

Радиационная обстановка на территории проведения мирного ядерного взрыва «Глобус-1» после выполнения реабилитационных работ

Е.В. Храмов

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

В статье приводятся данные о радиационной обстановке по результатам исследований 2018 г. на территории, прилегающей к месту проведения мирного ядерного взрыва «Глобус-1» после реабилитационных работ (2014–2015 гг.), выполненных с целью удаления аварийного загрязнения. Рассмотрены результаты анализа динамики изменений радиационной обстановки за период с 2008 по 2018 г. и дана оценка эффективности реабилитационных работ по основным показателям: значения мощности дозы, содержание техногенных радионуклидов в почве, воде и других объектах окружающей среды. По результатам сопоставления количества измерений с превышением мощности дозы 50 нЗв/час (фоновое значение для территории за пределами загрязнения 2014 г.) в выборках 2014 и 2018 гг. установлено, что из 80% случаев превышений, зафиксированных в 2014 г., доля превышений в 2018 г. составила только 3%. Другой показатель эффективности связан с особенностью реабилитации данного объекта. Большое количество низкоактивного грунта было нецелесообразно вывозить на захоронение, и решение об использовании этого грунта в качестве нижнего слоя рекультивации было оправданным. Результаты исследований показали, что в спектральном составе гамма-фона на реабилитированной территории интенсивность пиков цезия-137 многократно превышает фоновые уровни. В отобранных пробах почвы зафиксированы повышенные концентрации цезия-137 (до 32 500 Бк/кг на сырой вес), а в собранных на такой почве пробах травы имеются повышенные концентрации цезия-137 (до 2000 Бк/кг) и стронция-90 (до 400 Бк/кг) в расчете на сухой вес. Все повышенные уровни удельной активности цезия-137 обнаружены на локальных участках, в пределах контура радиоактивного загрязнения, выделенного в 2014 г. После проведения реабилитационных работ произошло существенное снижение уровней внешнего облучения техногенными радионуклидами, и по формальному признаку выполненные реабилитационные работы обеспечили требование СанПиН 2.6.1. 2819-10, и доза облучения не превышает 0,3 мЗв/год, однако высокие значения мощности дозы, зафиксированные в отдельных точках на рекультивированной территории, свидетельствуют о незавершенности и недостаточном качестве выполненных реабилитационных работ.

Ключевые слова: мирный ядерный взрыв, радионуклиды, радиоактивное загрязнение, окружающая среда, дозы облучения, радиационная безопасность.

Введение

Исследования состояния радиационной обстановки на территории, прилегающей к месту проведения мирного ядерного взрыва (МЯВ) «Глобус-1», выполнены специалистами ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева в 2008, 2014 и 2018 гг. в рамках реализации мероприятий Федеральных целевых программ «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» и «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года», результаты которых представлены в научных отчетах и публикациях [1–6]. Эта статья является логическим продолжением статьи «Радиационная обстановка на территории проведения мирного ядерного взрыва «Глобус-1» до вы-

полнения реабилитационных работ», где были изложены сведения о взрыве и дана оценка радиационной обстановки перед выполнением реабилитационных работ [7]. В 2014–2015 гг. на объекте «Глобус-1» были выполнены реабилитационные работы, включавшие выемку и вывоз на захоронение высокоактивного грунта и использование низкоактивного грунта в качестве нижнего слоя рекультивации с последующей засыпкой этого слоя чистым грунтом [9–11].

В статье представлены данные о радиационной обстановке по результатам исследований 2018 г. на территории, прилегающей к месту проведения мирного ядерного взрыва «Глобус-1» после реабилитационных работ (2014–2015 гг.), выполненных для удаления аварийного загрязнения.

Храмов Евгений Витальевич

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева.

Адрес для переписки: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: zhenia.khramtzov2013@yandex.ru

Цель исследования – дать сравнительный анализ показателей радиационной обстановки на территории, прилегающей к месту проведения мирного ядерного взрыва «Глобус-1» до и после проведения реабилитационных работ, и сформулировать предложения по долгосрочному обеспечению радиационной безопасности и критериев, необходимых для перевода объекта в состояние консервации.

Задачи исследования

1. Исследование состояния радиационной обстановки после реабилитации.
2. Оценка эффективности реабилитационных работ.
3. Анализ необходимых и достаточных условий долгосрочного обеспечения радиационной безопасности населения и перевода объекта «Глобус-1» в состояние консервации.

Материалы и методы

Радиационно-гигиеническое обследование территории, прилегающей к месту проведения МЯВ, проводилось по стандартной схеме [1, 2], которая включала в себя определение географических координат специфических элементов ландшафта, точек измерений и отбора проб с использованием спутниковых навигаторов: измерение мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения, идентификация гамма-излучающих радионуклидов *in situ* методом полевой гамма-спектрометрии [8], отбор проб верхнего (на глубину до 20 см) слоя почвы, воды, природных пищевых продуктов (грибов, ягод), а также других объектов окружающей среды, фото- и видео-съемку.

Результаты и обсуждение

При планировании исследований, выполненных в 2018 г. после проведения реабилитационных мероприятий, учитывались данные измерений мощности дозы, полученные в 2014 г. [7]. Эти данные в виде изолиний мощности дозы и местоположения точек измерений были нанесены картографическими средствами на спутниковую карту (рис. 1).



Рис. 1. Спутниковая карта территории объекта «Глобус-1» с точками измерений мощности дозы внешнего гамма-излучения, выполненными в 2018 г., и изолиниями мощности дозы. Синим цветом выполнена обводка русла реки Шача

[Fig. 1. Satellite Map site «Globus-1» with points of measurement of external dose rate of gamma-radiation, made in the year 2018, and the contour dose. Blue completed stroke river Shacha]

Прямоугольным контуром на рисунке 1 отмечено пятно наибольшего радиоактивного загрязнения. Этот ареал использован для сравнения средних значений мощности дозы в 2014 и 2018 гг., полученных по результатам измерений в точках, находящихся внутри контура.

