

## ХАРАКТЕРИСТИКА РАДИАЦИОННОГО ФОНА АРКТИЧЕСКОЙ ТЕРРИТОРИИ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

© 2019 г. <sup>1</sup>А. Н. Никанов, <sup>2</sup>А. Б. Гудков, <sup>3</sup>М. В. Шелков, <sup>2</sup>О. Н. Попова,  
<sup>3,4</sup>Ф. А. Щербина, <sup>3</sup>А. Ф. Щербина

<sup>1</sup>ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья», г. Санкт-Петербург;  
<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет», г. Архангельск; <sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Мурманский  
государственный технический университет», г. Мурманск; <sup>4</sup>ФГБОУ ВО «Мурманский арктический  
государственный университет», г. Мурманск

*Цель работы* – выявить особенности радиационного фона в районе расположения горно-обогатительного комплекса в Арктике. *Методы.* При помощи маршрутной радиометрической съёмки измерялась мощность эквивалентной дозы в мкЗв/час на высоте около 1 м и плотность потока альфа- и бета-излучений с поверхности воды, горных пород и почв. Для установления мощности дозы гамма-излучения и содержания естественных радионуклидов в почве использовался портативный спектрометрический комплекс МКС-01А «Мультирад-М». Уровень радона измеряли с помощью радиометра аэрозолью РАА-10 и ИЗВ-3М. *Результаты.* Удельная активность почв Хибинской тундры составляла в болотной тундре от 7,03 до 71,06, а в горной тундре от 15,17 до 27,75 Бк/кг. Интенсивность излучения поверхностных отложений Хибин была от 0,12 (почвы болот и низменностей) до 0,45 (коренные породы, обвально-осыпные отложения) мкЗв/час. На территории карьеров и промышленных площадок, а также в горных местностях, используемых в рекреационных целях, радиационный фон составлял 0,21–60,0 мкЗв/час. Удельная активность воздуха в подвальных помещениях зданий была от 17,3 до 57,6 Бк/м<sup>3</sup>. *Выводы.* Территории карьеров и других промышленных площадок, а также горные участки, используемые в рекреационных целях (0,21–0,60 мкЗв/час), согласно нормам радиационной безопасности могут быть отнесены к территориям для лиц категории Б – ограниченной части населения, которая по условиям проживания (размещения рабочих мест) может подвергаться облучению. Данные территории не вызывают опасения, так как реальное время пребывания людей на них намного ниже регламентируемого нормами радиационной безопасности допустимого времени облучения для этих условий – 8 800 часов в год для населения. Содержание радона и оценка активности дочерних продуктов его распада в подвальных помещениях города показали, что их средние концентрации не превышают предельных уровней (200 Бк/м<sup>3</sup>). Радиационную обстановку исследуемой территории можно охарактеризовать как относительно благополучную.

**Ключевые слова:** Арктическая зона РФ, горно-обогатительный комплекс, радиационный фон

## MINING AND PROCESSING PLANT ACTIVITIES AND THE LEVELS OF BACKGROUND RADIATION IN AN ARCTIC SETTING

<sup>1</sup>A. N. Nikanov, <sup>2</sup>A. B. Gudkov, <sup>3</sup>M. V. Shelkov, <sup>2</sup>O. N. Popova,  
<sup>3,4</sup>F. A. Shcherbina, <sup>3</sup>A. F. Shcherbina

<sup>1</sup>Northwest Public Health Research Center, Saint Petersburg, Russia; <sup>2</sup>Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia; <sup>3</sup>Murmansk State Technical University, Murmansk, Russia; <sup>4</sup>Murmansk Arctic State University, Murmansk, Russia

*Aim:* To assess background radiation levels in the area adjacent to a mining and processing plant in a Russian Arctic setting. *Methods:* An equivalent dose rate in  $\mu\text{Sv/h}$  at an altitude of about 1 m as well as a flux density of alpha and beta radiation from the surface of water, rocks and soil were estimated. The MKS-01A Multirad-M portable spectrometry complex was used for the route radiometric survey to measure the dose rate of gamma radiation and the content of natural radionuclides in soil. Radon level measurements were carried out using a PAA-10 and IZV-3M radiometer aerosols. *Result:* Soil radioactivity in the swamp tundra varied from 7.03 to 71.06 Bq/kg while in the mountain tundra the corresponding values were from 15.17 to 27.75 Bq/kg. The radiation intensity of the Khibiny surface sediments ranged from 0.12 (soils of wetlands and lowlands) to 0.45 (bedrock, precipitation-scrub deposits)  $\mu\text{Sv/h}$ . On the territory of quarries and industrial sites, as well as in the mountains used for recreational purposes, the background radiation was from 0.21-60.0  $\mu\text{Sv/h}$ . Air radioactivity in the basements of buildings was from 17.3 to 57.6 Bq/m<sup>3</sup>. *Conclusions.* Our results suggest that the territories of quarries and other industrial sites, as well as mountain areas used for recreational purposes can be classified as areas for persons of category B meaning that a limited part of the population may be exposed to radiation. This does not raise concerns because of limited duration of stay of people in these areas which is much shorter than the permissible exposure time for these conditions regulated by URB. The radon content and the assessment of the activity of the daughter products of its decay in the basements suggest that the average concentrations do not exceed the limit of 200 Bq/m<sup>3</sup>. The radiation environment of the study area can be considered as relatively safe.

