



Бельских Ю.С., Титов А.В., Шандала Н.К., Исаев Д.В., Семенова М.П.,
Дороньева Т.А., Серегин В.А., Кроткова Ю.В., Филонова А.А.

Радиологические угрозы на территории рудника № 1 Лермонтовского производственного объединения «Алмаз»

ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр
имени А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства, 123098, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Рудник № 1 располагается на горном массиве Бештау Ставропольского края. Радиационная обстановка и её потенциальное ухудшение из-за неудовлетворительного состояния отвалов рудника, эксплуатация которого завершилась в 1975 г., вызывает озабоченность общественности и местной администрации. В статье приведены результаты радиационного обследования рудника и его отвалов, дана оценка их влияния на облучение населения и наземной биоты.

Материалы и методы. Выполнены гамма-съёмка территории и экспрессное измерение активности радона. Для определения активности радионуклидов в почве проводили отбор проб с последующим лабораторным анализом. По результатам измерений оценивали дозы облучения населения и биоты.

Результаты. На отвалах 13 штолен значения мощности дозы не превышают 0,6 мкЗв/ч. В окрестностях остальных 11 штолен имеются участки с более высокими значениями (до 5 мкЗв/ч), почва которых относится к твёрдым радиоактивным отходам. Значения объёмной активности радона достигают 1,5 кБк/м³. При прохождении наиболее протяжённого маршрута эффективная доза от ингаляционного поступления радона не превышает 3 мкЗв. Значения доз облучения биоты ниже референтных дозовых нагрузок в три и более раза.

Ограничения исследования. При сравнении содержания радионуклидов в почве с критериями отнесения к отходам и оценке доз облучения биоты использовали традиционное предположение о вековом равновесии ²³⁴U и ²³⁰Th в цепочках распадов ²³⁸U. Дозы облучения оценивали при допущении постоянного нахождения биообъектов на территории. Границами безопасной дозовой нагрузки считали значения мощности дозы хронического облучения, равные 1 мГр/сут для млекопитающих, позвоночных животных и сосны обыкновенной и 10 мГр/сут для растений и беспозвоночных животных. **Заключение.** Разовые посещения горы Бештау не представляют угрозы для здоровья населения. При оценённых значениях доз облучения наземной биоты отсутствуют сведения о детерминированных эффектах воздействия ионизирующего излучения на биообъекты.

Ключевые слова: гамма-излучение; наземная биота; природные радионуклиды; отвалы; урановый рудник; радиационное обследование; радон; рекультивация; удельная активность

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует заключения комитета по биомедицинской этике.

Для цитирования: Бельских Ю.С., Титов А.В., Шандала Н.К., Исаев Д.В., Семенова М.П., Дороньева Т.А., Серегин В.А., Кроткова Ю.В., Филонова А.А. Радиологические угрозы на территории рудника № 1 Лермонтовского производственного объединения «Алмаз». *Гигиена и санитария*. 2025; 104(1): 6–12. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-1-6-12> <https://elibrary.ru/gjpfyi>

Для корреспонденции: Кроткова Юлия Валерьевна, e-mail: yuliyakrotkova@yandex.ru

Участие авторов: Бельских Ю.С. — концепция и дизайн исследования, написание текста; Титов А.В. — сбор материала и обработка данных, написание текста; Шандала Н.К. — концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование; Исаев Д.В. — сбор данных литературы и материала, обработка данных; Семенова М.П. — сбор материала и обработка данных, редактирование; Дороньева Т.А., Серегин В.А., Кроткова Ю.В., Филонова А.А. — сбор материала и обработка данных. Все соавторы — утверждение окончательного текста и ответственность за целостность всех частей статьи.

Благодарность. Авторы выражают благодарность сотрудникам ФГБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии № 101 ФМБА России» за содействие в выполнении исследований.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 08.04.2024 / Принята к печати: 19.06.2024

Iurii S. Belskikh, Alexey V. Titov, Nataliya K. Shandala, Dmitriy V. Isaev, Maria P. Semenova,
Tatiana A. Doroneva, Vladimir A. Seregin, Iuliia V. Krotkova, Anna A. Filonova

Radiological Threats in the Territory of Mine No. 1 of the Lermontovsky Production Association "Almaz"

State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA of Russia, Moscow, 123098, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Mine No. 1, operated until 1975, is in the Beshtau mountain range of the Stavropol Territory. The radiation situation and its potential deterioration due to the unsatisfactory condition of the mine dumps is of concern to the public and local administration. The article presents the results of radiation survey of the mine and its dumps and assesses their impact on the exposure of the population and terrestrial biota.

Materials and methods. Gamma survey of the territory and express measurement of radon activity were carried out. For determination of radionuclide activity in soil, sampling with subsequent laboratory analysis was carried out. According to the results of measurements, radiation doses to the population and biota were estimated.

Results. In the dumps of thirteen adits the dose rate values do not exceed 0.6 μ Sv/h. In the area of other 11 adits there are sites with higher values (up to 5 μ Sv/h), the soil of which is classified as solid radioactive waste. Values of radon volumetric activity reach 1.5 kBq/m³. When passing the longest route, the effective dose from the inhalation intake of radon will not exceed 3 mSv. The radiation doses to biota are 3 or more times lower than the derived consideration reference level.

Limitations. When comparing the radionuclide content in soil with the criteria for waste classification and estimating biota doses, the traditional assumption of the age-old equilibrium of ²³⁴U and ²³⁰Th in ²³⁸U decay chains was used. Radiation doses were estimated under the assumption of permanent presence of bioobjects

on the territory. The chronic exposure dose rate values of 1.0 mGy/day for mammals, vertebrates, and common pine and 10 mGy/day for plants and invertebrates were taken as safe dose levels.

Conclusion. Single visits to Mount Beshtau do not pose a threat to public health. At the estimated values of radiation doses to terrestrial biota there is no information about deterministic effects of ionizing radiation on bioobjects.

Keywords: gamma rays; terrestrial biota; natural radionuclides; dumps; uranium mine; radiation survey; radon; remediation; specific activity

Compliance with ethical standards. The study does not require a conclusion of the Biomedical Ethics Committee.