Общее число измерений, выполненных в 2018 г., было больше за счет точек, находящихся за пределами ареала измерений, выполненных в 2014 г. [7]. Расширение ареала измерений связано с необходимостью уточнения радиационной обстановки за пределами ареала измерений 2014 г., и поиском возможных пятен загрязнения, которые могли образоваться в процессе выполнения реабилитационных работ и вывозом высокоактивной почвы на захоронение. При этом следует обратить внимание, что пятно повышенных уровней мощности дозы внешнего гамма-излучения в результате проведения в 2018 г. реабилитационных работ практически исчезло, но остались небольшие пятна повышенных значений мощности дозы. Сравнение частотных распределений мощности дозы в ареале радиоактивного загрязнения, зафиксированного в 2014 г. и в том же ареале в 2018 г., представлено на рисунке 2.

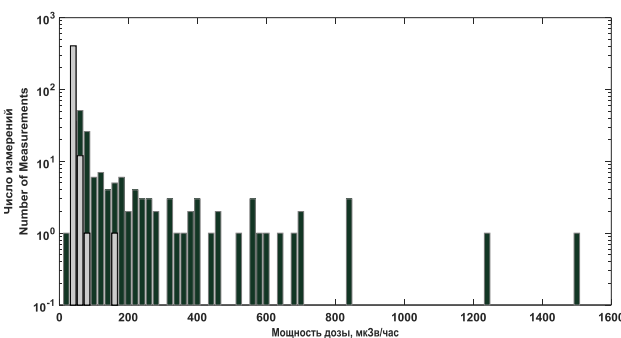


Рис. 2. Сопоставление частотных распределений мощности дозы внешнего гамма-излучения в 2014 г. (черный цвет) и 2018 г. (серый цвет) («Глобус-1»)

[Fig. 2. Comparison of the frequency distributions of gamma dose rate in 2014 (black color) and 2018 (gray color) («Globus-1»)]

Исследования спектрального состава гамма-поля в 2018 г. выполнено в точках внутри ареала радиоактивного загрязнения до реабилитации территории и в точках с фоновыми значениями мощности дозы за пределами ареала. Места измерений спектров представлены на рисунке 3.

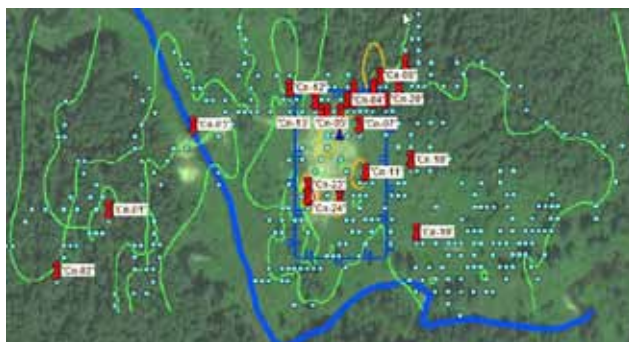


Рис. 3. Места полевой гамма-спектрометрии («Глобус-1» (2018))

[Fig. 3. The sites of in situ gamma-spectrometry («Globus-1» (2018))]

На рисунке 4 даны примеры характерного фоновго спектра и спектра, измеренного после реабилитации территории в точке, расположенной в пределах ареала радиоактивного загрязнения 2014 г.

В таблице 1 даны значения интенсивности счета под пиками ^{137}Cs и ^{40}K соответственно.

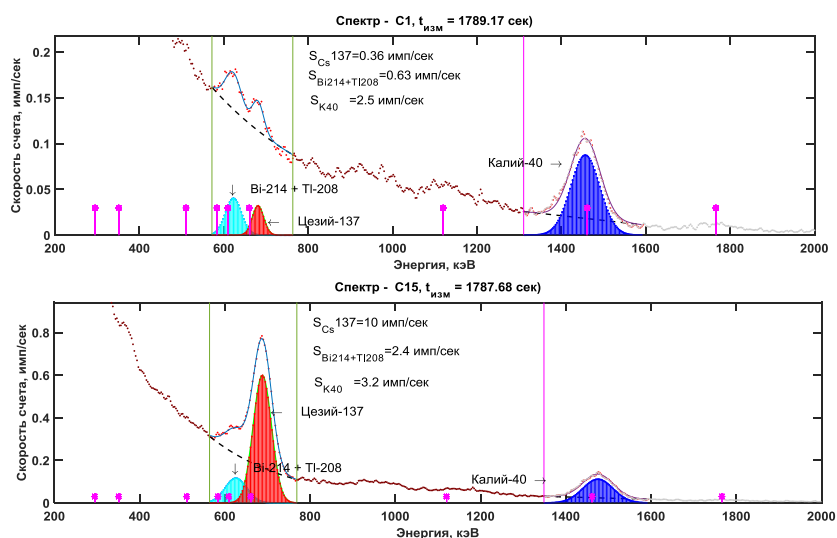


Рис. 4. Фоновый спектр (вверху) и на площадке «Глобус-1» после реабилитации (снизу)
 [Fig. 4. A background spectrum (top) and a spectrum after rehabilitation “Globus-1” (bottom)]

Результаты спектрометрических измерений гамма-поля на территории, прилегающей к месту проведения МЯВ «Глобус-1», в 2018 г.

