, IAEA 2002.
 22. Рамзаев, В.П. Радиационно-гигиеническая оценка возможностей применения механической дезактивации в населенных пунктах Брянской / В.П. Рамзаев [и др.] // Радиационная гигиена. – 2008. – Т. 1, № 2. – С. 23–27.
 23. Брук, Г.Я. Облучение населения Российской Федерации вследствие аварии на Чернобыльской АЭС: сборник тезисов международной научно-практической конференции «Гигиенические аспекты обеспечения радиационной безопасности населения на территориях с повышенным уровнем радиации» (15–17 сентября 2008 г., Санкт-Петербург) / Г.Я. Брук [и др.] / под ред. И.К. Романовича, Т.Н. Голубевой. – СПб, 15–17 сентября 2008. – С. 23–26.
 24. Методические указания «Ионизирующее излучение. Радиационная безопасность. Оценка средних годовых эффективных доз облучения критических групп жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС»: (МУ 2.6.1.2003–05.). – М.: утв. Минздрав России от 25 июля 2005 г. N МУ 2.6.1.2003–05. Ионизирующее излучение. Радиационная безопасность. Оценка средних годовых эффективных доз облучения критических групп жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС.
 25. Evaluation of conversion coefficients from measurable to risk quantities for external exposure over contaminated soil by use of physical human phantoms / V. Golikov [et al.] // Radiation and Environmental Biophysics. – 2007. – V. 46, № 4. – P. 375–382.
 26. Sources and effects of ionizing radiation: UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation: UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume 1: Sources / United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. – New York: United Nations, 2000. – V. 1.
 27. Гусев, Н.Г. Радиоактивные выбросы в биосфере: справочник / Н.Г. Гусев, В.А. Беляев. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 224 с.

**V.P. Ramzaev, A.Yu. Medvedev, V.S. Repin, M.A. Timofeeva, E.V. Khramtsov
Radiation monitoring the industrial nuclear explosion sites and evaluation
of the doses to the critical groups of population**

Federal Scientific Organization «Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev»
of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being, Saint-Petersburg

Abstract. The paper outlines the key elements of the radiation monitoring system at the sites of industrial nuclear explosions in the Russian Federation. The proposed recommendations describe sampling and measurements procedures, registration of the results and their cartographic presentation. Algorithm and formulas for calculating the doses to the critical groups of population are given. The recommendations are proposed, first of all, for practical application by the regional units of the State Sanitary Inspection.

Key words: underground nuclear explosion, nuclear-explosion technologies, critical group of population, radiation hygiene, monitoring, dose, exposure.

Поступила 16.02.2010

V.П. Рамзаев
Тел: (812) 232-04-54
E-mail: V.Ramzaev@mail.ru