For citation: Belskikh Iu.S., Titov A.V., Shandala N.K., Isaev D.V., Semenova M.P., Doroneva T.A., Seregin V.A., Krotkova Iu.V., Filonova A.A. Radiological Threats in the Territory of Mine No.1 of the Lermontovsky Production Association "Almaz". *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(1): 6–12. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-1-6-12> <https://elibrary.ru/fjpfyi> (In Russ.)

For correspondence: Iuliia V. Krotkova, e-mail: yuliyakrotkova@yandex.ru

Contribution: Belskikh Iu.S. — the concept and design of the study, writing a text; Shandala N.K. — the concept and design of the study, writing a text, editing; Titov A.V. — collection and processing of material, writing a text; Isaev D.V. — collection of literature data, collection and processing of material; Semenova M.P. — collection and processing of material, editing; Doroneva T.A., Seregin V.A., Krotkova Iu.V., Filonova A.A. — collection and processing of material. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Acknowledgement. The authors express their gratitude to the staff of the Centre of Hygiene and Epidemiology No. 101 of FMBA of Russia.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The study had no sponsorship.

Received: April 8, 2024 / Accepted: June 19, 2024

Введение

Постановлением Совета Министров СССР от 29 июля 1950 г. № 3342–1407 было принято решение о развитии отечественной сырьевой базы урановой промышленности и разработке урановых месторождений на горе Бештау в Ставропольском крае. В 1954 г. горнодобывающее предприятие «Рудник № 1», в составе которого были 43 штольни, официально ввели в эксплуатацию. За период деятельности рудника образовалось 27 отвалов горных пород площадью от 1000 м² (отвал штольни № 18) до 69 500 м² (отвал штольни № 21), приуроченных к устьям штолен общей площадью 29–36 га [1].

В 1975 г. рудник был закрыт с последующим изолированием большей части горных выработок, ликвидацией сооружения поверхностного комплекса и упорядочением сброса шахтных вод. К 1977 г. была выполнена рекультивация отвалов, в 1993–1996 гг. проведены работы по исправлению техногенных нарушений и ремонту рекультивированных отвалов [2]. В период с 2009 по 2015 г. осуществлена дополнительная рекультивация отвалов штолен № 10, 19, 26, 27, 31, 42, 13 и 13а [3].

На состояние геосистемы горы Бештау влияют опасные геологические процессы (обвалы, оползни, водная эрозия) [4], которые могут привести к выносу на поверхность шахтных вод, смыву радиоактивных веществ с отвалов в водные экосистемы, разрушению защитного слоя на рекультивированных отвалах, последующему распространению радионуклидов на близлежащие территории и повышенному поступлению радона в атмосферный воздух.

Так как рудник расположен непосредственно на территории памятника природы краевого значения «Гора Бештау», вблизи курортных городов Пятигорск и Железноводск, радиационная обстановка и её потенциальное ухудшение из-за неудовлетворительного состояния объектов рудника вызывают озабоченность общественности и местной администрации.

Радиационный контроль на руднике проводится ФГБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии № 101 ФМБА России». Также радиационные исследования на отдельных участках горного массива Бештау проводились научными организациями [5–10]. Однако, как отмечается в работах [11, 12], для обеспечения радиационной безопасности необходим регулярный радиэкологический мониторинг на всей территории рудника. Широкомасштабное исследование радиационной обстановки было выполнено в 2009 г., его результаты приведены в отчёте АО «ВНИПИПромтехнологии» и конкурсной документации к проекту рекультивации [13, 14].

В 2019–2021 гг. специалистами ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России совместно с ФГБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии № 101 ФМБА России» проведена оценка радиационной обстановки на территории рудника. Результаты исследований представлены в настоящей статье.

Материалы и методы

Выполнены измерения мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы (МАЭД) гамма-излучения на высоте 1 м от поверхности почвы, удельной активности (УА) радионуклидов в поверхностном десятисантиметровом слое почвы, объёмной активности (ОА) и эквивалентной равновесной объёмной активности (ЭРОА) радона.

При измерении МАЭД применяли метод непрерывной пешеходной гамма-съемки с использованием портативного спектрометрического комплекса МКС-01А «Мультирад-М» (Россия) и дозиметра-радиометра «МКС-АТ6101с» (Беларусь). Для кратковременных измерений ЭРОА и ОА радона использовали аэрозольный альфа-радиометр РАА-20П2 «Поиск» (Россия).

Измерение УА ²³⁸U, ²³⁵U, ²²⁶Ra, ²³²Th, ²¹⁰Pb и ⁴⁰K в пробах почвы проводили на гамма-спектрметре CANBERRA (США) с программным обеспечением Genie-2000¹. Для установления равновесия между материнскими и дочерними радионуклидами счётные образцы выдерживали в герметичной ёмкости в течение одного месяца. Измерение УА ²¹⁰Po и ²¹⁰Pb проводили на альфа-, бета-радиометре УМФ-2000 (Россия) после их радиохимического выделения из проб в соответствии с МУК 4.3.051–2011².

Оценка доз облучения биоты выполнена с использованием дозовых коэффициентов, приведённых в Публикации 136 МКРЗ³, и с учётом рекомендаций Р 52.18.820–2015⁴.

Результаты

Результаты измерений МАЭД приведены на рисунке (см. на вклейке) и в табл. 1 в сравнении с данными 2009 г. [13].

В табл. 2 приведены результаты измерения УА радионуклидов в почве, отобранной в 205 точках, и сравнение их с критериями отнесения почвы к твёрдым радиоактивным отходам (ТРО).

Вблизи штолен № 10, 13, 13а, 14, 16, 19, 19а, 21, 25, 33 и 42 имеются небольшие участки, почва которых относится к ТРО (см. табл. 2), в основном из-за высокого значения УА ²²⁶Ra и изотопов урана.

¹ Методика измерения активности (удельной активности) гамма-излучающих радионуклидов в счётных образцах с применением полупроводникового гамма-спектрметра CANBERRA с программным обеспечением Genie-2000 по количественному анализу гамма-спектров. Санкт-Петербург; 2014. 37 с.