Таблица 1

[Table 1

Results of spectrometric measurements of gamma field in the territory adjacent to the PNE “Globus-1”, 2018]

| Код спектра [Code range] | Интенсивность счета под пиком [Intensity of the accounts under peak] | | Код спектра [Code range] | Интенсивность счета под пиком [Intensity of the accounts under peak] | |
|--------------------------|--|-------------------------------|--------------------------|--|-------------------------------|
| | ^{137}Cs , имп/с [IMP] | ^{40}K , имп/с [IMP] | | ^{137}Cs , имп/с [IMP] | ^{40}K , имп/с [IMP] |
| Сп_01 | 0.36* | 2,5 | Сп_13 | 150 | 2,6 |
| Сп_02 | 0.28* | 3,2 | Сп_14 | 13 | 2,6 |
| Сп_03 | 0.59* | 2,2 | Сп_15 | 10 | 3,2 |
| Сп_04 | 42 | 2,3 | Сп_16 | 17 | 2,5 |
| Сп_05 | 76 | 2,4 | Сп_17 | 1,4 | 2,2 |
| Сп_06 | 8 | 2,0 | Сп_18 | 2 | 3,0 |
| Сп_07 | 11 | 2,4 | Сп_19 | 0,9 | 3,7 |
| Сп_08 | 6,2 | 2,3 | Сп_20 | 5 | 2,4 |
| Сп_09 | 270 | 2,4 | Сп_21 | 10,4 | 3,4 |
| Сп_10 | 11 | 2,6 | Сп_22 | 3,9 | 2,9 |
| Сп_11 | 120 | 2,7 | Сп_23 | 140 | 2,4 |
| Сп_12 | 0,6 | 2,7 | Сп_24 | 36 | 2,1 |

* – Выделены строки с фоновыми значениями мощности дозы
 [* – Allocated strings with the background dose rate values]

Видно, что интенсивности под пиком ^{40}K отличаются незначительно, тогда как интенсивность пиков ^{137}Cs в пределах контура загрязнения, выделенного в 2014 г., превосходят фоновые уровни, и иногда значительно (Сп_09, Сп_11, Сп_13, Сп_23 и Сп_24). Это значит, что гамма-излучение ^{137}Cs нижнего слоя рекультивации проникает

через слой чистой засыпки, а в отдельных точках чистый слой рекультивации, возможно, отсутствует.

На рисунке 5 показаны места отбора проб почвы в 2018 г., а в таблице 2 представлены результаты измерений содержания ^{137}Cs .



Рис. 5. Места отбора проб почвы растительности в 2018 г. на территории, прилегающей к месту проведения МЯВ «Глобус-1»
[Fig. 5. Place the soil vegetation sampling in the territory adjacent to the PNE “Globus-1”, 2018] (In Fig – Почва – means Soil)]

Как видно из таблицы 2, значение удельной активности ¹³⁷Cs в почве находилось в широком диапазоне – от единиц измерения Бк/кг до 32 500 Бк/кг на сырой вес. При этом важно отметить, что все повышенные уровни удельной активности ¹³⁷Cs обнаружены на локальных участках, в пределах контура радиоактивного загрязнения, выделенного в 2014 г.

Ведущим фактором, определяющим уровни содержания радионуклидов в травяной растительности, грибах и ягодах, является загрязнение почвы, на которой они произрастают. Результаты измерений содержания ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в пробах растительности даны в таблице 3.

Таблица 2

Значения удельной активности цезия-137 в пробах почвы, отобранных на территории МЯВ «Глобус-1» в 2018 г., Бк/кг

[Table 2

Value of activity concentration of cesium-137 in soil samples taken from the territory of the PNE “Globus-1” in 2018, Bq/kg]

| Код пробы [code samples] | Координаты, град [Coordinates, degrees] | | Удельная активность ¹³⁷ Cs, Бк/кг [Activity concentration ¹³⁷ Cs, Bq/kg] |
|-----------------------------|--|--------------------------|---|
| | Северная широта [N] | Восточная долгота [E] | |
| ПОЧВА 1 | 57,5083 | 42,6345 | 2,7±1,1 |
| ПОЧВА 2 | 57,5081 | 42,6353 | 1490±170 |
| ПОЧВА 3 | 57,5080 | 42,6352 | 1220±150 |
| ПОЧВА 4 | 57,5082 | 42,6349 | 7,5±1,6 |
| ПОЧВА 5 | 57,5082 | 42,6350 | 4,9±1,2 |
| ПОЧВА 6 | 57,5082 | 42,6362 | 17,1±3,3 |
| ПОЧВА 7 | 57,5081 | 42,6360 | 145±18 |
| ПОЧВА 8 | 57,5082 | 42,6351 | 50,8±6,7 |
| ПОЧВА 9 | 57,5076 | 42,6348 | 32500±3600 |
| ПОЧВА 10 | 57,5074 | 42,6353 | 26,4±4,3 |
| ПОЧВА 11 | 57,5074 | 42,6353 | 95,4±14,5 |
| ПОЧВА 12 | 57,5074 | 42,6355 | 6680±750 |
| ПОЧВА 13 | 57,5081 | 42,6336 | <0,9 |
| ПОЧВА 14 | 57,5073 | 42,6355 | 1140±140 |
| ПОЧВА 15 | 57,5080 | 42,6356 | 2690±300 |
| ПОЧВА 16 | 57,5080 | 42,6353 | 812±94 |
| ПОЧВА 17 | 57,5080 | 42,6330 | 14,2±1,7 |
| ПОЧВА 18 | 57,5073 | 42,6317 | 15,0±2,9 |
| ПОЧВА 19 | 57,5073 | 42,6317 | 4,5±0,6 |

Выделены строки с повышенными уровнями удельной активности цезия-137 в пробах почвы.

[Allocated string with elevated levels of specific activity of cesium-137 in soil samples] (In Table – Почва – means Soil)].

