

Radiation situation at the “Pirit” peaceful underground nuclear explosion site

Artem M. Biblin¹, Evgeniy V. Khramtsov¹, Viktor S. Repin¹, Sergey A. Ivanov¹, Kseniya V. Varfolomeeva¹,
Konstantin A. Sednev¹, Yuliya M. Bogomolova²

¹ Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint-Petersburg, Russia

² Federal State Budgetary Institution “Nenetsky State Nature Reserve”, Iskateley, Russia

The aim of this study was to evaluate radiation situation at the “Pirit” peaceful underground nuclear explosion site. The peaceful underground nuclear explosion “Pirit” with the capacity of 37.6 kt of TNT equivalent was carried out on May 25, 1981 on the territory of the Kumzhinskoye gas condensate field at a depth of 1.5 km. The field is located near the northern coast of the European part of Russia in the delta of the Pechora River (Nenets Autonomous District). The peaceful underground nuclear explosion “Pirit” was carried out with the aim to stop the uncontrolled gas gushing. Radiation situation is assessed according to the main indicators: dose rate values and content of technogenic radionuclides in soil and water. The radiation survey included determining geographic coordinates of specific landscape elements, measurement and sampling points using satellite navigators, measurement of ambient dose equivalent rate, identification of gamma-emitting radionuclides in situ by field gamma spectrometry, sampling of water, photo and video shooting. On the site of the underground nuclear explosion “Pirit” the values of the ambient dose equivalent rate were in the range of 0.050–0.089 $\mu\text{Sv/h}$, which corresponds to the levels of the natural radiation background. No sites of local radioactive contamination of soil by ^{137}Cs were detected. The tritium content (less than 5 Bq/kg) in water bodies does not exceed the levels of fluctuations of this indicator in other regions of the European territory of Russia. The estimated value of the effective dose due to ingestion of tritium in drinking water in local settlements was 0.044 $\mu\text{Sv/year}$. The radiation situation on the territory of the peaceful nuclear explosion “Pirit” meets the requirements of the Russian Sanitary Regulations and Standards 2.6.1.2819-10 “Ensuring the radiation safety of the population living in the regions of nuclear explosions for peaceful purposes (1965–1988)” and currently does not pose a threat to public health. Due to the potential danger of technogenic radionuclides coming from the epicenter of the explosion to the surface for long-term radiation safety, it is necessary to organize radiation monitoring of the territory adjacent to the explosion site, determine the boundaries of the protected zone and set appropriate information signs warning of radiation danger.

Key words: peaceful nuclear explosion, underground nuclear explosion, tritium, radioactive contamination, radiation safety, Nenetsky State Nature Reserve, Pirit.

Радиационная обстановка в районе проведения мирного ядерного взрыва «Пирит»

А.М. Библин¹, Е.В. Храмцов¹, В.С. Репин¹, С.А. Иванов¹, К.В. Варфоломеева¹, К.А. Седнев¹,
Ю.М. Богомолова²

¹ 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

² Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный природный заповедник «Ненецкий», п. Искателей, Россия

Целью исследования являлась оценка состояния радиационной обстановки в районе проведения мирного ядерного взрыва «Пирит» и разработка предложений по долговременному обеспечению ра-

Artem M. Biblin

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

Address for correspondence: Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101; E-mail: a.biblin@niirg.ru

Библин Артём Михайлович

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

Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: a.biblin@niirg.ru

радиационной безопасности. Мирный ядерный взрыв «Пирит» мощностью 37,6 кт на глубине 1,5 км был произведен 25 мая 1981 г. на Кумжинском газоконденсатном месторождении в дельте реки Печора (Ненецкий автономный округ) с целью остановки аварийного фонтанирования газа. Дана оценка радиационной обстановки по основным показателям: значения мощности дозы, содержание техногенных радионуклидов в почве и воде. Радиационное обследование района проведения мирного ядерного взрыва «Пирит» включало в себя определение географических координат специфических элементов ландшафта, точек измерений и отбора проб с использованием спутниковых навигаторов, измерение мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения, идентификацию гамма-излучающих радионуклидов *in situ* методом полевой гамма-спектрометрии, отбор проб воды на содержание трития, фото- и видеосъемку. В районе проведения мирного ядерного взрыва «Пирит» значения мощности амбиентного эквивалента дозы находятся в диапазоне 0,050–0,089 мкЗв/ч, что соответствует уровням естественного радиационного фона. Участки локального радиоактивного загрязнения почвы ^{137}Cs не обнаружены. Содержание трития (менее 5 Бк/кг) в водных объектах не превышает уровней колебаний данного показателя в других регионах европейской территории России. Консервативная оценка дозы дополнительного техногенного облучения отдельных лиц из населения от поступления трития с питьевой водой составила 0,044 мкЗв/год. Радиационная обстановка на территории мирного ядерного взрыва «Пирит» соответствует требованиям СанПиН 2.6.1.2819–10 «Обеспечение радиационной безопасности населения, проживающего в районах проведения (1965–1988 гг.) ядерных взрывов в мирных целях» и в настоящее время не представляет угрозы здоровью населения. В связи с потенциальной опасностью выхода техногенных радионуклидов из эпицентра взрыва на поверхность для долговременного обеспечения радиационной безопасности необходимы организация радиационного мониторинга территории, прилегающей к месту проведения взрыва, определение границ охранной зоны и установка соответствующих информационных знаков, предупреждающих о радиационной опасности.

Ключевые слова: мирный ядерный взрыв, подземный ядерный взрыв, тритий, радиоактивное загрязнение, радиационная безопасность, заповедник «Ненецкий», Пирит.

Introduction

Peaceful underground nuclear explosion (PNE) “Pirit” is one of five explosions conducted to eliminate emergency gas fountains within the State program “Nuclear Explosions for the National Economy” in the USSR and the only one in the territory of the Russian Federation [1].

Uncontrolled gas gushing from well No. 9 into the environment began on November 6, 1980 during the development of the Kumzhinskoye gas condensate field. This field is located near the northern coast of the European part of Russia in the delta of the Pechora River (Nenets Autonomous District). Hydrocarbon release exceeded 800 thousand cubic meters per day. To stop the discharge PNE “Pirit” with the capacity of 37.6 kt of TNT equivalent was conducted on May 25, 1981 at a depth of 1.5 km. However, due to technical miscalculations, the emergency did not eliminate, the hydrocarbon yield increased to 1700 thousand cubic meters per day. In 1987, well No. 9 was shut in by drilling inclined wells [1–5]. The emergency at the field caused pollution of the environment with liquid hydrocarbons.