**Key words:** Arctic Russia, mining and processing plant, background radiation, radon

### Библиографическая ссылка:

Никанов А. Н., Гудков А. Б., Шелков М. В., Попова О. Н., Щербина Ф. А., Щербина А. Ф. Характеристика радиационного фона арктической территории в районе расположения горно-обогатительного комплекса // Экология человека. 2019. № 5. С. 11–14.  
Nikanov A. N., Gudkov A. B., Shelkov M. V., Popova O. N., Shcherbina F. A., Shcherbina A. F. Mining and Processing Plant Activities and the Levels of Background Radiation in an Arctic Setting. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 5, pp. 11-14.

Анализ имеющихся материалов по ионизирующему излучению, связанному с природными (естественными) и техногенными (искусственными) факторами, воздействующими на человека, считается сложной и недостаточно изученной проблемой, особенно на региональном уровне [5]. В 80-е годы XX века особую актуальность приобрела проблема стохастического воздействия малых доз ионизирующего излучения на людей в повседневной жизни за счет искусственных и естественных источников, в том числе радона и продуктов его распада [1, 3].

В расчете на одного жителя среднее значение годовой эффективной дозы облучения населения Российской Федерации за счет всех источников ионизирующего излучения составляет 3,76 мЗв/год, при этом 86,1 % дозы дают природные источники, а 13,6 % — медицинские исследования [5]. Наибольшие значения годовой эффективной дозы в 2016 г. отмечались в Республике Алтай (7,2 мЗв), Еврейской автономной области (6,6 мЗв), Республике Тыва и Иркутской области (5,7 мЗв). Наибольший вклад в суммарную дозу природного облучения россиян (59,5 %) вносил радон.

На территории Мурманской области расположена Кольская геопроvincia с большим набором добываемых полезных ископаемых. К настоящему времени сырьем для горно-обогатительных предприятий горно-химической промышленности являются апатитовые руды, представленные апатитонегелиновыми, сфено-apatитонегелиновыми и полевошпатонегелиновыми месторождениями [2]. Для всех горных пород Хибинского массива характерно наличие естественных радиоактивных изотопов с малой скоростью распада [6, 7], таких как торий и уран. Для тория и урана радиоактивные превращения завершаются выделением газообразных радиоактивных веществ: торона и радона, последний является наиболее весомым из естественных источников радиации, определяющим дозу внешнего облучения, получаемого населением на открытой территории. В связи с этим актуально изучение радиационного фона Кировско-Апатитского региона.

Цель работы — выявить особенности радиационного фона в районе расположения горно-обогатительного комплекса в Арктике.

### Методы

Для характеристики радиационного фона окрестностей города Кировска Мурманской области, выявления новых и подтверждения ранее обнаруженных аномалий была проведена наземная маршрутная радиометрическая съемка. Измерялась мощность эквивалентной дозы (МЭД) в мкЗв/час на высоте около 1 м и плотность потока альфа- и бета-излучений с поверхности воды, горных пород и почв. Для определения мощности дозы гамма-излучения и содержания естественных радионуклидов в почве использовался портативный спектрометрический комплекс МКС-01А «Мультирад-М». Уровень радона

устанавливался с помощью радиометра аэрозолей РАА-10 и измерителя загрязненности воздуха ИЗВ-ЗМ, которые предназначены для измерения массовой концентрации аэрозоля в воздухе помещений.

### Результаты

Исследования показали, что для заболоченных местностей и мест со значительным почвенным покровом (долины озер Малый и Большой Вудъявр и т. п.) были характерны невысокие значения МЭД и практически полное отсутствие бета-излучения (табл. 1).