Таблица 3

Удельные активности цезия-137 и стронция-90 в пробах пищевых продуктов и траве, отобранных на территории объекта «Глобус-1» в 2018 г., Бк/кг

[Table 3

Activity concentrations of cesium-137 and strontium-90 in samples of foodstuffs and grass collected at the site “Globus-1” in 2018, Bq/kg]

| Код пробы [code samples] | Координаты, град [Coordinates, degrees] | | Удельная активность, Бк/кг [Activity concentration, Bq/kg] | |
|------------------------------------|--|--------------------------|---|------------------|
| | Северная широта [N] | Восточная долгота [E] | ¹³⁷ Cs | ⁹⁰ Sr |
| Грибы [mushrooms] | | | | |
| Грибы трубчатые [mushroom tube] | 57,5073 | 42,6319 | 3,70±1,48 | 0,86±0,34 |
| Грибы пластинчатые [agarics] | 57,5080 | 42,6330 | 2,54±1,02 | 1,23±0,49 |
| Ягоды [berries] | | | | |
| ЧЕРНИКА-1* | 57,5068 | 42,6309 | 0,48±0,14 | 0,09±0,03 |
| ЗЕМЛЯНИКА-1 | 57,5084 | 42,6355 | 5,30±2,12 | 1,30±0,52 |
| МАЛИНА-1 | 57,5087 | 42,6327 | 5,87±1,76 | 0,22±0,07 |
| МАЛИНА-2 | 57,5066 | 42,6382 | 0,32±0,10 | 0,34±0,10 |
| МАЛИНА-3 | 57,5070 | 42,6366 | 3,68±1,10 | 1,73±0,52 |
| МАЛИНА-4 | 57,5070 | 42,6343 | 0,50±0,20 | 0,68±0,27 |
| Трава [grass] | | | | |
| ТРАВА -1 | 57,5077 | 42,6350 | 7,09±2,13 | 4,29±1,29 |
| ТРАВА -2 | 57,5080 | 42,6352 | 10,3±3,1 | 76±23 |
| ТРАВА-3 | 57,5082 | 42,6362 | 2,11±0,63 | 2,49±0,75 |
| ТРАВА-4 | 57,5081 | 42,6360 | 10,7±3,2 | 13,0±3,9 |
| ТРАВА-5 | 57,5082 | 42,6351 | 410±100 | 54±14 |
| ТРАВА-6 | 57,5076 | 42,6348 | 2020±510 | 217±54 |
| ТРАВА-7 | 57,5075 | 42,6349 | 680±170 | 110±28 |
| ТРАВА-8 | 57,5074 | 42,6353 | 414±100 | 413±100 |
| ТРАВА-9 | 57,5074 | 42,6355 | 200±50 | 140±35 |
| ТРАВА-10 | 57,5073 | 42,6355 | 28,7±7,2 | 13,1±3,3 |
| ТРАВА-11 | 57,5080 | 42,6353 | 21,3±5,3 | 20,0±5,0 |

*ЧЕРНИКА – Blueberries; ЗЕМЛЯНИКА – Wild strawberry; МАЛИНА – Raspberries; ТРАВА – Grass.

Удельная активность травянистой растительности на объекте «Глобус-1» достигала 2020 Бк/кг по цезию-137 и 413 Бк/кг по стронцию-90 в расчете на сухой вес (см. табл. 3). Уровни загрязнения проб грибов ¹³⁷Cs намного ниже предела, регламентируемого СанПиН-2.3.2.1078–01 и Едиными санитарно-эпидемиологическими и гигиеническими требованиями к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) (500 Бк/кг по сырому весу). Очень низким было и содержание ⁹⁰Sr в ягодах – существенно меньше регламентируемого предела – 60 Бк/кг (влажные пробы).

Соотношение удельных активностей цезия-137 в почве и траве после реабилитации территории представлено на рисунке 6.

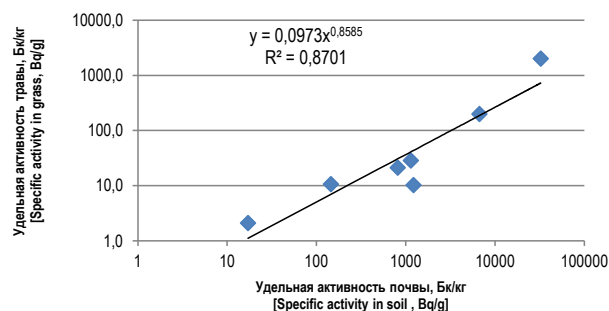


Рис. 6. Соотношение удельных активностей цезия-137 в почве и траве на территории «Глобус-1»

[Fig. 6. Ratio of the activity concentrations of caesium-137 in soil and grass on the territory «Globus-1»]

Наблюдается удовлетворительная связь ($R^2=0.87$) между уровнями загрязнения почвы и травы цезием-137 (см. рис. 6). Повышенные уровни загрязнения травы свидетельствуют о том, что слой чистой засыпки недостаточен и корни растительности могут достигать нижнего слоя засыпки низкоактивным грунтом.

Для изучения уровней загрязнения воды техногенными радионуклидами были отобраны пробы воды для последующего радиохимического анализа содержания

^{137}Cs и ^{90}Sr в реке Шача, на территории около места проведения взрыва и из колонки в д. Норское. Наряду с анализом ^{137}Cs и ^{90}Sr в 6 пробах воды, были отобраны также 23 пробы для определения удельной активности трития. В таблицах 4 и 5 представлены результаты анализа удельной активности техногенных радионуклидов в пробах воды, отобранных из источников, расположенных на территории, прилегающей к месту проведения МЯВ «Глобус-1».