² МУК 4.3.051–2011. «Свинец-210 и полоний-210. Определение удельной активности в пробах почвы, растительности и пищевых продуктов после электролитического осаждения на никелевом диске».

³ ICRP, 2017. Dose coefficients for nonhuman biota environmentally exposed to radiation. ICRP Publication 136. Ann. ICRP 46(2).

⁴ Рекомендации Р 52.18.820–2015. Оценка радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды по данным мониторинга радиационной обстановки.

Таблица 1 / Table 1

Максимальные значения мощности AMBIENTного эквивалента дозы (МАЭД) вблизи отвалов штолен

The highest ambient dose equivalent rate (ADER) values on the territory around adit dumps

Номер штольни Adit number	Максимальное значение МАЭД, мкЗв/ч The highest ADER values, $\mu\text{Sv/h}$		Номер штольни Adit number	Максимальное значение МАЭД, мкЗв/ч The highest ADER values, $\mu\text{Sv/h}$	
	2009 [14]	2019–2021		2009 [14]	2019–2021
8	0.82	0.51	24	—	0.55
9	1.02	0.41	25	1.32	0.74
10	1.03	0.79	26	1.33	0.50
11	1.34	0.38	27	1.99	2.15
13, 13a	1.82	0.85	29	0.78	1.29
14	1.32	1.57	30	—	0.85
15	1.12	0.62	31, 31 бис / 31 bis	1.02	0.79
16	2.55	0.58	32, 32 бис / 32 bis	0.91	0.57
17	1.11	1.17	33	1.44	1.22
18	0.45	—	34a	—	0.75
19	1.70	1.16	36	0.76	0.28
19a	—	1.30	37	1.11	0.35
20	9.99	0.81	39	0.72	0.32
21, 34	1.88	1.87	40	—	0.40
22	—	2.12	41	0.58	0.32
23	—	5.29	42	0.96	0.69

Примечание. Здесь и в табл. 2–4: «—» — отсутствие данных. Значения приведены с учётом неопределённости измерений ($p = 0,95$).
 Note: Here and in Tabl. 2–4: "—" — the absence of data. Values are given considering the measurement uncertainty of measurements ($p = 0.95$).

Таблица 2 / Table 2

Значения удельной активности радионуклидов в почве

Values of specific activity of radionuclides in soil

Номер штольни Adit number	Удельная активность, Бк/кг Specific activity, Bq/kg						Соответствие критериям отнесения к ТРО* Compliance with the criteria for referring to SRW
	²³⁸ U	²³⁵ U	²²⁶ Ra	²³² Th	²¹⁰ Pb	⁴⁰ K	
8	37–230	3.3–9.7	41–210	35–190	56–400	450–830	0.10–0.60
9	57	3.8	57	18	28	510	0.10
10	30–1180	4.0–94	37–1460	33–170	64–1850	520–950	0.14–2.1
13, 13a	59–4080	4.4–170	51–260	49–320	73–460	550–910	0.15–5.3
14	18–1460	4.2–91	49–720	40–140	75–770	460–930	0.12–2.1
15	54–160	5.1–11	58–140	47–170	22–63	620–940	0.13–0.40
16	58–9640	5.1–480	72–430	54–180	83–380	530–1000	0.16–12
17	45	2.5	24	27	45	470	0.048
19	96–780	3.7–100	45–1800	43–160	70–2400	610–1140	0.18–1.8
19a	120–1500	8.7–89	180–1700	52–350	96–2200	750–1300	0.24–2.4
20	59–420	6.3–36	78–570	85–180	120–610	540–1000	0.24–0.74
21	88–1150	4.9–73	70–1300	76–270	86–1500	630–1100	0.28–2.1
23	530–16 000	48–850	740–10700	200–360	1060–15 000	570–9800	1.2–24
25	60–1050	2.9–59	35–1530	35–250	70–1940	440–1060	0.13–2.1
26	73–140	5.8–14	50–170	50–110	99–250	610–660	0.17–0.34
27	27–500	1.6–36	15–350	15–100	62–2490	230–700	0.14–0.85
29	120–500	9–34	100–820	65–190	36–760	690–1100	0.34–0.96
31, 31 бис / 31 bis	27–300	1.6–24	15–290	15–140	84–470	260–840	0.10–0.63
32, 32 бис / 32 bis	24–340	2.2–17	26–210	20–80	44–460	320–670	0.16–0.49
33	50–2540	6.8–210	110–3400	100–250	230–4400	650–1020	0.31–3.9
36	52–150	5.0–14	75–130	95–110	150–240	730–860	0.24–0.36
Штрек 2 штольни № 36 Drift 2 of adit No. 36	150–200	9.7–13	58–130	130–160	150–210	640–1070	0.37–0.45
38	58	7.3	55	93	130	700	0.20
41	60	3.3	94	47	57	615	0.15
42	33–1090	2.6–80	30–1360	25–170	61–1350	400–1090	0.1–1.8

Примечание. * — Постановление Правительства РФ от 19 октября 2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твёрдых, 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».

Note: * — Resolution of the Government of the Russian Federation of October 19, 2012 No. 1069 "On the criteria for classifying solid, liquid and gaseous waste as radioactive waste, the criteria for classifying radioactive waste as special radioactive waste and as removable radioactive waste, and the criteria for classifying removable radioactive waste".