To reduce the anthropogenic load on the territory and to stop hydrocarbons inflow to Korovinskaya and Pechorskaya bays, Maly Gusinets Pechora’s arm was dammed upstream and downstream to the emergency area and along its entire perimeter (595×310 m). Channel was separated by a sand and gravel mixture dam, which height varies from 1 to 6 m. The area of the territory limited by the dam along the outer contour is 120 thousand m². The area of enclosed ponds over large and small craters is about 77400 m². Inflow of hydrocarbons from craters to the territory bounded by the dam continues at present [3–5].

In 2008 and 2011, surveys conducted by VNIIPromtekhnologii commissioned by joint-stock company “SN Invest” showed no changes in the radiation situation in the PNE “Pirit” area [3]. According to the results of the works

Введение

Мирный ядерный взрыв (МЯВ) «Пирит» стал одним из пяти взрывов, произведенных с целью ликвидации аварийных фонтанов за период реализации государственной программы «Ядерные взрывы для народного хозяйства», в СССР и единственным на территории Российской Федерации [1].

При разработке Кумжинского газоконденсатного месторождения, расположенного вблизи северного побережья европейской части РФ в дельте реки Печора (Ненецкий автономный округ), 6 ноября 1980 г. началось неуправляемое фонтанирование газа из скважины № 9 в окружающую среду. Выброс углеводородов составлял более 800 тыс. м³ в сутки. Для остановки фонтанирующего газа 25 мая 1981 г. был проведен МЯВ «Пирит» мощностью 37,6 кт (по тротиловому эквиваленту) на глубине 1,5 км. Однако в связи с техническими просчетами аварийную ситуацию не удалось ликвидировать, произошло усиление выхода углеводородов до 1700 тыс. м³ в сутки. В 1987 г. скважина № 9 была перекрыта путем бурения наклонных скважин [1–5]. Аварийная ситуация на месторождении вызвала загрязнение окружающей среды жидкими углеводородами.

Для снижения антропогенной нагрузки на территорию и прекращения поступления углеводородов в Коровинскую и Печорскую губы протока Малый Гусинец была перекрыта двумя плотинами, расположенными выше и ниже по течению относительно аварийной площади и по всему ее периметру (595×310 м), и отделена дамбой из песчано-гравийной смеси, высота которой меняется от 1 до 6 м. Площадь территории, ограниченной дамбой по внешнему контуру, составляет 120 тыс. м², а площадь замкнутых водоемов над большими и малым кратерами – около 77,4 тыс. м². Поступление углеводородов из кратеров на территорию, ограниченную дамбой, в настоящее время продолжается [3–5].

performed in 2020 by the researchers of the N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, no human-made radionuclides were detected in the surface layer of bottom sediments and in the aquatic environment [6-8].

At present, the PNE "Pirit" area is located on the territory of the Nenetsky State Nature Reserve [4, 9-11].

In accordance with the Federal Law of July 11, 2011 "Handling Radioactive Waste and on Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation" and the Decree of the Government of the Russian Federation of October 19, 2012 N 1069 "On criteria of assignment for solid, liquid and gas wastes to radioactive wastes, criteria of assignment of radioactive wastes to special radioactive wastes and to disposable radioactive wastes and criteria of disposable radioactive wastes classification", PNE are classified as special (permanent) radioactive waste.

Taking into account the potential danger of the release of technogenic radionuclides from the central zone of a nuclear explosion to the surface, a radiation survey of the PNE "Pirit" nuclear test site was conducted in July 2021 in accordance with the plan of field works by the Contract No. 81.001.20.2 with the Federal Medical and Biological Agency of Russia.

The aim of this study was to evaluate the radiation situation in the area of the PNE "Pirit".

Materials and methods

At the emergency site there is an artificial reservoir, separated by a dam and surrounded by an embankment barrier system around it (Fig. 1). The drilling rig was disposed in the course of the territory rehabilitation works. A characteristic feature of the artificial reservoir in the area adjacent to the explosion site is its contamination with

По результатам исследований ВНИПИПром-технологии, выполненных по заказу АО «СН Инвест» в 2008 и 2011 гг., не выявлено негативных последствий МЯВ «Пирит» на радиационную обстановку в районе его проведения [3]. По результатам работ, выполненных в 2020 г. сотрудниками Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова УрО РАН (г. Архангельск), также не обнаружено техногенных радионуклидов в поверхностном слое донных отложений и в водной среде [6-8].

В настоящее время район проведения МЯВ «Пирит» находится на территории ФГБУ «Государственный заповедник «Ненецкий» [4, 9-11].

В соответствии с изменениями, внесенными в Федеральный закон от 11 июля 2011 г. «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», и Постановлением Правительства РФ от 19 октября 2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов», МЯВ отнесены к особым (не удаляемым) радиоактивным отходам.

Учитывая наличие потенциальной опасности выхода техногенных радионуклидов из центральной зоны ядерного взрыва на поверхность, в июле 2021 г. в соответствии с планом экспедиционных работ в рамках выполнения государственного контракта № 81.011.20.2 от 20 мая 2020 г. «Разработка и научное обоснование радиационно-гигиенических требований к охраняемым зонам мирных ядерных взрывов при переводе их в стадию консервации» с ФМБА



Рис. 1. Расположение места проведения мирного ядерного взрыва «Пирит» в Ненецком автономном округе России
[Fig.1. Location the "Pirit" peaceful underground nuclear explosion site in the Nenets Autonomous District, Russia]

petroleum products. There is a strong odor of oil products near the artificial reservoir, and oil slicks can be seen along the perimeter and in the lacunae near the slopes of the technical site (Fig. 2). Visually maximum concentrations of oil products (oil slicks along the shore of the artificial reservoir and oil films on its water surface near the shore) are noted within the circumferential embankment barrier around the dam on the left bank in the place where the main infrastructure elements of the field were located, as well as near the well K-10 (Fig. 2).

In total 28 wells were drilled within the Kumzhinskoye field: 15 exploration wells (№№ 6, 7, 9 – 21), six prospecting wells (№№ 1 – 5, 8), three structural prospecting wells (Nos. 133 – 135) and four special purpose wells (№№ 25, 26, 27 and 27-BIS), drilled to eliminate the K-9 well accident (Fig. 2) [3].

России было проведено радиационное обследование района проведения МЯВ «Пирит».

Цель исследования – оценка состояния радиационной обстановки в районе проведения мирного ядерного взрыва «Пирит».

Материалы и методы

Территория проведения МЯВ «Пирит» находится на северо-востоке Русской равнины, в дельте реки Печоры, характеризующейся равнинным ландшафтом и заболоченностью. Населенные пункты в 30-километровой зоне вокруг отсутствуют. Ближайшие к МЯВ «Пирит» населенные пункты: г. Нарьян-Мар (25 536 чел.) – 50 км и п. Искателей (7412 чел.) – 61 км (рис. 1).