Таблица 4

Удельная активность цезия-137 и стронция-90 в пробах воды, отобранных на территории, прилегающей к месту проведения МЯВ «Глобус-1», Бк/кг

[Table 4

Activity concentrations of cesium-137 and strontium-90 in water samples taken from the area adjacent to the site of the PNE «Globus-1» Bq/kg]

| Код пробы [code samples] | Координаты, град [Coordinates, degrees] | | Удельная активность*, Бк/кг [Activity concentration*, Bq/kg] | | Примечание [Note] |
|--|--|-----------------------|---|------------------|--|
| | Северная широта [N] | Восточная долгота [E] | ^{137}Cs | ^{90}Sr | |
| PX 1 | 57,5079 | 42,6331 | 0,048±0,024 | 0,012±0,006 | Река Шача [R. Shacha] |
| PX 2 | 57,5083 | 42,6328 | 0,004±0,002 | 0,018±0,009 | |
| PX 3 | 57,5073 | 42,6334 | 0,010±0,005 | 0,010±0,005 | |
| PX 4 | 57,5079 | 42,6330 | 0,004±0,002 | 0,006±0,003 | Колонка (д. Норское) [column (d. Norsкое)] |
| PX 5 | 57,5081 | 42,6360 | 0,010±0,005 | 0,012±0,006 | Труба с водой (территория МЯВ) [Pipe with water (PNE)] |
| PX 6 | 57,5084 | 42,6352 | 0,004±0,002 | 0,030±0,015 | Болото (территория МЯВ) [Swamp (PNE)] |
| Гигиенический критерий** [Hygiene criterion (HC)**] | | | 11 | 4,9 | |

* Погрешность измерений указана с доверительной вероятностью 95%.

[* Measurement uncertainty is given at 95% confidence probability].

Таблица 5

Удельная активность трития в пробах воды, отобранных на территории, прилегающей к месту проведения МЯВ «Глобус-1», Бк/кг

[Table 5

Activity concentration of tritium in water samples taken from the area adjacent to the venue of the PNE «Globus-1», Bq/kg]

| Код пробы [code samples] | Координаты, град [Coordinates, degrees] | | Удельная активность $^3\text{H}^*$, Бк/кг [Specific activity $^3\text{H}^*$, Bq/kg] | Примечание [Note] |
|-----------------------------|---|-----------------------|---|--------------------------|
| | Северная широта [N] | Восточная долгота [E] | | |
| ТР 13 | 57,5083 | 42,6328 | <2,0 | Река Шача [R. Shacha] |
| ТР 14 | 57,5073 | 42,6334 | <2,0 | |
| ТР 15 | 57,5079 | 42,6330 | <2,0 | |
| ТР24 | 57,5066 | 42,6362 | <2,0 | |
| ТР25 | 57,5065 | 42,6364 | <2,0 | |
| ТР26 | 57,5064 | 42,6371 | <2,0 | |
| ТР27 | 57,5067 | 42,6392 | <2,0 | |
| ТР28 | 57,5063 | 42,6349 | <2,0 | |
| ТР 30 | 57,5079 | 42,6331 | <2,0 | |

| Код пробы [code samples] | Координаты, град [Coordinates, degrees] | | Удельная активность ³ H*, Бк/кг [Specific activity ³ H*, Bq/ kg] | Примечание [Note] |
|---|---|--------------------------|---|--|
| | Северная широта [N] | Восточная долгота [E] | | |
| TP 21 | 57,5081 | 42,6360 | <2,0 | Труба с водой (территория МЯВ) [Pipe with water (PNE)] |
| TP18 | 57,5070 | 42,6329 | <2,0 | Лужа (территория МЯВ) [Puddle (PNE)] |
| TP19 | 57,5082 | 42,6349 | 2,6±1,1 | Лужа (территория МЯВ) [Puddle (PNE)] |
| TP22 | 57,5074 | 42,6355 | <2,0 | Лужа (территория МЯВ) [Puddle (PNE)] |
| TP23 | 57,5074 | 42,6355 | <2,0 | Труба с водой (территория МЯВ) [Pipe with water (PNE)] |
| TP 29 | 57,5084 | 42,6352 | 2,0 ± 1,0 | Лужа (территория МЯВ) [Puddle (PNE)] |
| TP16 | 57,5079 | 42,6329 | 3,4±1,2 | Лужа (вне территории МЯВ) [Puddle (outside the PNE)] |
| TP17 | 57,5081 | 42,6307 | <2,0 | Лужа (вне территории МЯВ) [Puddle (outside the PNE)] |
| TP20 | 57,5087 | 42,6339 | <2,0 | Болото (вне территории МЯВ) [Swamp (outside the PNE)] |
| TP11 | 57,4268 | 42,5455 | 2,1±1,1 | Река Волга [R. Volga] |
| TP12 | 57,4456 | 42,5492 | 3,9±1,3 | Колонка (д. Норское) [column (d. Norskoe)] |
| TP31 | 57,5079 | 42,6331 | 2,1±1,2 | Вода родниковая (д. Галкино) [water spring (d. Galkino)] |
| TP36 | 57,0144 | 40,9811 | <2,0 | Водопровод (г. Иваново) |
| TP48 | 56,9730 | 40,9667 | <2,0 | [Plumbing (Ivanovo)] |
| Гигиенический критерий ** [Hygiene criterion **] | | | 7600 | |

* Погрешность измерений указана с доверительной вероятностью 95%

[* Measurement accuracy is 95% confidence probability]

** Значения гигиенического критерия приведены в соответствии с Приложением 2а НРБ 99/2009

[** Hygienic criteria values are in accordance with the annex 2a NRB 99/2009]

Во всех пробах воды, отобранных на территории объекта «Глобус-1», из реки Шача и из населенных пунктов, удельные активности техногенных радионуклидов были существенно ниже уровней вмешательства для питьевой воды, установленных в НРБ-99/2009 (табл. 5 и 6).

Изменение радиационной обстановки на территории, прилегающей к объекту «Глобус-1» за период с 2008 по 2018 г. и оценка эффективности реабилитационных мероприятий

Выполненные в 2008, 2014 и 2018 гг. исследования радиационной обстановки на территории, прилегающей к месту проведения МЯВ «Глобус-1», позволяют констатировать, что после проведения реабилитационных работ в 2014–2015 гг. произошло существенное снижение уровня внешнего облучения техногенными радионуклидами лиц, посещающих данную территорию [12].

