

УДК 911.9:57.043

DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2020-1(61-68)

А.П. ЧЕВЫЧЕЛОВ, П.И. СОБАКИН, А.Н. ГОРОХОВИнститут биологических проблем криолитозоны СО РАН,
677980, Якутск, пр. Ленина, 41, Россия, chev.soil@list.ru, radioecolog@yandex.ru, algor64@mail.ru**РАДИОАКТИВНЫЕ ОТВАЛЫ ГОРНЫХ ПОРОД
В ЭЛКОНСКОМ УРАНОВОРУДНОМ РАЙОНЕ (ЮЖНАЯ ЯКУТИЯ)**

Изучены географические особенности распространения и радиационные параметры радиоактивных отвалов горных пород в Эльконском ураново-рудном районе на территории Южной Якутии. Отмечено, что в геоморфологическом отношении исследуемые отвалы приурочены к Эльконскому горсту, который представляет выступ кристаллических пород фундамента, возвышающийся над территорией Алданского нагорья. Установлено, что большая часть данных отвалов расположена в пределах ложбин стока и днищ горных рек зоны гипергенеза и в геохимическом плане формируется под влиянием крутосклонного рельефа, холодного гумидного климата и преобладания в покрове горно-таежной растительности. Показано, что данные отвалы горных пород образовались в последней трети XX в., во время проведения в данном районе широкомасштабных и интенсивных геологоразведочных работ на радиоактивное сырье. Определены радиационные параметры исследуемых отвалов, такие как мощность экспозиционной дозы гамма-излучения, содержание ^{238}U , ^{232}Th и ^{40}K , а также эффективная удельная активность данных радионуклидов. Выявлено, что наиболее активные отвалы горных пород по своим радиационным параметрам приближаются к радиоактивным рудам. Произведено ранжирование изучаемых отвалов по степени радиационной опасности для населения на основе определенных значений экспозиционной дозы гамма-излучения и эффективной удельной активности данных радионуклидов. Установлено, что основным источником радиоактивного загрязнения почвенно-растительного покрова и поверхностных вод в Эльконском урановорудном районе на территории Южной Якутии являются 40 отвалов горных пород, неравномерно размещенных на общей площади около 500 км² горно-таежных мерзлотных ландшафтов. Определено, что более половины данных отвалов по своим радиационным параметрам относятся к категориям опасных и особо опасных.

Ключевые слова: месторождения урана, техногенные ландшафты, радиоактивное загрязнение, почвенно-растительный покров, радиационная обстановка.

A.P. CHEVYCHELOV, P.I. SOBAKIN, A.N. GOROKHOVInstitute for Biological Problems of Cryolithozone, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
677980, Yakutsk, pr. Lenina, 41, Russia, chev.soil@list.ru, radioecolog@yandex.ru, algor64@mail.ru**RADIOACTIVE ROCK DUMPS
IN THE ELKON URANIUM ORE AREA (SOUTH YAKUTIA)**

We have examined the geographical features in the distribution and the radiation parameters of radioactive dumps of rocks in the Elkon uranium ore area on the territory of South Yakutia. It is pointed out that the dumps under study are geomorphologically located on the Elkon horst which is a protrusion of crystalline basement rocks, towering over the territory of the Aldan highlands. It is found that most of these dumps lie within streambeds and in the bottoms of mountain rivers of the zone of hypergenesis and, geochemically, they are influenced by steep-slope topography, a cold humid climate and mountain-taiga vegetation dominating land cover. It is shown that these rock dumps were formed in the last third of the 20th century, during a large-scale and intense geological exploration for radioactive raw materials in this area. Radiation parameters of the dumps under study, such as the gamma radiation exposure dose, the content of ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K , as well as the effective specific activity of these radionuclides were determined. It is found that the most active rock dumps, in their radiation parameters, approach radioactive ores. The dumps under study were ranked according to the degree of radiation danger to the population on the basis of the particular values of the gamma radiation exposure dose and effective specific activity of these radionuclides. It is established that the main source of radioactive contamination of soil and vegetation cover and the surface waters in the Elkon uranium ore area on the territory of South Yakutia are 40 rock dumps which are unevenly distributed in the total area of about 500 km² of the mountain-taiga permafrost landscapes. It is determined that more than half of these dumps, in their radiation parameters, are classified as hazardous and specially hazardous.