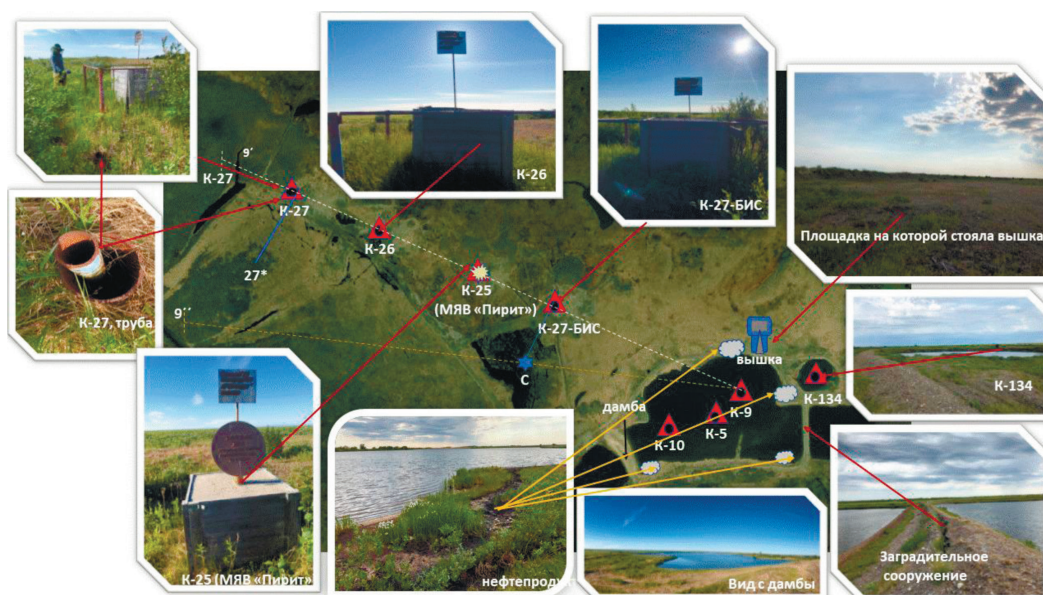


Рис. 2. Карта-схема расположения аварийных скважин и скважин специального назначения Кумжинского газоконденсатного месторождения

[Fig.2. Map of the location of emergency and special purpose wells on the Kumzhinsky gas condensate field]

Exploration well K-9 is located in the wellhead, located on the elevated left bank of the Maly Gusinets, at a distance of 3 km from the Korovinskaya Bay. Next to it on one side there is a prospecting well K-5 and an exploration well K-10 (50 and 150 m away from K-9 respectively) and on the other side, 180 m away from K-9, a structural prospecting well K-134. Well K-25, a special purpose well drilled to stop the gas condensate fountain and quench the gas flare, is located 600 m north-west of the mouth of well K-9 (PNE «Pirit», depth 1510-1530 m). Well K-26 (1300 m deep), intended to penetrate into the nuclear explosion zone, is located 843 m away from well K-9. Well K-27 (2382 m deep) designed to establish hydrodynamic connection with the perforation zone of well K-9 and removed from it by 1060 m [3]. The mouth of the well K-27-BIS (about 1000 m deep) designed to detect the wellbore of K-9 at a relatively shallow depth is located at the distance of 451 m from K-9 (Figure 3).

Scheme of radiation survey of the PNE «Pirit» area was previously published in numerous papers, for example in [12, 13]. The radiation survey included determining geographic coordinates of specific landscape elements, measurement and sampling points using satellite navigators, measurement

На аварийном участке находится искусственный водоем, отделенный дамбой и окруженный насыпной системой заградительного сооружения вокруг неё (рис. 2). Вышка была утилизирована в ходе работ по реабилитации территории. Характерной особенностью искусственного водоема на территории, прилегающей к месту проведения взрыва, является его загрязнение нефтепродуктами. Возле искусственного водоема ощущается сильный запах нефтепродуктов, по периметру и в лакунах у склонов технической площадки встречаются нефтяные пятна (см. рис. 2). Визуально максимальные концентрации нефтепродуктов (нефтяные пятна по берегу искусственного водоема и нефтяные пленки на его водной поверхности у берега) отмечаются в пределах окружного насыпного заградительного сооружения вокруг дамбы по левому берегу, в месте, где были расположены основные элементы инфраструктуры промысла, а также у скважины K-10 (см. рис. 2).

Всего в пределах Кумжинского месторождения пробурено 28 скважин: 15 разведочных (№№ 6, 7, 9–21), 6 поисковых (№№ 1–5, 8), 3 структурно-поисковых (№№ 133–

of ambient dose equivalent rate, identification of gamma-emitting radionuclides in situ by field gamma spectrometry, sampling of water, photo and video shooting (Fig. 1–3).

$H^*(10)$ was measured at a height of 1 m from the soil surface using a DKS-AT1121 (ATOMTEX, Belarus). Ambient dose equivalent rate measurement range for DKS-AT1121 is in range from 5×10^{-2} to 1×10^7 $\mu\text{Sv/h}$. The measurements were made at a height of 1 m from the soil surface. Location of ambient dose equivalent rate of the gamma radiation measurement points on the territory of the PNE “Pirit” presented in Figure 3. During the field research 208 $H^*(10)$ measurements were made in the surveyed territory. Among them three were made in the settlements Naryan-Mar and Iskately and two on the Pechora River at tritium sampling points.

Gamma-emitting radionuclides were identified using MKG-AT1321 (ATOMTEX, Belarus) with NaI(Tl) scintillation detector $\varnothing 25 \times 40$ mm energy dependence relative to 662 keV (^{137}Cs) NaI(Tl) energy $\pm 20\%$ (in the energy range from 50 keV to 3 MeV). The measurements were made at a height of 1 m from the soil surface. The counting time was 1 hour. The points of 11 gamma spectrometric measurements are shown in Figure 4.

Soil sampling and laboratory measurements of the specific activity of radionuclides in the soil were not made, since the PNE “Pirit” site was covered with a layer of rubble.

In the area adjacent to the explosion site, 21 water samples were taken from surface water bodies for laboratory testing for tritium content (Fig. 5). Also 5 water samples were taken to determine the tritium content in the settlements and rivers of the PNE “Pirit” area. Sampling and determination of the specific activity of tritium in water in counting samples were carried out on a liquid alpha-beta spectrometer “Quantulus-1220” (“PerkinElmer”, USA) according to the

35) и 4 скважины специального назначения (№№ 25, 26, 27 и 27-бис), пробуренные для ликвидации аварии на скважине К-9 (см. рис. 2) [3].