Таблица 1

Удельная активность почв Хибинской тундры за счет урана, тория и радия, Бк/кг

Тип почвы	Th-232	U-238	Ra-226	Суммарная
Болотистая тундра	35,15	71,04	7,03	113,22
Горная тундра	15,17	27,38	27,75	70,30

Жилые и промышленные микрорайоны находились в таких же геолого-геоморфологических условиях, значения МЭД здесь не превышали 0,20 мкЗв/час.

Ущелье Гакмана — участок с наиболее сложной радиационной обстановкой, связанной с естественной аномалией (залегание пород, содержащих радиоактивный минерал ловчоррит). Обнаружена аномалия и в районе перевала Лопарский. Указанные аномалии локализованы и уже в полукилометре их влияние практически незаметно.

Анализ радиационной обстановки позволил выявить взаимосвязь характера и интенсивности излучения с генетическими типами поверхностных отложений, а значит и с экзогенными геологическими процессами (табл. 2).

Таблица 2

Интенсивность излучения поверхностных отложений Хибин

Генетический тип отложений (характеристика геодинамического комплекса)	Абсолютные высоты, м	МЭД, мкЗв/час	ПП бета-частиц, част./см <sup>2</sup> мин
Коренные породы, обвально-осыпные отложения верхних частей склонов	> 600	0,45	6—8
Обломочные и рыхлые отложения средних частей склонов и отложения эрозионных участков русла	500—800	0,35—0,40	8—10
Рыхлые отложения нижних частей склонов, отложения аккумулятивных участков русла	360—500	0,25—0,30	3—8
Ледниковые, озерные, делювиальные и пролювиальные отложения долин	< 360	0,20	0
Почвы низменностей и болот	< 360	0,12—0,18	0
Неперемещенные обломочные отложения горных плато	> 700	0,35—0,40	8—10

Известно, что человек получает определенную дозу облучения от естественных (естественный радиационный фон) и искусственных источников ради-

ации. Величина естественного радиационного фона для разных территорий различна и функционально связана с их географическим положением и физико-химическими свойствами подстилающей поверхности [4, 8, 10]. Для территории, расположенной на 67–68 параллели северной широты и находящейся в интервале высот 400–1 000 м над уровнем моря, доза облучения от естественного радиационного фона составляет 1,0–1,2 мЗв/год, что соответствует мощности излучения 0,11–0,14 мкЗв/час (без учета эффекта, определяемого повышенным содержанием радионуклидов в горных породах). Превышение этих значений может быть обусловлено как естественными факторами (повышенное содержание радиоактивных элементов в залегающих вблизи поверхности горных породах), так и техногенными.

По оценкам международной группы экспертов ВОЗ, на долю радона, который образуется в процессе естественного радиоактивного распада элементов семейства урана – радия, приходится примерно 70,0 % суммарной эффективной эквивалентной дозы от всех естественных источников излучения. Концентрации радона на открытой территории незначительны (от 0,1 до 10,0 Бк/м<sup>3</sup>). Так как источниками радона могут быть строительные материалы, вода, природный газ, подлежащая под зданием почва, то его содержание в атмосферном воздухе всегда ниже, чем в помещении, и уровень его зависит от типа и этажности здания. Поскольку радон тяжелее воздуха, он накапливается в подвальных помещениях и на первых этажах зданий [9, 11].

Исследования, проведенные в осенний период в ряде городов Мурманской области с использованием пассивных дозиметров, позволили оценить уровни радона в помещениях зданий жилого и коммунально-бытового назначения. В каждом изучаемом населенном пункте в трех помещениях первых этажей зданий, расположенных на значительном расстоянии друг от друга, были зафиксированы концентрации радона меньше предельно допустимых для жилых помещений (200,0 Бк/м<sup>3</sup>). Среднее содержание радона составило 64,0 Бк/м<sup>3</sup>. Результаты измерений уровня радона и оценка активности дочерних продуктов его распада в подвальных помещениях показали, что средние концентрации этого естественного радиоактивного газа, вносящего наибольший вклад в формирование популяционной эквивалентной дозы облучения для населения, также не превышали предельных уровней (табл. 3).

Таблица 3

Удельная активность воздуха в подвалах зданий, Бк/м<sup>3</sup>

Пункт наблюдения	Число наблюдений	Минимальная	Максимальная	Средняя	Эффективная эквивалентная доза, мЗв/год
Здание 1	7	0	46,1	17,3 ± 7,2	1,04 ± 0,43
Здание 2	2	2	69,2	46,1 ± 23,1	2,77 ± 1,39
Здание 3	20	0	103,2	31,1 ± 6,1	1,86 ± 0,37
Здание 4	7	0	184,4	57,6 ± 28,0	3,46 ± 1,68

### Обсуждение результатов

Основным источником ионизирующего излучения на исследуемой территории являются коренные горные породы, активность фонового излучения которых изменяется незначительно и может считаться постоянной. Так, абсолютные значения мощности суммарной эквивалентной дозы ионизирующего излучения на исследуемой территории принимают значения от 0,12 (заболоченная пойма северо-восточного побережья оз. Большой Вудъявр) до 5,41 мкЗв/час (ущелье Гакмана, ловчорритовый рудник). При этом аномалии коренных пород локализованы и их влияние на окружающую территорию, как правило, быстро затухает.