Key words: uranium deposits, technogenic landscapes, radioactive pollution, soil and vegetation cover, radiation situation.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование структуры и трансформации полей радиоактивного загрязнения современных ландшафтов стало актуальной фундаментальной научной проблемой. Современные ландшафты сформировались в результате антропогенизации естественных геосистем. В наше время практически повсюду естественные ландшафты изменены человеком в той или иной степени в процессе хозяйственной деятельности. Поэтому, рассматривая вопрос о загрязнении современных ландшафтов, мы одновременно исследуем и важнейший экологический вопрос загрязнения земельных угодий. Информация об их радиоэкологическом состоянии позволяет разрабатывать особые структуры землепользования, приводящие, в отличие от традиционных, к уменьшению дозовых нагрузок на население.

Эльконский урановорудный район (ЭУРР) расположен в центральной части Алданского кристаллического щита на территории Южной Якутии. Здесь сосредоточены основные запасы урана в России, которые составляют 7 % от общих мировых резервов этого радиоактивного элемента. В настоящее время в районе выявлено 24 месторождения урана, в том числе несколько крупных, и 91 рудопроявление. Основная часть крупномасштабных геолого-поисковых работ была проведена здесь в последней трети XX в. В ходе этих работ, по данным Госатомнадзора Дальневосточного округа РФ [1], в процессе детальной геологической разведки было извлечено из недр и складировано на дневную поверхность в виде отвалов более 1 млн т горнорудной массы. Общее количество урана, содержащегося в данной рудной массе, составляет около 2000 т [1]. Это исходно предполагает значительное радионуклидное загрязнение почвенно-растительного покрова и поверхностных вод в зоне влияния отвалов, что подтверждается последними исследованиями [2, 3].

В связи с этим целью данной статьи стало изучение условий размещения радиоактивных отвалов горных пород в ЭУРР и определение их радиационных параметров с целью оценки опасности для населения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами нашего исследования были отвалы горных пород разной степени радиоактивности, образовавшиеся в ЭУРР в ходе широкомасштабной и детальной геологической разведки на радиоактивное сырье. В результате проведения поисковых работ здесь образовались многочисленные техногенно нарушенные участки, расположенные в небольших горных ущельях. Эти участки включают выровненные промышленные площадки, где располагаются законсервированные штольни и шахты с отвалами горных пород [4].

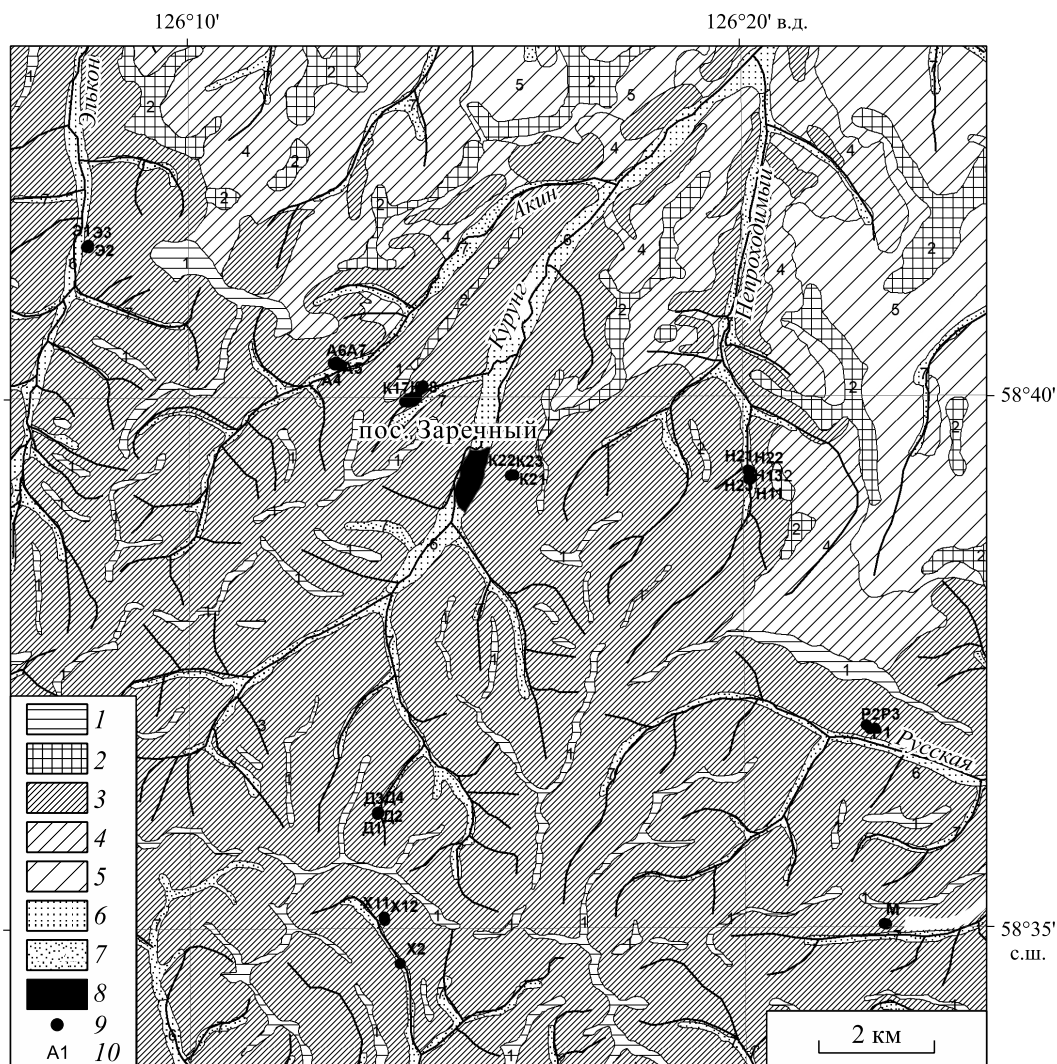
ЭУРР геоморфологически приурочен к Эльконскому горсту, представляющему собой выступ кристаллических пород фундамента, с которого полностью удалены осадочные отложения. Горст образовался на месте крупной синклинали структуры северо-западного направления. Это складчато-глыбовое ступенчатое сооружение — гольц Медвежий (максимальная высота 1498 м над ур. моря), ограниченное со всех сторон разломами. На исследуемой территории в основном можно выделить два главных типа рельефа: эрозионно-тектонический среднегорный и эрозионно-аккумулятивный речных долин и террас [5]. При этом в орографическом отношении большая часть данных отвалов приурочена к ложбинам стока и днищам долин горных рек (см. рисунок).