Разведочная скважина К-9 находится в устье, расположенном на возвышенности левого берега протоки Малый Гусинец (рукав Печоры), на удалении 3 км от Коровинской губы. Рядом с ней с одной стороны располагаются поисковая скважина К-5 и разведочная скважина К-10 (удалены от К-9 на 50 и 150 м соответственно) и с другой, на расстоянии 180 м от К-9 – структурно-поисковая скважина К-134. Скважина специального назначения, пробуренная для остановки фонтана газоконденсата и гашения газового факела, К-25 (МЯВ «Пирит», глубиной 1510–1530 м), располагается в 600 м к северо-западу от устья скважины К-9. Скважина К-26 (глубиной 1300 м), предназначенная для проникновения в зону атомного взрыва, располагается на расстоянии 843 м от скважины К-9. Скважина К-27 (глубиной 2382 м) предназначена для установления гидродинамической связи с зоной перфорации ствола скважины К-9 и удалена от неё на 1060 м [3]. Устье скважины К-27-БИС (глубиной около 1000 м), предназначенной для обнаружения ствола К-9 на относительно небольшой глубине, расположено на расстоянии 451 м от К-9 (см. рис. 2).

Радиационное обследование района проведения МЯВ «Пирит» проводилось по традиционной схеме [12, 13], которая включала в себя определение географических координат специфических элементов ландшафта, точек измерений и отбор проб с использованием спутниковых навигаторов, измерение мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МАЭД), идентификацию гамма-излучающих радионуклидов *in situ* методом полевой гамма-спектрометрии, отбор проб воды на содержание трития, фото- и видео-съёмку (рис. 3–5).

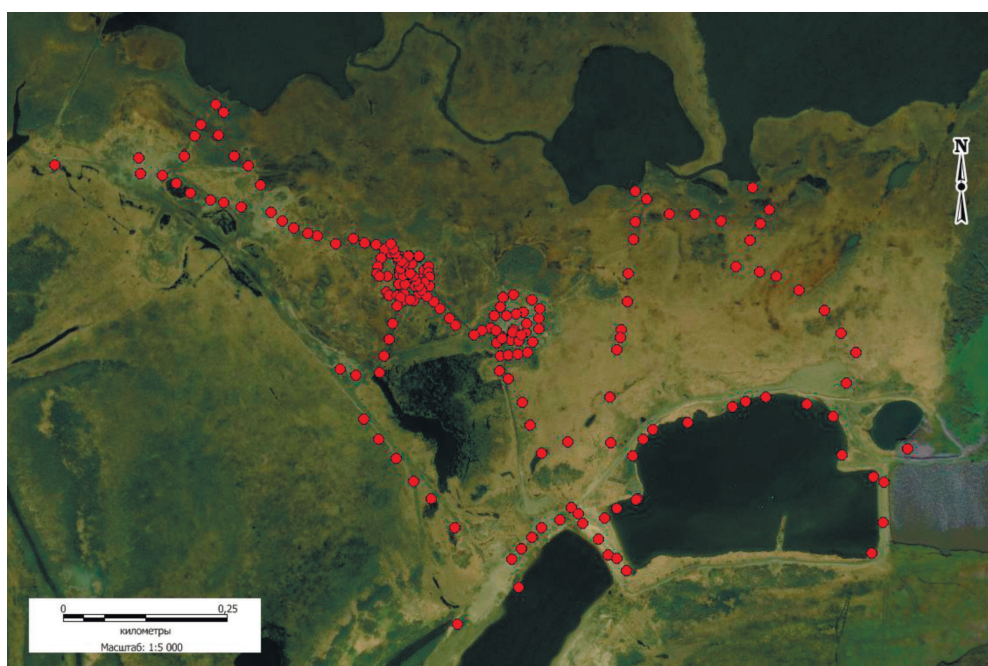


Рис. 3. Точки измерений МАЭД на территории, прилегающей к месту проведения МЯВ «Пирит»
[Fig.3. Locations of ambient dose equivalent rate measurement points (arrow) on the territory of the PNE “Pirit”]



Рис. 4. Точки проведения гамма-спектрометрических исследований
 [Fig. 4. Sites of gamma spectrometric measurements (pin) on the territory of the PNE "Pirit"]

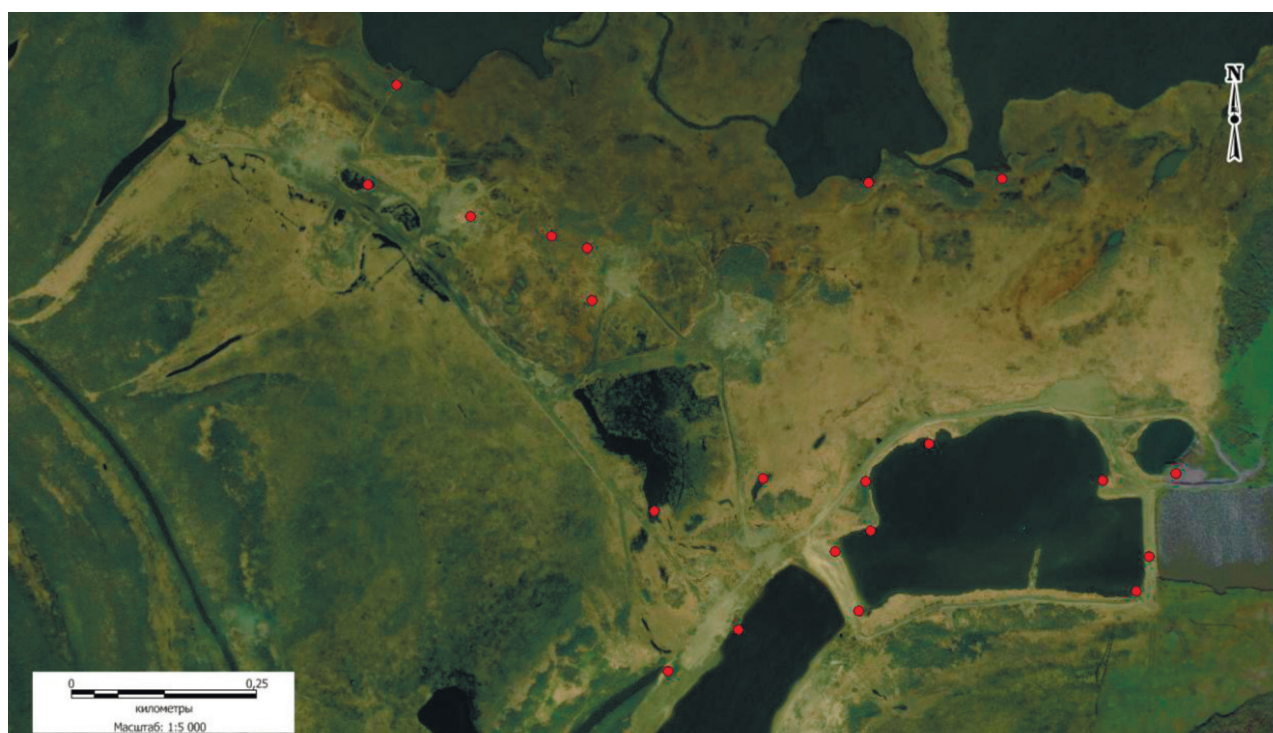


Рис. 5. Точки отбора проб воды из поверхностных водоемов на содержание трития на территории, прилегающей к месту проведения МЯВ «Пирит»