Несмотря на существенное снижение средних и максимальных значений мощности дозы в 2018 г. представляет интерес выяснить причины, по которым в отдельных точках повышенные уровни все же встречаются.

Эффективность реабилитационных работ по критерию мощности дозы гамма-излучения можно выполнить путем сравнения в двух выборках значений мощности дозы, превышающих величину 50 нЗв/ч, – фоновое значение для территории за пределами загрязнения 2014 г. Результаты сопоставления даны в таблице 6.

Таблица 6

Изменение количества измерений с превышением мощности дозы 50 нЗв/ч в выборках 2014 и 2018 гг.

[Table 6]

Changes of the number of measurements exceeding the dose rate of 50 nSv/h in samples of 2014 and 2018]

| Год [Year] | Число измерений [Number of measurements] | Процент с превышением 50 нЗв/ч [Percentage in excess of 50 nSv/h] |
|------------|--|---|
| 2014 | 251 | 80 |
| 2018 | 419 | 3,3 |

Таким образом, по показателю мощности дозы очевиден эффект снижения, однако высокие значения мощности дозы в отдельных точках свидетельствуют о незавершенности и недостаточном качестве выполненных работ.

Другой показатель эффективности связан с особенностью реабилитации данного объекта. Большое количество низкоактивного грунта (более 2000 м³) было целесообразно вывозить на захоронение, и решение об использовании этого грунта в качестве нижнего слоя рекультивации было оправданным. Однако при принятии такого решения возникает вопрос о толщине верхнего слоя засыпки. Результаты исследований показывают, что в спектральном составе гамма-фона на реабилитированной территории видны пики цезия-137 (см. рис. 4, табл. 1), интенсивность которых многократно превышает фоновые уровни (см. табл. 1), а пробы почвы и травы, собранные на этой территории, имеют повышенные концентрации цезия-137 и стронция-90 (табл. 7).

Таблица 7

Значения удельной активности цезия-137 и стронция-90 в пробах почвы и травы, отобранных на территории, прилегающей к месту проведения взрыва МЯВ «Глобус-1», в 2008 и 2014 гг., Бк/кг

[Table 7]

Values of activity concentration of caesium-137 and strontium-90 in soil samples and herbs, selected in the territory adjacent to PNE blast “Globus-1”, in 2008 and 2014 respectively, Bq/kg]

| Год исследования [Year of study] | Удельная активность, Бк/кг [Activity concentration, Bq/kg] | | | |
|----------------------------------|--|--------|------------------|------|
| | ¹³⁷ Cs | | ⁹⁰ Sr | |
| | Min | Max | Min | Max |
| Почва [soil] | | | | |
| 2014 | 0,02 | 133000 | 0,01 | 3400 |
| 2018 | 0,02 | 32500 | 0,01 | 90 |
| Трава [grass] | | | | |
| 2014 | 14,4 | 384 | 10,2 | 245 |
| 2018 | 2,11 | 2020 | 2,49 | 217 |

Диапазон значений удельной активности техногенных радионуклидов, измеренных в пробах воды из источников, расположенных на территории, прилегающей к месту проведения МЯВ «Глобус-1» в 2008–2018 гг., представлен в таблице 8.

Таблица 8

Удельная активность техногенных радионуклидов в пробах воды из источников, расположенных на территории, прилегающей к месту проведения МЯВ «Глобус-1» (2008–2018), Бк/кг

[Table 8]

Activity concentration of man-made radionuclides in water samples from sources located in the territory adjacent to PNE “Globus-1” (2008–2018), Bq/kg]

| Год исследования [Year of study] | Удельная активность, Бк/кг [Activity concentration, Bq/kg] | | | | | |
|--|--|-------|------------------|-------|----------------|-------|
| | ¹³⁷ Cs | | ⁹⁰ Sr | | ³ H | |
| | Min | Max | Min | Max | Min | Max |
| 2008 | 0,14 | 9900* | 0,01 | 4800* | <2,0 | 8900* |
| 2014 | 0,02 | 4300* | 0,01 | 3300* | <2,0 | 5350* |
| 2018 | 0,004 | 0,01 | 0,006 | 0,03 | <2,0 | 3,9 |
| Гигиенический критерий** [Hygiene criterion**] | 11 | | 4,9 | | 7600 | |

* Проба воды из исследовательской скважины, расположенной на территории, прилегающей к месту проведения МЯВ «Глобус-1»

[* sample water from wells located on the research area adjacent to PNE “Globus-1”]

** Значения гигиенического критерия приведены в соответствии с Приложением 2а НРБ 99/2009

[** Hygienic criteria values are in accordance with the annex 2a NRB 99/2009]

В пробах воды, отобранных в 2018 г. на территории объекта «Глобус-1», включая пробы воды из реки Шача и из населенных пунктов, удельные активности техногенных радионуклидов были существенно ниже уровней вмешательства для питьевой воды, установленных в НРБ-99/2009, и ниже значений, измеренных в 2008 и 2014 гг. (см. табл. 8). Отсутствует и поступление загрязненной техногенными радионуклидами воды из исследовательских скважин после их герметизации. Исследование содержания трития в воде как индикатора распространения техногенных радионуклидов показало, что удельная активность данного радионуклида в пробах воды из реки Шача, из реки Волга, из ближних и дальних населенных пунктов находятся в пределах колебаний уровней глобального загрязнения и в тысячи раз ниже уровней вмешательства.

Формально мероприятия по реабилитации обеспечили выполнение требований СанПиН 2.6.1. 2819-10, и доза облучения при консервативной оценке не превышает регламентируемую величину в 0,3 мЗв/год, однако, несмотря на существенное улучшение радиационной обстановки на объекте «Глобус-1», остается вопрос к качеству выполненных работ и техническому заданию, на основании которого данные работы выполнялись.