Таблица 3 / Table 3

Результаты измерения эквивалентной равновесной объёмной активности (ЭРОА) и объёмной активности (ОА) радона на территории рудника**Results of measurements of radon equivalent equilibrium volumetric activity (EEVA) and radon volumetric activity (VA) at the mine site**

Место измерения Measurement site	ЭРОА радона, Бк/м³ Radon EEVA, Bq/m³	ОА радона, Бк/м³ Radon VA, Bq/m³
Отвалы штолен № 13, 13а / Dumps of adits No.13, 13a	33 ± 18	65 ± 37
Отвал штольни № 9 / Dump of adit No. 9	11 ± 8	80 ± 60
Отвал штольни № 15 / Dump of adit No. 15	23 ± 11	60 ± 30
У устья штольни № 1 / At the mouth of adit No. 1	74 ± 20	105 ± 39
У устья штольни № 2 / At the mouth of adit No. 2	310 ± 30	880 ± 270
У устья штольни № 7 / At the mouth of adit No. 7	5 ± 2	22 ± 13
Отвал штольни № 38 / Dump of adit No. 38	440 ± 70	1500 ± 450
Штольня № 37 / Adit No. 37	705 ± 89	5200 ± 1460
У устья штольни № 32 / At the mouth of adit No. 32	10 000 ± 1500	21 000 ± 11 000
У устья штольни № 32 бис / At the mouth of adit No. 32 bis	< 20	< 30
Отвал штолен № 32, 32 бис / Dumps of adits No. 32, 32 bis	2 ± 2	3 ± 3
Устье штольни № 8 / The mouth of adit No. 8	2820 ± 420	3800 ± 1100
Отвал штольни № 8 / Dump of adit No. 8	206 ± 80	500 ± 230
Отвал штольни № 26 / Dump of adit No. 26	5 ± 4	6 ± 5
Устье штольни № 31 бис / The mouth of adit No. 31 bis	6 ± 4	8 ± 6
Устье штольни № 31 / The mouth of adit No. 31	3 ± 2	4 ± 3
Отвалы штолен № 31, 31 бис / Dumps of adits No. 31, 31 bis	41 ± 19	359 ± 94
Отвал штольни № 26 / Dump of adit No. 26	68 ± 25	494 ± 221
Устье штольни № 16 / The mouth of adit No. 16	87 ± 12	146 ± 41
Отвал штольни № 16 / Dump of adit No. 16	32 ± 12	43 ± 19
Отвал штольни № 27 / Dump of adit No. 27	15 ± 8	32 ± 17
Отвал штольни № 21 / Dump of adit No. 21	67 ± 18	166 ± 61
Отвал штольни № 10 / Dump of adit No. 10	50 ± 20	100 ± 30
Вентиляционный выход штольни № 10 / Ventilation outlet of adit No. 10	550 ± 120	1100 ± 300
Отвал штольни № 17 / Dump of adit No. 17	350 ± 60	—
Отвал штольни № 19а / Dump of adit No. 19a	530 ± 120	—

В северо-западной части горного массива Бештау находятся восемь устьев штолен № 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 38. В устьях штолен № 1, 2, 3 и 4 имеются отверстия, рядом с которыми наблюдаются повышенные значения МАЭД (до 0,95 мкЗв/ч) из-за эманации радона и дочерних продуктов его распада. В период измерений ЭРОА радона варьировалась от 5 ± 2 (штольня № 7 — устье забетонировано) до 310 ± 30 Бк/м³ у штольни № 2. Максимальные уровни ОА и ЭРОА радона обнаружены у неизолированного устья

штольни № 32, через которое производится сброс шахтных вод в пруды-отстойники (табл. 3).

Территория горного массива Бешау является памятником природы краевого значения, созданным для сохранения мест произрастания и обитания находящихся под угрозой исчезновения объектов растительного и животного мира. В связи с этим оценка доз облучения наземной биоты (табл. 4) является необходимым этапом исследования данной территории.

Таблица 4 / Table 4

Дозы облучения наземной биоты**Exposure to the terrestrial biota**

Вид биоты Biota species	Диапазон суммарной дозы облучения, мГр/сут Range of total exposure dose, mGy/day	Вклад внутреннего облучения, % Contribution of internal exposure, %	Радиационный экологический риск Radiation environmental risk
Травянистые растения / Herbaceous plants	$6.1 \cdot 10^{-4} - 3.3 \cdot 10^{-1}$	75 ± 5	$6.1 \cdot 10^{-5} - 3.3 \cdot 10^{-2}$
Кустарник / Shrub	$9.0 \cdot 10^{-4} - 3.5 \cdot 10^{-1}$	81 ± 5	$9.0 \cdot 10^{-5} - 3.5 \cdot 10^{-2}$
Сосна / Pine	$3.6 \cdot 10^{-4} - 1.4 \cdot 10^{-1}$	53 ± 11	$3.6 \cdot 10^{-4} - 1.4 \cdot 10^{-1}$
Почвенный червь / Soil worm	$9.1 \cdot 10^{-4} - 6.1 \cdot 10^{-1}$	62 ± 1	$9.1 \cdot 10^{-5} - 6.1 \cdot 10^{-2}$
Мышевидные грызуны / Mouse-like rodents	$4.9 \cdot 10^{-4} - 3.2 \cdot 10^{-1}$	32 ± 0.6	$4.9 \cdot 10^{-4} - 3.2 \cdot 10^{-1}$
Змея / Snake	$3.6 \cdot 10^{-4} - 2.3 \cdot 10^{-1}$	62 ± 0.7	$3.6 \cdot 10^{-5} - 2.3 \cdot 10^{-2}$
Крыса / Rat	$3.1 \cdot 10^{-4} - 2.0 \cdot 10^{-1}$	57 ± 0.9	$3.1 \cdot 10^{-4} - 2.0 \cdot 10^{-1}$
Олень / Reindeer	$2.7 \cdot 10^{-4} - 1.7 \cdot 10^{-1}$	65 ± 0.6	$2.7 \cdot 10^{-4} - 1.7 \cdot 10^{-1}$

Обсуждение

По результатам пешеходной гамма-съёмки установлено, что на территории 13 штолен (№ 8, 9, 11, 15, 17, 18, 24, 26, 32 и 32 бис, 36, 39, 40, 41) значения МАЭД не превышают 0,6 мкЗв/ч и удовлетворяют требованиям радиационной безопасности согласно санитарным правилам СП ЛКП–91⁵ (утратили силу в 2020 г.). Но на других отвалах, даже в районе тех, где проводилась дополнительная рекультивация в 2014–2015 гг., имеются участки с максимальными значениями МАЭД, превышающими 0,6 мкЗв/ч [13]. Территории с высокими значениями МАЭД расположены в основном на южных и юго-восточных склонах горы Бештау. В районе штолен № 10, 13 (13а), 14, 20, 25, 29, 30, 31, 31 бис и 42 имеются небольшие участки со значениями МАЭД более 0,6 мкЗв/ч. Например, в районе штольни № 29 максимальное значение МАЭД равно 1,3 мкЗв/ч, у штольни № 30 – 0,85 мкЗв/ч, у отвала штольни № 21 – 1,9 мкЗв/ч.