[Fig. 5. Location of sampling points (circles) for determination of tritium activity concentration in water at the region of the PNE "Pirit"]

method described in the article by Ramzaev V.P. et al. [14]. At duration of measurements of 360 minutes the minimum detectable activity was equal to 2 Bq/L. Taking into account that in the current Russian Norms of radiation safety. SanPiN 2.6.1.2523-09 NRB-99/2009 (hereinafter NRB-99/2009) the intervention level for drinking water is dimensioned in Bq/kg

Измерение МАЭД выполнялось на высоте 1 м от поверхности почвы с помощью ДКС-АТ1121 (АТОМТЕХ, Беларусь) с диапазоном измерений непрерывного рентгеновского и гамма-излучения от 5×10^{-2} до 1×10^7 мкЗв/ч и пределом допускаемой дополнительной относительной погрешности $\pm 10\%$ при изменении температуры воздуха

(specific activity), the results obtained are also given in this dimension. The density of water at 20 °C was taken as 1.00 g/cm³ (rounded from 0.9982 g/cm³) [15].

Visualization of the measurement and sampling points as well as of the fixed landscape features in the investigated territory was performed using the geoinformation system MapInfo 7.8.

The internal exposure dose of a representative individual due to the intake of ³H with drinking water in the settlement (E_{water_settl}) was calculated by the formula:

$$E_{water_settl} = m_{water} \cdot A_i^{H3} \cdot \varepsilon_{H3}$$

where:

A_i^{H3} – the maximum specific activity of ³H in the water from i drinking water sources in the settlement; ε_{H3} – dose coefficient for ³H entering the body of an adult with drinking water, which in accordance with NRB-99/2009 (see Annex 2a to NRB-99/2009) is $1.8 \cdot 10^{-5}$ μSv/Bq; m_{water} – annual water consumption is assumed to be 730 kg.

Results and discussion

Visual inspection of the PNE “Pirit” site showed a significant improvement in the sanitary condition compared to the data presented in the literature [3]. Currently, the area surrounding the accident-free wells (special purpose wells) has been reclaimed, the areas around the wells are backfilled with gravel mixture. However, there are some dismantled wooden structures and parts of metal structures in the area around the special purpose wells (Figures 2 and 6).

от –30 °C до +50 °C (относительно нормальных условий). Точки измерений МАЭД на территории, прилегающей к месту проведения МЯВ «Пирит», представлены на рисунке 3. Всего на обследованной территории было проведено 208 измерений МАЭД, из которых 3 выполнено в населенных пунктах (Нарьян-Мар и пос. Искателей) и 2 – на реке Печора в точках отбора проб воды.

Идентификация гамма-излучающих радионуклидов проводилась с помощью МКГ-АТ1321 (АТОМТЕХ, Беларусь) с сцинтилляционным детектором NaI(Tl) Ø25×40 мм; энергетическая зависимость относительно энергии 662 кэВ (¹³⁷Cs) NaI(Tl) ±20% (в диапазоне энергий от 50 кэВ до 3 МэВ). Измерения выполнялись на высоте 1 м от поверхности почвы, время экспозиции – 1 ч. Точки проведения 11 гамма-спектрометрических измерений представлены на рисунке 4.

Отбор проб почвы и лабораторные измерения удельной активности радионуклидов в почве не проводились, поскольку площадка объекта была отсыпана слоем щебня.

Для лабораторного исследования содержания трития в воде были отобраны 21 проба воды из поверхностных водоемов, расположенных непосредственно на территории, прилегающей к месту проведения взрыва, и 5 проб из источников питьевого водоснабжения населенных пунктов и рек района (рис. 5). Обор проб и определение удельной активности трития в воде в счетных образцах выполнены на жидкостном альфа-бета-спектрометре «Quantulus-1220» фирмы «PerkinElmer» (США) по методике, описанной в статье Рамзаева В.П. и др. [14]. При продолжительности изме-



Рис. 6. Санитарное состояние охранной зоны МЯВ «Пирит»
[Fig. 6. The sanitary condition in the protected zone of the PNE “Pirit”]

Not all wells in the protected zone are equipped with concrete bollards and fences. There are no informational signs warning on radiation hazards within the boundaries of the protected zone.

The results of the $H^*(10)$ measurements recorded in the area of the PNE "Pirit" ranged from 0.050 to 0.089 $\mu\text{Sv/h}$ (mean 0.064; SD 0.006 $\mu\text{Sv/h}$) (Fig. 4), which corresponds to the levels of natural background (0,11 $\mu\text{Sv/h}$) [16]. The highest values of $H^*(10)$ were measured in points covered with rubble, and the lowest values were measured in marshy lowlands.

Field gamma-spectrometric surveys show that there are no areas of local contamination with technogenic radionuclides on the PNE "Pirit" site. Figure 7 shows an Example of spectra measured on the territory of the PNE "Pirit".

рений 360 мин минимально детектируемая активность равна 2 Бк/л. Учитывая то обстоятельство, что в действующих НРБ-99/2009 уровень вмешательства для питьевой воды имеет размерность Бк/кг (удельная активность, УА), полученные результаты также приводятся в этой же размерности. Плотность воды при 20°C была принята равной 1,00 г/см³ (округлено от 0,9982 г/см³) [15].

Картографическая визуализация точек измерений и отбора проб, а также зафиксированных особенностей ландшафта на исследованной территории выполнена с использованием геоинформационной системы MapInfo 7.8.

Доза внутреннего облучения представительного индивидуума за счет поступления ^3H с питьевой водой в населенном пункте ($E_{\text{вода_нп}}$) рассчитывалась по формуле:

$$E_{\text{вода_нп}} = m_{\text{вода}} \cdot A_i^{H^3} \cdot \varepsilon_{H^3}$$

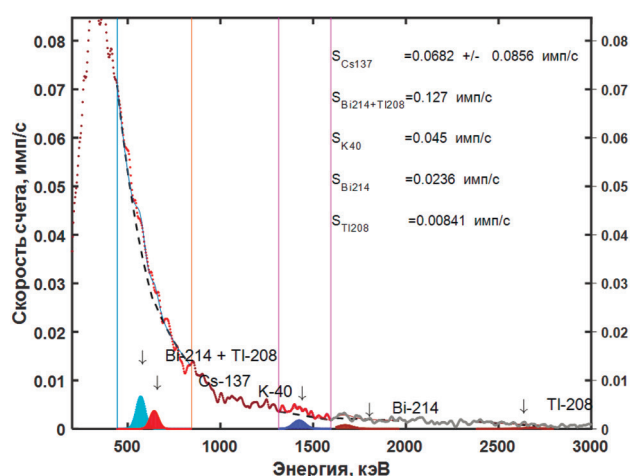


Рис. 7. Пример спектра, измеренного в ОЗ МЯВ «Пирит»

[Fig. 7. Example of spectra measured in the protected zone of the PNE "Pirit"]

The minimum value of the specific activity of tritium in the selected samples was below the minimum detectable specific activity of 2 Bq/kg. The maximum value of the specific activity in the samples was 4.15 Bq/kg (osm. 15%), while the intervention level for tritium in drinking water according to Annex 2a of NRB-99/2009 is 7600 Bq/kg. The results are generally consistent with the data of Roshydromet [16].