Жилые массивы на исследуемой территории, согласно рекомендациям Международной комиссии по радиологической защите, относятся к зоне относительного экологического благополучия (0,12–0,20 мкЗв/час), где дозовый предел облучения населения определяется в 1 мЗв (0,1 бэр)/год за любые последовательные 5 лет (соответствует в среднем 0,12 мкЗв/час), а за период жизни (70 лет) – 70 мЗв (что соответствует в среднем 0,20 мкЗв/час).

Территории карьеров и других промышленных площадок, а также горные участки, используемые в рекреационных целях (0,21–0,60 мкЗв/час), согласно нормам радиационной безопасности могут быть отнесены к территориям для лиц категории Б – ограниченной части населения, которая по условиям проживания (размещения рабочих мест) может подвергаться облучению. Эти территории не вызывают опасения, так как реальное время пребывания людей на них намного ниже регламентируемого нормами радиационной безопасности допустимого времени облучения для этих условий – 8 800 часов в год для населения.

Важно подчеркнуть, что локально расположенные участки с аномально высокими значениями радиационного фона могут быть использованы для непродолжительных спортивно-познавательных и минералогических посещений (10–20 час в год), в этом случае реальное время облучения в течение года на этих участках не превысит и сотых долей процента от регламентируемого уровня.

Таким образом, радиационную обстановку исследуемой территории можно охарактеризовать как относительно благополучную.

### Авторство

Никанов А. Н. внес существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, отредактировал и окончательно утвердил присланную в редакцию рукопись; Гудков А. Б. существенно переработал статью на предмет важного интеллектуального содержания; Шелков М. В. участвовал в наборе первичного материала и анализе данных; Попова О. Н. участвовала в анализе и интерпретации результатов, подготовила первый вариант статьи; Щербина Ф. А. участвовал в анализе данных и в подготовке первого варианта статьи; Щербина А. Ф. участвовал в наборе первичного материала, обработал и осуществил анализ результатов.

Никанов Александр Николаевич – SPIN 6838-5002; ORCID 0000-0003-3335-4721

Гудков Андрей Борисович – SPIN 4369-3372; ORCID 0000-0001-5923-0914

Шелков Михаил Владимирович – SPIN 8985-2024; ORCID 0000-0002-6257-7468

Попова Ольга Николаевна – SPIN 5792-0273; ORCID 0000-0002-0135-4594

Щербина Федор Александрович – SPIN 5194-1380; ORCID 0000-0003-0131-4733

Щербина Анатолий Федорович – SPIN 8267-4267; ORCID 0000-0002-0577-6866

#### Список литературы

1. Карпин В. А., Кострюкова Н. К., Гудков А. Б. Радиационное воздействие на человека радона и его дочерних продуктов распада // Гигиена и санитария. 2005. № 4. С. 13–17.
2. Кизеев А. Н., Жиров В. К., Ушамова С. Ф., Коклянов Е. Б., Никанов А. Н., Кульнев В. В., Базарский О. В. Экогеосистемы горнодобывающего класса северо-запада Восточно-Европейской платформы (Мурманская область) // Экологическая геология крупных горнодобывающих районов Северной Евразии. Коллективная монография / под ред. проф. И. И. Косиновой. Воронеж, 2015. С. 282–326.
3. Кононенко Д. В., Кормановская Т. А. Проблема оценки радиационных рисков населения Российской Федерации при облучении радоном // Радиационная гигиена. 2012. № 1. С. 60–62.
4. Кострюкова Н. К., Карпин В. А., Гудков А. Б. Смертность населения, проживающего в местах локальных разломов земной коры // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2005. № 4. С. 17–19.
5. Онищенко Г. Г., Попова А. Ю., Романович И. К., Барковский А. Н., Кормановская Т. А., Шевкун И. Г. Радиационно-гигиеническая паспортизация и ЕСКИД – информационная основа принятия управленческих решений по обеспечению радиационной безопасности населения Российской Федерации. Сообщение 2. Характеристика источников и доз облучения населения Российской Федерации // Радиационная гигиена. 2017. Т. 10, № 3. С. 18–35.
6. Kizeev A. N. Accumulation of radionuclides in natural objects in central part of Murmansk region // European Journal of Natural History. 2015. № 2. P. 67–68.
7. Nikanov A., Anfalova G., Tchachtchine M., Bykov V. Radon and population health in the mountain area of the Kola Peninsula. The Third International Conference on Environmental Radioactivity in the Arctic. Extended abstracts. Tromso, Norway, June 1–5, 1997. Vol. 2. P. 245–246.
8. Sahu P., Panigrahi D. C., Mishra D. P. A comprehensive review on sources of radon and factors affecting radon concentration in underground uranium mines // Environmental Earth Sciences. 2016. Vol. 75 (7). P. 617.
9. Seminsky K. Z., Bobrov A. A., Demberel S. Variations in radon activity in the crustal fault zones: spatial characteristics // Izvestiya. Physics of the Solid Earth. 2014. Vol. 50 (6). P. 795–813.
10. Steinitz G., Piatibratova O., Kotlarsky P. Sub-daily periodic radon signals in a confined radon system // Journal of Environmental Radioactivity. 2014. Vol. 134. P. 128–135.
11. Vaupotič J., Smrekar N., Žunič Z. S. Comparison of radon doses based on different radon monitoring approaches // Journal of Environmental Radioactivity. 2017. Vol. 169–170. P. 19–26.