Территория горного массива Бештау – излюбленное место отдыха жителей близлежащих населённых пунктов и туристов. Некоторые туристические маршруты проходят через отвалы или вблизи них:

- Бештаугорская кольцевая дорога (проходит вблизи штолен № 38, 39, 40, 8, 26, 31 и 31 бис и непосредственно через отвалы штолен № 31 и 31 бис);
- подъём на гору Бештау из Пятигорска (проходит рядом с отвалами штольни № 21);
- подъём на Орлиные скалы (имеются не ликвидированные устья штолен);
- подъём на Козьи скалы из г. Пятигорска и г. Лермонтова (проходит рядом с шахтой № 1, штольней № 27, отвалами штолен № 13, 13а, 19а);
- подъём на гору Лохматая (проходит рядом с отвалами штольни № 37).

По результатам исследования радиационной обстановки выполнены оценки возможных доз облучения при прохождении вышеупомянутых маршрутов.

1. При разовом прохождении маршрута по кольцевой дороге (~ 6 ч) эффективная доза внешнего облучения составит 1,5 мкЗв; при подъёме на гору Бештау из Пятигорска и спуске (~ 4 ч) – 1,6 мкЗв; эффективная доза от ингаляционного поступления радона и его дочерних радионуклидов не превысит 3 мкЗв [15].

2. При нахождении на территории Орлиных скал в течение 3 часов, в том числе 30 минут у незабетонированных устьев штолен № 1 и № 2, эффективная доза внешнего облучения составит 1 мкЗв/ч. На территории Орлиных скал ЭРОА радона у устьев штолен № 1 и № 2 составляет 74 и 310 Бк/м³ соответственно. При нахождении у каждого устья в течение 15 минут эффективная доза внутреннего облучения от поступления радона и его дочерних продуктов составит 0,9 мкЗв. Суммарная эффективная доза составит 1,9 мкЗв.

3. На маршруте от кольцевой дороги на Козьи скалы значения МАЭД находятся в диапазоне от 0,17 до 1,0 мкЗв/ч. При прохождении маршрута в течение 4 часов эффективная доза внешнего облучения составит около 1,3 мкЗв/ч. Максимальные уровни ЭРОА радона на маршруте – 530 ± 120 Бк/м³ (вблизи отвала штольни № 19а). При отдыхе на этой территории в течение 20 минут эффективная доза внутреннего облучения составит 1,6 мкЗв, а суммарная – 2,9 мкЗв.

4. По результатам оценки значений МАЭД наиболее опасными территориями для отдыха (пикников) являются отвалы штольни № 21 (от 0,14 до 1,9 мкЗв/ч) и отвал штольни № 19а (от 0,18 до 1,3 мкЗв/ч). При нахождении на данных территориях в течение 5 часов эффективная доза внешнего облучения составит 1,9 и 2,9 мкЗв соответственно, а эффективная доза внутреннего облучения от поступления радона и его дочерних радионуклидов – 3 и 24 мкЗв соответственно.

⁵ СП ЛКП–91. Санитарные правила ликвидации, консервации и репрофилирования предприятий по добыче и переработке радиоактивных руд. МЗ СССР. 1991 г. (утратили силу в 2020 г.).

5. На территории горы Лохматая МАЭД варьирует в диапазоне от 0,18 до 0,32 мкЗв/ч, в том числе на участке вдоль отвала штольни № 37 – от 0,22 до 0,26 мкЗв/ч, а на территории поляны для пикников – 0,23 мкЗв/ч. Эти значения не превышают естественного фона.

Полученные оценки свидетельствуют о том, что разовые посещения горы Бештау не представляют угрозы для здоровья населения.

Для оценки доз облучения наземной биоты в качестве референтных объектов выбраны олени и мышевидные грызуны (наземные млекопитающие), почвенные черви, змеи, травянистая растительность и кустарники.

Установлено, что дозы облучения биообъектов на территории горного массива Бештау находятся в широком диапазоне: от фоновых значений (около 10^{-4} мГр/сут) до $(1,7–6,1) \cdot 10^{-1}$ мГр/сут на отвалах. Наибольшему радиационному воздействию подвергаются почвенные черви, кустарник и травянистые растения. Максимальные дозы определены вблизи штольни № 23.

Сосны не являются распространёнными видами деревьев на территории горного массива Бештау. Большинство их растёт вблизи штолен № 27 и № 42. Расчётные значения доз облучения сосны на этих территориях находятся в пределах от $1,4 \cdot 10^{-4}$ до $2,5 \cdot 10^{-2}$ мГр/сут, что не менее чем в 40 раз ниже референтных уровней дозовой нагрузки (Derived Consideration Reference Levels – DCRRLs).

Сведения о статистически значимых детерминированных эффектах воздействия ионизирующего излучения на заболеваемость, репродукцию и продолжительность жизни рассмотренных видов биообъектов отсутствуют (МКРЗ, Публикация 108)⁶.

Ограничения исследования. При сравнении содержания радионуклидов в почве с критериями отнесения к ТРО и оценке доз облучения биоты использовали традиционное предположение о вековом равновесии ²³⁴U и ²³⁰Th в цепочках распадов ²³⁸U. Дозы облучения оценивали при допущении постоянного нахождения биообъектов на исследуемой территории. Границами безопасной референтной дозовой нагрузки считали значения мощности дозы хронического облучения, равные 1 мГр/сут для млекопитающих, позвоночных животных и сосны обыкновенной и 10 мГр/сут для растений (кроме сосны обыкновенной) и беспозвоночных животных.

Заключение

По результатам проведённых исследований можно сделать следующие выводы.