The results of measurements of the specific activity of tritium in water samples from settlements are presented in Table.

где:

$A_i^{H^3}$ – максимальная удельная активность ^3H в воде из i -го источника питьевого водоснабжения в населенном пункте; ε_{H^3} – дозовый коэффициент при поступлении ^3H с питьевой водой в организм взрослого человека, который в соответствии с НРБ-99/2009 (см. приложение 2а к НРБ-99/2009) равен $1,8 \cdot 10^{-5}$ мкЗв/Бк; $m_{\text{вода}}$ – годовое потребление воды, принятое в соответствии с НРБ-99/2009 равным 730 кг/год.

Удельная активность трития в пробах воды из населенных пунктов и рек района проведения МЯВ «Пирит»

Таблица

Activity concentration of tritium (AC) in water samples collected at settlements and rivers in the area of the "Pirit" PNE site] [Table

Место отбора [Location]	УА ^3H , Бк/кг (Т измер.=10560 с) [VA ^3H , Bq/kg]	Ошибка, % Error, %
г. Нарьян-Мар, гостиница «67 параллель» (ул. Полярная, д. 7) [Naryan-Mar, hotel "67 Parallel" (street Polyarnaya, 7)]	2,28	24
пос. Искателей, администрация заповедника «Ненецкий» [Settlement Iskateley, administration of the Nenetsky State Nature Reserve]	3,33	17
Протока Ульянов Шар перед впадением в протоку Малый Гусинец [The Ulyanov Shar arm before flowing into the Maly Gusinets arm]	2,47	22

Окончание таблицы

Место отбора [Location]	УА ^3H , Бк/кг (Т измер.=10560 с) [VA ^3H , Bq/kg]	Ошибка, % Error, %
Река Большой Гусинец [River Bol'shoi Gusinets]	2,45	23
Река Захребетная Курья [River Zahrebetnaya Kurya]	2,53	22

Table shows that the maximum specific activity of ^3H in water from drinking water supply sources was identified in Iskateley settlement (3.33 Bq/kg). The conservatively estimated according formula 1 internal dose to a representative individual due to ^3H with drinking water in the settlement is 0.044 $\mu\text{Sv/year}$. This value is negligible in comparison with the public dose limit of 1 mSv/year and three orders of magnitude lower than the permissible value of 0.3 mSv/year established in SanPiN 2.6.1.2819-10 "Ensuring the radiation safety of the population living in the regions of nuclear explosions for peaceful purposes (1965–1988)"¹.

Conclusions

Radiation survey revealed that the radiological conditions on the PNE "Pirit" site meet the requirements of SanPiN 2.6.1.2819-10 "Ensuring radiation safety of the population living in areas of nuclear explosions (1965 – 1988) for peaceful purposes". The level of ambient dose equivalent rate is at the level of fluctuations of natural regional radiation background. There are no areas with local radioactive contamination. Tritium content in water bodies is within the range of values typical for water bodies of the territory of the Russian Federation.

At the same time, not all wells are equipped with concrete bollards and fences on the territory of the "Pirit" PNE, and there are no information signs warning of a ban on drilling. On the territory there are separate dismantled wooden buildings and parts of metal structures, the boundaries of the protected zone are not marked.

To ensure long-term radiation protection, it is necessary to organize radiation monitoring of the territory adjacent to the explosion site. The materials presented in this article can serve as a basis for a comparative analysis of the results of such monitoring.

Personal participation of the authors

Biblin A.M. supervised the field part of the research, participated in collection of samples, analyzed literature data, arranged the final version of the manuscript for publication in the journal.

Khramtsov E.V. analyzed data and wrote a draft of the manuscript.

Ivanov S.A. participated in collection of samples and analyzed data.

Varfolomeeva K.V. participated in collection of samples and analyzed data.

Sednev K.A. analyzed data.

Результаты и обсуждение

Визуальное обследование территории МЯВ «Пирит» показало, что ее санитарное состояние стало значительно лучше по сравнению с данными, представленными в литературе [3]. В настоящее время территория, окружающая безаварийные скважины (скважины специального назначения), рекультивирована, площадки вокруг скважин засыпаны гравийной смесью. Однако на территории рядом со скважинами специального назначения встречаются отдельные разобранные деревянные строения и части металлоконструкций (рис. 2 и 6), границы охранной зоны не обозначены.

Места не всех скважин, находящихся на территории МЯВ, оборудованы бетонными тумбами и оградками. Информационные знаки, предупреждающие о радиационной опасности, отсутствуют.

Результаты измерений МАЭД, зафиксированных в районе проведения МЯВ «Пирит» в Ненецком АО, находились в диапазоне от 0,050 до 0,089 мкЗв/ч (среднее 0,064; ст. откл. 0,006 мкЗв/ч), что соответствует уровням естественного регионального радиационного фона, составляющего 0,11 мкЗв/ч [16]. Наиболее высокие значения МАЭД фиксировались в местах отсыпки щебнем, а наиболее низкие – в болотистых низинах.

Результаты анализа полевых спектров показали, что на территории МЯВ «Пирит» отсутствуют участки локального загрязнения техногенными радионуклидами. На рисунке 7 дан пример полевого спектра, полученного на территории, прилегающей к месту проведения МЯВ «Пирит».

Результаты измерений трития в пробах воды, отобранных в водоемах на территории объекта, показали, что минимальное значение удельной активности трития было ниже минимально детектируемой удельной активности 2 Бк/кг, а максимальное значение составило 4,15 Бк/кг (ош. 15%), что существенно меньше уровня вмешательства для трития в питьевой воде 7600 Бк/кг в соответствии с Приложением 2а НРБ-99/2009. Полученные результаты согласуются также с данными Росгидромета [17].

Результаты измерений удельной активности трития в пробах воды из населенных пунктов представлены в таблице.