В настоящее время отсутствуют требования к территории охранной зоны к объекту размещения особых радиоактивных отходов, переводимого в состояние консервации. Этап консервации является продолжительным, прежде чем будет принято решение об окончательном захоронении особых РАО и снятия объекта с контроля. Этап консервации подразумевает продолжение периодического наблюдения за показателями радиационной обстановки в охранной зоне и источников питьевого водоснабжения.

Текущее состояние радиационной обстановки на объекте «Глобус-1» затрудняет ее адекватную оценку при последующем мониторинге за состоянием объекта и показателями радиационной обстановки в охранной зоне, поскольку после реабилитации имеют место превышения ряда показателей над фоновыми уровнями, которые при последующем мониторинге могут быть неверно истолкованы.

Выводы

На основании исследований состояния радиационной обстановки на территории, прилегающей к мирному ядерному взрыву «Глобус-1», после проведения реабилитационных работ получены следующие выводы:

1. Сопоставление показателей радиационной обстановки по мощности дозы внешнего гамма-излучения до и после проведения реабилитационных работ показало, что уровни мощности дозы существенно снизились. Осталось незначительное число точек, в которых мощность дозы заметно превышает фоновые уровни.

2. В спектральном составе излучений над территорией, подвергшейся реабилитации, интенсивность пиков цезия-137 заметно превышает фоновые уровни, что свидетельствует о недостаточной толщине чистой засыпки, частичном перемешивании слоя рекультивации со слоем чистой засыпки. Удельная активность проб почвы и травы, отобранных на реабилитированной территории, заметно превышает фоновые уровни.

3. По формальному признаку выполненные реабилитационные работы обеспечили требование СанПиН 2.6.1. 2819-10, и доза облучения не превышает 0,3 мЗв/год, однако качество реабилитационных работ является неудовлетворительным.

4. Оптимальными показателями радиационной обстановки на территории охранной зоны после реабилитации следует считать показатели, не превышающие фоновые уровни, обеспечивающие адекватную оценку состояния радиационной обстановки при последующем мониторинге.

Благодарности

Автор выражает свою благодарность Репину Виктору Степановичу (ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева) за помощь в анализе и обработке данных, а также сотрудникам ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева: Рамзаеву Валерию Павловичу, Кадука Марине Валерьевне, Иванову Сергею Анатольевичу, Варфоломеевой Ксении Владимировне, Библину Артему Михайловичу за возможность использовать совместно полученные данные.

Литература

1. Рамзаев, В.П. Мирные ядерные взрывы: проблемы и пути обеспечения радиационной безопасности / В.П. Рамзаев, Е.В. Храмцов // Радиационная гигиена. – 2009. – Т.2, №2. – С. 27-33.
2. Рамзаев, В.П. Радиационно-гигиенический мониторинг в местах применения ядерно-взрывных технологий в мирных целях и расчет доз облучения критических групп населения / В.П. Рамзаев [и др.] // Радиационная гигиена. – 2010. – Т.3, №1. – С. 33-39.
3. Научно-методическое сопровождение работ по обеспечению радиационной безопасности населения на территориях в местах применения ядерно-взрывных технологий в мирных целях: Отчет о научно-исследовательской работе. № ИКРБС 02201457300. Фонды ФБУН НИИРГ, 2014. – 164 с.
4. 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 о научно-исследовательской работе. № ИКРБС 02.2.00950764. Фонды ФГУН НИИРГ, 2008. – 183 с.
5. Храмцов, Е.В. Радиационная обстановка в районе проведения мирного ядерного взрыва «Глобус-1» перед выполнением реабилитационных мероприятий в 2014 г. / Е.В. Храмцов [и др.] // В книге: Чернобыль – 30 лет спустя. Радиационно-гигиенические аспекты преодоления последствий аварии на ЧАЭС. Сб. тез. междунар. науч.-практ. конф., 2016. – С. 188-190.
6. Храмцов, Е.В. Радиационно-гигиеническая оценка территорий, прилегающих к местам проведения мирных ядерных взрывов / Е.В. Храмцов [и др.] // Современные проблемы радиационной медицины: от науки к практике (г. Гомель, 26-27 апреля 2018 г.): Матер. междунар. науч.-практ. конф. / Под общ. ред. д.м.н., доц. А.В. Рожко. – Гомель, ГУ «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека», 2018. – С. 81-82.
7. Храмцов, Е.В. Радиационная обстановка на территории проведения мирного ядерного взрыва «Глобус-1» до выполнения реабилитационных работ / Е.В. Храмцов // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, №2. – С. 81-87.
8. International Commission on Radiation Units and Measurements: Report 53. Gamma-ray spectrometry in the environment / ICRU, 1994.

9. Сайт Международного общественного форума-диалога и выставки «АтомЭко 2017»: <http://www.atomeco.org/mediafiles/u/files/2015/Materials/Kamornyj.pdf> (дата обращения: 13.03.2019)
10. Романович, И.К. Научное обоснование подходов к организации и проведению радиационного обследования реабилитированных радиационных объектов / И.К. Романович // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, №3. – С. 90-102.
11. Касаткин, В.В. Экологическая реабилитация объектов использования мирных подземных ядерных взрывов / В.В. Касаткин [и др.] // Вестник РАЕН. – 2018. – Т. 18, № 1. – С. 8-12.
12. Репин, В.С. Радиационно-гигиеническая оценка территории, прилегающей к месту проведения мирного ядерного взрыва «Глобус-1» после выполненных реабилитационных мероприятий / В.С. Репин [и др.] // В книге: Актуальные вопросы радиационной гигиены. Матер. междунар. науч.-практ. конф., 2018. – С. 222-225.

Поступила: 30.05.2019 г.