1. На отвалах 13 штолен значения МАЭД не превышают 0,6 мкЗв/ч, а вблизи остальных имеются локальные участки с более высокими значениями (до 5 мкЗв/ч у штольни № 23). В районе остальных штолен площади со значениями МАЭД более 0,5 мкЗв/ч более 20% от площади отвалов и на отдельных участках превышают 1 мкЗв/ч.

2. Вблизи штольни № 23 и на локальных участках около штолен № 10, 13 и 13а, 14, 16, 19, 19а, 21, 25, 33 и 42 площадью 5900 м² почва относится к ТРО.

3. Значения ЭРОА радона достигают 10 кБк/м³ у незабетонированных отверстий штольни № 32, на отвалах максимальное значение ЭРОА радона составляет 530 Бк/м³ (штольня № 19а).

4. Участки с повышенными уровнями МАЭД, расположенные в основном в труднодоступных местах, не вызывают значимого облучения людей, находящихся на территории горного массива Бештау во время пешеходных прогулок или восхождения на вершины гор. При разовом прохождении маршрутов суммарная эффективная доза не превысит 3 мкЗв. При отдыхе вблизи отвалов штолен № 19а и 21 в течение 5 часов суммарная эффективная доза не превысит 30 и 5 мкЗв соответственно.

⁶ ICRP, 2008. Environmental protection: the concept and use of reference animals and plants. ICRP Publication 108. Ann. ICRP, 2008, vol. 38, no. 4–6, pp. 1–251.

5. Оценённые значения мощности дозы облучения наземной биоты на территории горного массива Бештау находятся в диапазоне от фоновых значений (10^{-4} мГр/сут) до $n \cdot 10^{-1}$ мГр/сут на отвалах. Наибольшему радиационному воздействию подвергаются почвенные черви, кустарник и травянистые растения. Максимальные дозы определены недалеко от штольни № 23.

В целом, даже на самых загрязнённых территориях дозы облучения наземной биоты ниже референтных дозовых нагрузок в три и более раза. При таких значениях мощности дозы отсутствуют сведения о статистически значимых детерминированных эффектах воздействия ионизирующего излучения на заболеваемость, репродукцию и продолжительность жизни рассмотренных видов биообъектов.

Литература

- Евстратова Е.В., Агапова А.М., Лаврова Н.П., Большова Л.А., Линге И.И. *Проблемы ядерного наследия и пути их решения*. М.: 2012.
- Петрухин Н.П., Славский Е.П. *Уранодобывающие предприятия отечественной атомной отрасли*. М.: 2018.
- Атомная энергия 2.0. ФГУП «РосРАО»: Проекты реабилитации загрязнённых территорий. Доступно: <https://atomic-energy.ru/articles/2012/08/17/35351>
- Материалы комплексного экологического обследования государственного природного заказника краевого значения «Бештаугорский». Ставрополь; 2011.
- Микляев П.С., Петрова Т.Б., Маренный А.М., Нефедов Н.А., Остапчук Т.В., Щитов Д.В. и др. Уровни эксгаляции радона на западном склоне горы Бештау, Кавказские Минеральные Воды. *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология*. 2018; (5): 20–30. <https://doi.org/10.1134/S0869780318040063> <https://elibrary.ru/xyyidb>
- Микляев П.С., Маренный А.М., Цапалов А.А., Петрова Т.Б. Комплексные мониторинговые исследования формирования радоновых полей грунтовых массивов. Основные результаты. *АНРИ*. 2017; (4): 2–22. <https://elibrary.ru/zsqzaf>
- Шандала Н.К., Титов А.В., Исаев Д.В., Семенова М.П., Серегин В.А., Остапчук Т.В. и др. Оценка влияния последствий ливневых дождей на радиационную обстановку в районе расположения штольни № 16 бывшего предприятия ЛПО «Алмаз». *Медицина экстремальных ситуаций*. 2017; 60(2): 202–7. <https://elibrary.ru/ygajqr>
- Титов А.В., Шандала Н.К., Исаев Д.В., Семенова М.П., Серегин В.А., Бельских Ю.С. и др. Оценка радиационной опасности пребывания населения и ведения хозяйственной деятельности в районе расположения выработанного уранового месторождения. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2020; 65(2): 11–6. <https://doi.org/10.12737/1024-6177-2020-65-2-11-16> <https://elibrary.ru/ugalor>
- Карпенко Е.И., Спиридонов С.И., Санжарова Н.И. Оценка доз облучения населения и природных объектов на территории, прилегающей к предприятию по добыче и переработке урановых руд. *Радиация и риск*. 2012; 21(2): 46–53. <https://elibrary.ru/oxpkpr>
- Микляев П.С., Петрова Т.Б., Лашенова Т.Н., Карл Л.Э., Маренный А.М., Губанова Ю.К. и др. Характеризация водных объектов в районе расположения объекта ЛПО «Алмаз» и г. Лермонтов. В кн.: Удалова А.А., ред. *Техногенные системы и экологический риск: Тезисы докладов V Международной (XVIII Региональной) научной конференции*. Обнинск; 2022. <https://elibrary.ru/xpfyfa>
- Шандала Н.К., Киселев С.М., Титов А.В. Научно-практический опыт надзорной деятельности в области обеспечения защиты населения и окружающей среды на объектах ядерного наследия России. *Радиационная гигиена*. 2019; 12(S2): 83–96. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-10-2s-83-96> <https://elibrary.ru/jqrydv>
- Панов А.В. Радиоэкологические проблемы в районе размещения Лермонтовского предприятия «Алмаз» по добыче и переработке урановой руды. Обзор. *Радиация и риск*. 2023; 32(1): 131–15. <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2023-32-1-131-153>
- Отчет о результатах инженерно-экологических изысканий на территории рудника 1 (г. Бештау) г. Лермонтов, Ставропольский край. Этап 1 п.3. М.: 2009.
- Рекультивация хвостохранилища ГМЗ и урановых рудников № 1 и № 2 бывшего госпредприятия «Алмаз» (г. Лермонтов, Ставропольский край). Проектная документация. Раздел 1. Пояснительная записка. Ц-ОД/ИФ02-10-11/09-ПЗ; 2010.
- Титов А.В., Шандала Н.К., Исаев Д.В., Семенова М.П., Серегин В.А., Бельских Ю.С., Остапчук Т.В., Чернобаев А.С. Оценка радиационной опасности пребывания населения и ведения хозяйственной деятельности в районе расположения выработанного уранового месторождения. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2020; 65(2): 11–6. <https://doi.org/10.12737/1024-6177-2020-65-2-11-16>