Из таблицы видно, что максимальная удельная активность ^3H в воде из источников питьевого водоснабжения была зафиксирована в п. Искателей (3,33 Бк/кг). Доза внутреннего облучения представительного индивидуума

¹ СанПиН 2.6.1.2819-10 «Обеспечение радиационной безопасности населения, проживающего в районах проведения (1965–1988 гг.) ядерных взрывов в мирных целях» [Sanitary Regulations and Standards 2.6.1.2819-10 "Ensuring the radiation safety of the population living in the regions of nuclear explosions for peaceful purposes (1965-1988)" (In Russ.)]

Repin V.S. provided general management of the project, secured the funding, calibrated the measuring equipment, and edited an intermediate version of the manuscript.

Bogomolova Y.M. provided management of the the field part of the research, and edited an intermediate version of the manuscript.

Acknowledgements

The authors thank the director of the Nenetsky State Nature Reserve Zolotoy Stanislav Alekseevich for his help in organizing the expedition.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

Sources of Funding

Financing of the study was provided by the Federal Medical and Biological Agency of Russia (Contract No. 81.001.20.2).

References

1. Logachev VA, Voloshin NP, Dubasov YuV, Kornilovich EP. Peaceful Nuclear Explosions: Providing General and Radiation Safety during These Operations. Moscow: Izdat Publisher, 2001. 519 p. (In Russian).
2. Logachev VA, ed. Modern Radioecological Situation in Areas of Peaceful Nuclear Explosions on the Territory of the Russian Federation. Moscow: Izdat Publisher, 2005. 256 p. (In Russian).
3. Bogoyavlensky VI, Perekalin SO, Boichuk VM, Bogoyavlensky IV, Kargina TN. Kumzhinskoye Gas Condensate Field Disaster: reasons, results and ways of eliminating the consequences. *The Arctic: ecology and economy*. 2017;1(25): 32-46. (In Russian).
4. Nikonova AN. Transformation of Floodplain Ecosystems in the Pechora Delta within the Kumzhinsk Gas Condensate Field (Nenets Autonomous Okrug). *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2015;(5): 117-129. (In Russian.) <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2015-5-117-129>
5. Bogoyavlensky VI, Boichuk VM, Perekalin SO, Bogoyavlensky IV, Kargina TN. Katastrofa Kumzhi. *Burenie i ne t = Drilling and oil*. 2017;1: 18-24. (In Russian).
6. Puchkov AV, Yakovlev EYu. Features of the formation of the radioecological situation of the mouth of the Pechora River. *New in the knowledge of ore formation processes*. 2020: 99-102.
7. Yakovlev E, Puchkov A, Bykov V. Assessing the natural and anthropogenic radionuclide activities of the Pechora River estuary: Bottom sediments and water (Arctic Ocean Basin). *Marine Pollution Bulletin*. 2021;172(112765): 1-14. DOI:10.1016/j.marpolbul.2021.112765.
8. Yakovlev EYu, Puchkov AV. The current radioecological state of the mouth of the Pechora river. *Radioactivity and radioactive elements in environment*. 2021;1: 645-649. (In Russian).
9. Dzyuba OF, Kochubey OV. Quality of pollen grains of plants as the indicator of intensity of impact of the oil and gas complex on environment of the protected territories of Russia. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika = Oil and gas geology. Theory and practice*. 2014;9(4): 19-24. (In Russian).
10. Zelenkovsky PS, Podlipsky II, Khokhryakov VR. Problems of regulation of activity of economic entities in the development of mineral deposits within the boundaries of protected areas. *Vestnik SPbSU. Series 7. Geology. Geography* 2016;3: 60-74. (In Russian) DOI: 10.21638/11701/spbu07.2016.305.
11. Skibin SS. Exploitation of mineral resources within the territories of the limited regime of economic activities: Improving the legal regulation (for example, specially protected areas). *Trudy RGU neft i i gaza im. I.M. Gubkina = Proceedings of*

за счет поступления ^3H с данной объемной активностью, рассчитанная по формуле 1, составляет 0,044 мкЗв/год, что значительно ниже допустимого значения 0,3 мЗв/год, установленного в СанПиН 2.6.1.2819-10¹.

Заключение

Результаты исследований показали, что радиационная обстановка на территории МЯВ «Пирит» на момент исследования соответствует требованиям СанПиН 2.6.1.2819-10 «Обеспечение радиационной безопасности населения, проживающего в районах проведения (1965–1988 гг.) ядерных взрывов в мирных целях». Значения мощности амбиентного эквивалента дозы находятся в пределах колебаний естественного фона. На территории объекта не выявлены участки загрязнения техногенными радионуклидами. Уровни содержания трития в водоемах на территории МЯВ «Пирит» и в населенных пунктах находятся в пределах, характерных для Российской Федерации.

В то же время на территории МЯВ «Пирит» не все скважины оборудованы бетонными тумбами и оградками, отсутствуют информационные знаки, предупреждающие о запрете на проведение буровых работ. На территории встречаются отдельные разобранные деревянные строения и части металлоконструкций, границы охранной зоны не обозначены.

Для долговременного обеспечения радиационной безопасности необходима организация радиационного мониторинга территории, прилегающей к месту проведения взрыва. Материалы, представленные в данной статье, могут служить основой для сравнительного анализа результатов такого мониторинга.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

А.М. Библин руководил выполнением полевых исследований, провел отбор части проб, выполнил анализ литературных данных, оформил окончательный вариант рукописи для публикации в журнал.

Е.В. Храмцов выполнил анализ данных, подготовил черновик рукописи.

С.А. Иванов осуществил отбор части проб и анализ данных.

К.В. Варфоломеева осуществила отбор части проб и анализ данных.

К.А. Седнев осуществлял анализ данных.

Ю.М. Богомолова организовала проведение полевых работ, отредактировала промежуточный вариант статьи.

В.С. Репин осуществлял общее руководство выполнением проекта, обеспечил привлечение финансирования, отредактировал промежуточный вариант статьи.

Благодарности

Авторы благодарят директора Государственного природного заповедника «Ненецкий» Золотого Станислава Алексеевича за помощь в организации экспедиции.

Сведения об источнике финансирования

Статья подготовлена в ходе выполнения работ по государственному контракту № 81.011.20.2 от 20 мая 2020 г.

- the I. M. Gubkin Russian State University of Oil and Gas. 2013;2 (271): 116–118. (In Russian).
12. Ramzaev VP, Medvedev AY, Repin VS, Timofeeva MA, Khrantsov EV. 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).
 13. Khrantsov EV, Repin VS, Biblin AM, Varfolomeeva KV, Ivanov SA. Radiation-hygienic characteristic of the protected zones of peaceful nuclear explosions in the Arkhangelsk region. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(1): 111-123. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-1-111-123>.
 14. Ramzaev VP, Biblin AM, Repin VS, Khrantsov EV, Varfolomeeva KV. Tritium contamination of surface and ground waters at the “Dnepr” peaceful underground nuclear explosions site. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022;15(1): 6-26. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-1-6-26>.
 15. Jones FE, Harris GL. ITS-90 Density of water formulation for volumetric standards calibration. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*. 1992;97(3): 335–340. DOI: 10.6028/jres.097.013.
 16. State report “On the state of sanitary and epidemiological well-being in the Russian Federation” in the Komi Republic in 2020” / Office of The Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing in the Komi Republic – Syktyvkar, 2022. 107 p.
 17. Radiation situation on the territory of Russia and neighboring states in 2020. Yearbook. NPO Typhoon. Obninsk, 2021. Available from: http://egasmro.ru/files/documents/ro_ezhegodniki/ezhegodnik_ro_2020.pdf. [Accessed Sep 2 2022].