#### References

1. Karpin V. A., Kostryukova N. K., Gudkov A. B. Human radiation action of radon and its daughter disintegration products. *Gigiena i sanitariia*. 2005, 4, pp. 13-17. [In Russian]
  2. Kizeev A. N., Zhirov V. K., Ushamova S. F., Koklyanov E. B., Nikanov A. N., Kulnev V. V., Bazarskiy O. V. Mining ekogeosistemy class Northwest of the East European platform (Murmansk region). In: *Ekologicheskaya geologia krupnykh gornodobyvayuschikh rayonov Severnoy Yevrazii* [Ecological geology of large mining regions of Northern Eurasia]. Voronezh, 2015, pp. 282-326. [In Russian]
  3. Kononenko D. V., Kormanovskaya T. A. Issues of assessing the risks for the population of russia from radon residential exposure. *Radiatsionnaya gygiena* [Radiation hygiene]. 2012, 1, pp. 60-62. [In Russian]
  4. Kostryukova N. K., Karpin V. A., Gudkov A. B. Mortality of the population living in places of local faults of the Earth's crust. *Problemy sotsial'noi gigieny, zdavookhraneniya i istorii meditsiny* [Problems of social hygiene, health and history of medicine]. 2005, 4, pp. 17-19. [In Russian]
  5. Onishchenko G. G., Popova A. Yu., Romanovich I. K., Barkovsky A. N., Kormanovskaya T. A., Shevkun I. G. Radiation-hygienic passportization and USIDC-information basis for management decision making for radiation safety of the population of the Russian Federation. Report 2: characteristics of the sources and exposure doses of the population of the Russian Federation. *Radiatsionnaya gygiena* [Radiation hygiene]. 2017, 10 (3), pp. 18-35. [In Russian]
  6. Kizeev A. N. Accumulation of radionuclides in natural objects in central part of Murmansk region. *European Journal of Natural History*. 2015, 2, pp. 67-68.
  7. Nikanov A., Anfalova G., Tchachtchine M., Bykov V. Radon and population health in the mountain area of the Kola Peninsula. *The Third International Conference on Environmental Radioactivity in the Arctic. Extended abstracts*. Tromso, Norway, June 1-5, 1997, 2, pp. 245-246.
  8. Sahu P., Panigrahi D. C., Mishra D. P. A comprehensive review on sources of radon and factors affecting radon concentration in underground uranium mines. *Environmental Earth Sciences*. 2016, 75 (7), p. 617.
  9. Seminsky K. Z., Bobrov A. A., Demberel S. Variations in radon activity in the crustal fault zones: spatial characteristics. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*. 2014, 50 (6), pp. 795-813.
  10. Steinitz G., Piatibratova O., Kotlarsky P. Sub-daily periodic radon signals in a confined radon system. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2014, 134, pp. 128-135.
  11. Vaupotič J., Smrekar N., Žunič Z. S. Comparison of radon doses based on different radon monitoring approaches. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2017, 169-170, pp. 19-26.
- Контактная информация**  
 Никанов Александр Николаевич – кандидат медицинских наук, заместитель директора – директор филиала «Научно-исследовательская лаборатория ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора  
 Адрес: 184250, Мурманская область, г. Кировск, пр. Ленина, д. 34  
 E-mail: krl\_s-zns@mail.ru