References

- Evstratova E.V., Agapova A.M., Laverova N.P., Bol'shova L.A., Linde I.I. *Problems of Nuclear Legacy and Ways of Their Solution [Problemy yadernogo naslediya i puti ikh resheniya]*. Moscow; 2012. (in Russian)
- Petrukhin N.P., Slavskii E.P. *Uranium Mining Enterprises of the Domestic Nuclear Industry [Uranodobyvayushchie predpriyatiya otechestvennoi atomnoi otrasli]*. Moscow; 2018. (in Russian)
- Atomnaya energiya 2.0. FSUE RosRAO: Projects for the remediation of polluted territories. Available at: <https://atomic-energy.ru/articles/2012/08/17/35351> (in Russian)
- Materials of a comprehensive environmental survey of the state natural reserve of regional significance "Beshtaugorsky" [Materialy kompleksnogo ekologicheskogo obsledovaniya gosudarstvennogo prirodnogo zakaznika kraevogo znacheniya «Beshtaugorskii»]. Stavropol'; 2011. (in Russian)
- Miklyaev P.S., Petrova T.B., Marenniy A.M., Nefedov N.A., Ostapchuk T.V., Shchitov D.V., et al. Radon exhalation rate on the western slope of Beshtau mountain, Caucasian mineral waters region. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*. 2018; (5): 20–30. <https://doi.org/10.1134/S0869780318040063> <https://elibrary.ru/xyyidb> (in Russian)
- Miklyaev P.S., Marenniy A.M., Tsapalov A.A., Petrova T.B. The comprehensive monitored research of the formation of the radon fields in the massifs of soil. Part 8 — the main results. *ANRI*. 2017; (4): 2–22. <https://elibrary.ru/zsqzaf> (in Russian)
- Shandala N.K., Titov A.V., Isaev D.V., Semenova M.P., Seregin V.A., Ostapchuk T.V., et al. The impact assessment of the heavy rain consequences on the radiation situation around the adit-16 of the former enterprise "Almaz". *Meditsina ekstremal'nykh situatsii*. 2017; 60(2): 202–7. <https://elibrary.ru/ygajqr> (in Russian)
- Titov A.V., Shandala N.K., Isaev D.V., Semenova M.P., Seregin V.A., Belskikh Yu.S., et al. Assessment of the public radiation protection and economic activity safety in the area of the developed uranium deposit. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost'*. 2020; 65(2): 11–6. <https://doi.org/10.12737/1024-6177-2020-65-2-11-16> <https://elibrary.ru/ugalor> (in Russian)
- Karpenko E.I., Spiridonov S.I., Sanzharova N.I. Assessment of radiation doses to the population and natural objects on the territory adjacent to facility for mining and processing of uranium ores. *Radiatsiya i risk*. 2012; 21(2): 46–53. <https://elibrary.ru/oxpkpr> (in Russian)
- Miklyaev P.S., Petrova T.B., Lashchenova T.N., Karl L.E., Marenniy A.M., Gubanova Yu.K., et al. Characterisation of water bodies around LPA "Almaz" site location and Lermontov city. In: Udalova A.A., ed. *Technogenic Systems and Ecological Risk: Theses of Reports of the V International (XVIII Regional) Scientific Conference [Tekhnogennye sistemy i ekologicheskii risk: Tezisy dokladov V Mezhdunarodnoi (XVIII Regional'noi) nauchnoi konferentsii]*. Obninsk; 2022. <https://elibrary.ru/xpfyfa> (in Russian)
- Shandala N.K., Kiselev S.M., Titov A.V. Scientific and practical experience of supervisory activities in the field of the public and environmental protection at the Russian nuclear legacy sites. *Radiatsionnaya gigiena*. 2019; 12(S2): 83–96. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-10-2s-83-96> <https://elibrary.ru/jqrydv> (in Russian)
- Panov A.V. Radioecological problems in the site of the former Lermontov production association "Almaz" for mining and processing of uranium ore. Review. *Radiatsiya i risk*. 2023; 32(1): 131–15. <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2023-32-1-131-153> (in Russian)
- Report on the results of engineering and environmental surveys at the territory of mine 1 (Beshtau) Lermontov, Stavropol Territory. Stage 1 p.3. Moscow; 2009. (in Russian)
- Remediation of the tailing dump of the MMP and uranium mines No. 1 and No. 2 of the former Almaz state enterprise (Lermontov, Stavropol Territory). Project documentation. Section 1. Explanatory note. TS-OD/IF02-10-11/09-PZ; 2010. (in Russian)
- Titov A.V., Shandala N.K., Isaev D.V., Semenova M.P., Seregin V.A., Belskikh Yu.S., Ostapchuk T.V., Chernobaev A.S. Assessment of the Public Radiation Protection and Economic Activity Safety in the Area of the Developed Uranium Deposit. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2020; 65(2): 11–6. <https://doi.org/10.12737/1024-6177-2020-65-2-11-16> (In Russian)

Сведения об авторах

Бельских Юрий Сергеевич, науч. сотр. ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 123098, Москва, Россия. E-mail: yourbelk@yandex.ru

Титов Алексей Викторович, ст. науч. сотр. ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 123098, Москва, Россия. E-mail: titov_fmbc@mail.ru

Шандала Наталия Константиновна, доктор мед. наук, зам. генерального директора по науке и биофизическим технологиям ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 123098, Москва, Россия. E-mail: nshandala@gmail.com

Исаев Дмитрий Викторович, ст. науч. сотр. ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 123098, Москва, Россия. E-mail: strategik@bk.ru

Семенова Мария Петровна, ст. науч. сотр. ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 123098, Москва, Россия. E-mail: mps-fmbc@yandex.ru

Дороньева Татьяна Алексеевна, науч. сотр. ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 123098, Москва, Россия. E-mail: kristallik2@rambler.ru