Received: September 15, 2022

«Разработка и научное обоснование радиационно-гигиенических требований к охраняемым зонам мирных ядерных взрывов при переводе их в стадию консервации» (шифр: «Мирные РАО – 20»)

Литература

1. 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.
2. Современная радиозоологическая 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.
3. Богоявленский В.И., Перекалин С.О., Бойчук В.М., Богоявленский И.В. Катастрофа на Кумжинском газоконденсатном месторождении: причины, результаты, пути устранения последствий // Арктика: экология и экономика. 2017. № 1 (25). С. 32–46.
4. Никонова А.Н. Трансформация пойменных экосистем дельты Печоры в зоне влияния Кумжинского газоконденсатного месторождения (Ненецкий автономный округ) // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2015, № 5. С. 117-129.
5. Богоявленский В.И., Бойчук В.М., Перекалин С.О. и др. Катастрофа Кумжи // Бурение и нефть. 2017. № 1. С. 18-24.
6. Пучков А.В., Яковлев Е.Ю. Особенности формирования радиозоологической обстановки устьевой части реки Печора // Новое в познании процессов рудообразования: Труды молодых учёных, посвящённые 90-летию ИГЕМ РАН. Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской Академии наук, 2020. С. 99-102. EDN PFHMSG
7. Yakovlev E., Puchkov A., Bykov V. Assessing the natural and anthropogenic radionuclide activities of the Pechora River estuary: Bottom sediments and water (Arctic Ocean Basin) // Marine Pollution Bulletin. 2021. Vol. 172. P. 112765. – DOI:10.1016/j.marpolbul.2021.112765.
8. Яковлев Е. Ю., Пучков А.В. Современное радиозоологическое состояние устьевой части реки Печора // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы VI Международной конференции. В 2-х томах, Томск, 20–24 сентября 2021 года. Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2021. С. 645-649. EDN KBGGFK
9. Дзюба О.Ф., Кочубей О.В. Качество пыльцы растений как индикатор интенсивности воздействия нефтегазового комплекса на природную среду охраняемых территорий России // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2014. Т. 9. № 4. С. 11. doi: 10.17353/2070-5379/48_2014.
10. Зеленковский П.С., Подлипский И.И., Хохряков В.Р. Проблемы регулирования деятельности хозяйствующих субъектов при разработке месторождений полезных ископаемых в границах особо охраняемых природных территорий // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. География. 2016. № 3. С. 60-74. DOI 10.21638/11701/spbu07.2016.305.
11. Скибин С.С. Недропользование в пределах территорий с ограниченным режимом осуществления хозяйственной деятельности: проблемы совершенствования правового регулирования (на примере особо охраняемых природных территорий) // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина, 2013. № 2(271). С. 111-118.
12. Рамзаев В.П., Медведев А.Ю., Репин В.С., и др. Радиационно-гигиенический мониторинг в местах применения ядерно-взрывных технологий в мирных целях и расчет доз облучения критических групп населения // Радиационная гигиена. 2010. Т. 3, № 1. С. 33-39.

13. Храмцов Е.В., Репин В.С., Библин А.М. и др. Радиационно-гигиеническая характеристика охранных зон мирных ядерных взрывов в Архангельской области // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 1. С. 111-123. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-1-111-123.
14. Рамзаев В.П., Библин А.М., Репин В.С. и др. Загрязнение третию поверхностных и подземных вод в месте проведения мирных подземных ядерных взрывов серии «Днепр» // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 1. С. 6-26. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-1-6-26.
15. Jones F.E., Harris G.L. ITS-90 Density of water formulation for volumetric standards calibration // Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology. 1992. Vol. 97, No. 3. P. 335-340. DOI: 10.6028/jres.097.013.
16. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия в Российской Федерации» по Республике Коми в 2020 году / Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Коми – г. Сыктывкар, 2022. 107 с.
17. Радиационная обстановка по территории России и сопредельных государств в 2020 г. Ежегодник. НПО «Тайфун». Обнинск, 2021. URL: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/f39/ezhegodnik_ro_2021_.pdf. (Дата обращения: 02.09.2022).

Поступила: 15.09.2022 г.

For correspondence: Artem M. Biblin – Head, Information Analytical Center, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: a.biblin@niirg.ru)

Evgeniy V. Khrantsov – 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, Saint-Petersburg, Russia

Viktor S. Repin – Doctor of Biological Sciences, Head of Ecology Laboratory of Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Sergey A. Ivanov – junior research scientist, Radiochemical laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Kseniya V. Varfolomeeva – Junior research scientist, Laboratory of Ecology, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Konstantin A. Sednev – Acting Junior Researcher, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Yuliya M. Bogomolova – Head of the Research Department of the Institution «Nenetsky State Nature Reserve», Iskateley, Russia

Библин Артем Михайлович – руководитель Информационно-аналитического центра, старший научный сотрудник 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, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: a.biblin@niirg.ru

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, Санкт-Петербург, Россия

Репин Виктор Степанович – доктор биологических наук, заведующий лабораторией 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, Санкт-Петербург, Россия

Иванов Сергей Анатольевич – младший научный сотрудник радиохимической лаборатории Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Варфоломеева Ксения Владимировна – младший 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, Санкт-Петербург, Россия

Седнев Константин Андреевич – исполняющий обязанности младшего научного сотрудника 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, Санкт-Петербург, Россия

Богомолова Юлия Михайловна – начальник научно-исследовательского отдела Государственного природного заповедника «Ненецкий», п. Искателей, Россия

For citation: Biblin A.M., Khramtsov E.V., Repin V.S., Ivanov S.A., Varfolomeeva K.V., Sednev K.A., Bogomolova Y.M. Radiation situation at the “Pirit” peaceful underground nuclear explosion site. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022. Vol. 15, No. 4. P. 149-161. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-4-149-161

Для цитирования: Библин А.М., Храмцов Е.В., Репин В.С., Иванов С.А., Варфоломеева К.В., Седнев К.А., Богомолова Ю.М. Радиационная обстановка в районе проведения мирного ядерного взрыва «Пирит» // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 4. С. 149-161. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-4-149-161