Храмцов Евгений Витальевич – научный сотрудник лаборатории экологии Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: zhenia.khramtzov2013@yandex.ru

Для цитирования: Храмцов Е.В. Радиационная обстановка на территории проведения мирного ядерного взрыва «Глобус-1» после выполнения реабилитационных работ // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 3 – С. 58-68. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-58-68

Radiation situation on the territory of the peaceful nuclear explosion «Globus-1» after performing the rehabilitation works

Evgeniy V. Khramtsov

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance of Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

The article provides data on the radiation situation on the research of the year 2018 territory adjacent to the site of the peaceful nuclear explosion “Globus-1” after carrying out rehabilitation works (2014-2015), made with the purpose of removal accidental contamination. We analyzed the dynamics of radiation situation during the period from 2008 to 2018 year and assessed the effectiveness of rehabilitation works on basic indicators: the values of the dose of technogenic radionuclides content in soil, water and other objects the environment. According to the results of comparing the number of measurements exceeding the dose rate of 50 nSv/h (background value for outside contamination 2014 years) in samples of 2014 and 2018 years found that 80% of exceedances, enshrined in the year 2014, percentage of exceedances in 2018 year amounted to only 3%. Another performance indicator associated with the feature to the rehabilitation of this object. A large number of low level activity in soil was inappropriate to remove the burial and the decision to use the ground as a lower layer of reclamation was justified. Research has shown that in the spectral composition of gamma background rehabilitated territory intensity peaks of caesium-137 is many times greater than background levels. In selected soil samples recorded elevated levels of cesium-137 (up to 32500 Bq/kg on wet weight), and collected on such soil samples of herbs have elevated concentrations of cesium-137 (up to 2000 Bq/kg) and strontium-90 (up to 400 Bq/kg) on the dry weight basis. All elevated levels of activity concentration of cesium-137 were found in local areas, within the path of radioactive contamination, selected in year 2014. After carrying out rehabilitation work there has been a significant decrease in the levels of external radiation man-made radionuclides and on formal grounds completed rehabilitation work provided the requirement of Russian Safety Norms 2.6.1. 2819-10 and radiation dose does not exceed 0.3 mSv/year, however, high dose rate recorded in separate locations on the recultivated territories indicate incomplete and insufficient as completed rehabilitation.

Key words: peaceful nuclear explosion, radionuclides, radioactive contamination, objects the environment, radiation dose, radiation safety.

Evgeniy V. Khramtsov

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev

Address for correspondence: Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: zhenia.khramtzov2013@yandex.ru

References

1. Ramzaev V.P., Repin V.S., Khramtsov E.V. Peaceful underground nuclear explosions: current issues on radiation safety for general public. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2009;2(2):27-33. (In Russian).
2. Ramzaev V.P., Medvedev A.Y., Repin V.S., Timofeeva M.A., Khramtsov E.V. Radiation monitoring the industrial nuclear explosion sites and evaluation of the doses to the critical groups of population. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2010;3(1):33-39. (In Russian).
3. Scientific-methodical tracking of the activities on the provision of the radiation safety of the public on the territories located on the sites of the peaceful nuclear explosions: Report on the scientific-research study. № IKRBS 02201457300. Archives of FBUN NIIRG, 2014, 164 p. (In Russian).
4. Radiation-hygienic survey of the territories adjacent to the peaceful nuclear explosion sites with the surface release of the radionuclides and development of the criteria of the provision of the safety of the public: Report on the scientific-research study. № IKRBS 02.2.00950764. Archives of FBUN NIIRG, 2008, 183 p. (In Russian).
5. Khramtsov E.V. [et al.] Radiation situation in the area of peaceful nuclear explosion "Globus-1" before completing rehabilitation in 2014. In the book: Chernobyl-30 years later. Radiation-hygienic aspects of overcoming the consequences of the Chernobyl accident. Abstracts of the international scientifically-practical Conference, 2016, pp. 188-190 (In Russian).
6. Khramtsov E.V. [et al.] Radiation-hygienic assessment of the territories adjacent to the places of peaceful nuclear explosions. Contemporary problems of radiation medicine: from science to practice (Gomel, 26-27 April 2018) international scientific-practical Conference/AGG. Ed. Dr. med. Sciences, associate professor. A.V. Rozhko. Gomel, the Republican Scientific and practical Center for radiation medicine and human ecology. Gomel: Department Republican, 2018, pp. 81-82 (In Russian).
7. Khramtsov E.V. Radiation situation on the territory of the peaceful nuclear explosion «Globus-1» before performing the rehabilitation works. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2019, Vol. 12, No. 2, pp. 81-87. (In Russian).
8. International Commission on Radiation Units and Measurements: Report 53. Gamma-ray spectrometry in the environment / ICRU, 1994.
9. Webpage of the international public forum-dialogue and exhibition "AtomEco 2017". – Available on: <http://www.ato-meco.org/mediafiles/u/files/2015/Materials/Kamornyj.pdf> (Accessed: 13.03.2019) (In Russian).
10. Romanovich I.K. Scientific substantiation of approaches to organization and conducting radiation surveys at the rehabilitated radiation sites. *Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene*, 2017, Vol. 10, No. 3, pp. 90-102. (In Russian).
11. Kasatkin, V.V. Ecological remediation of the objects of the peaceful underground nuclear explosions. *Bulletin of RAEN*, 2018, Vol. 18. No. 1. pp. 8-12. (In Russian).
12. Repin V.S. [et al.] Radiation-hygienic assessment area adjacent to the venue of a peaceful nuclear explosion «Globus-1» after the completed rehabilitation. In the book: issues of radiation hygiene. The materials of the international scientifically practical Conference, 2018, pp. 222-225. (In Russian).

Received: May 30, 2019

For correspondence: Evgeniy V. Khramtsov – Researcher, Laboratory of Ecology, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights and Human Well-Being (Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: zhenia.khramtzov2013@yandex.ru)

For citation: Khramtsov E.V. Radiation situation on the territory of the peaceful nuclear explosion «Globus-1» after performing the rehabilitation works// *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2019, Vol. 12, No. 3, pp. 58-68. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-58-68