Серегин Владимир Александрович, ст. науч. сотр. ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 123098, Москва, Россия. E-mail: seregin.vladimir@gmail.com

Кроткова Юлия Валерьевна, мл. науч. сотр. ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 123098, Москва, Россия. E-mail: yuliyakrotkova@yandex.ru

Филонова Анна Александровна, ст. науч. сотр. ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 123098, Москва, Россия. E-mail: anfl@mail.ru

Information about the authors

Iurii S. Belskikh, Researcher of State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA of Russia, Moscow, 123098, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-6013-6610> E-mail: yourbelk@yandex.ru

Aleksey V. Titov, Senior Researcher of State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA of Russia, Moscow, 123098, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-3797-2677> E-mail: titov_fmbe@mail.ru

Nataliya K. Shandala, DSc (Medicine), Science and Biophysics Technologies Deputy Director General of State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA of Russia, Moscow, 123098, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-1290-3082> E-mail: nshandala@gmail.com

Dmitriy V. Isaev, Senior Researcher of State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA of Russia, Moscow, 123098, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-9687-628X> E-mail: strategik@bk.ru

Maria P. Semenova, Senior Researcher of State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA of Russia, Moscow, 123098, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-0904-0415> E-mail: mps-fmbc@yandex.ru

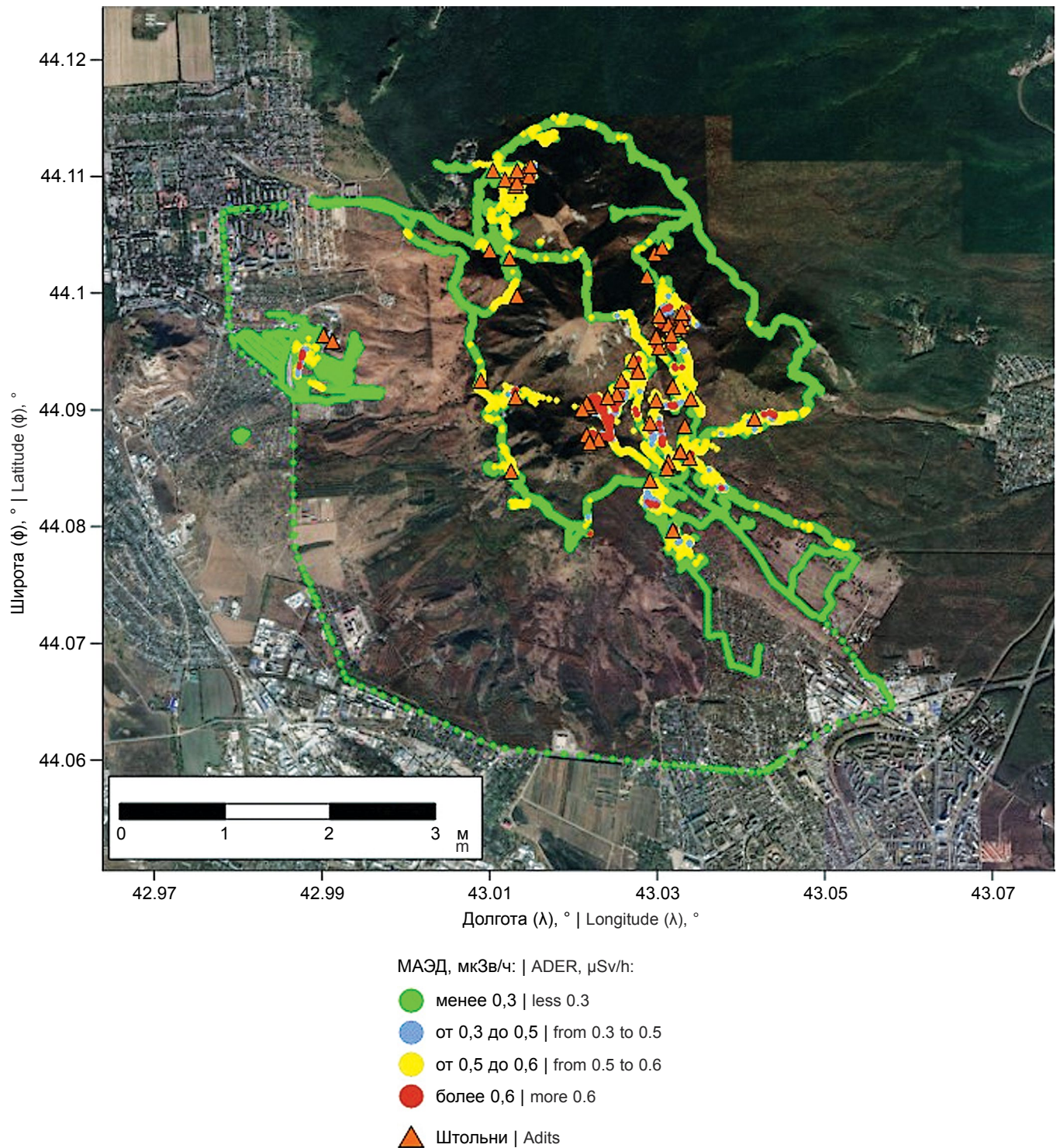
Tatiana A. Doronova, Researcher of State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA of Russia, Moscow, 123098, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-6826-1934> E-mail: kristallik2@rambler.ru

Vladimir A. Seregin, Senior Researcher of State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA of Russia, Moscow, 123098, Russian Federation, Federal Medical Biological Agency, Moscow, 123098, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-9883-1571> E-mail: seregin.vladimir@gmail.com

Iuliia V. Krotkova, Junior Researcher of State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA of Russia, Moscow, 123098, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-5953-4475> E-mail: yuliyakrotkova@yandex.ru

Anna A. Filonova, Senior Researcher of State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA of Russia, Moscow, 123098, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0832-2878> E-mail: anfl@mail.ru

К статье Ю.С. Бельских и соавт.
To the article by Iurii S. Belskikh et al.



Значения мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) на территории рудника.
Ambient dose equivalent rate (ADER) values at the mine territory.