Кристаллический фундамент этой территории сложен ниже- и верхнеархейскими гнейсами, кристаллическими сланцами, кварцитами и гранитоидами. Как уже отмечалось выше, в ЭУРР выявлено несколько десятков урановых месторождений и рудопроявлений [6]. Их объединяет принадлежность к единой золото-урановой формации, уран и золото которой связаны с калиевыми метасоматитами зон активизации древних разломов Центрального Алдана [7, 8].

Климат исследуемого района может быть охарактеризован как очень континентальный, холодный супергумидный [9]. При этом коэффициенты континентальности и увлажнения, по Н.Н. Иванову [10], соответственно равны 224 и 1,9. Годовое количество осадков на исследуемой территории составляет 635 мм, а испаряемость — 336 мм, при этом 299 мм выпадающих атмосферных осадков удаляется в виде поверхностного и внутригрунтового стоков [11].

Согласно флористическому районированию [12], исследуемая территория входит в состав Алданского района. Здесь в горах выражена биогеоценотическая поясность, начиная с высоты 650–800 м над ур. моря появляются горные леса, высокогорные редины и редколесья. Выше, в подгольцовом поясе, преобладают кедровостланиковые сообщества и курумники.

В процессе работ мы использовали комплекс общепринятых геоэкологических методов: сравнительно-географический, картографический и геохимический [13]. При этом мощность экспозицион-



Размещение радиоактивных отвалов горных пород в Эльконском урановорудном районе.

1 — приводораздельные плоскоравнинные участки горных хребтов; 2 — приводораздельные выровненные поверхности плоскогорья; 3–5 — склоны: 3 — крутые, 4 — средней крутизны, 5 — пологие; 6 — днища долин горных рек; 7 — ложбины стока горных рек; 8 — населенный пункт; 9 — отвалы; 10 — номер отвала.

ной дозы гамма-излучения (МЭД) определялась с помощью радиометра СРП-68-01 вблизи поверхности отвалов в режиме поиска с фиксацией аномальных точек, а среднее значение МЭД вычислялось по пяти значениям отдельных величин [14]. Содержание радионуклидов ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th в отвалах горных пород измеряли гамма-спектрометрическим методом на многоканальном анализаторе «Прогресс-Гамма». Обработка гамма-спектров осуществлялась матричным методом с помощью программного обеспечения «Прогресс», а максимальная погрешность измерения не превышала $\pm 30\%$ [15].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Гамма-фон Алданского щита изменяется в широких пределах (от 5 до 70 мкР/ч), т. е. от минимальных до максимальных значений с разницей в 14 раз. При этом средние значения гамма-фона исследуемой территории колеблются от 5 до 50 мкР/ч, т. е. в пределах одного порядка величин. Наименьшие средние значения МЭД (5–6 мкР/ч) были зафиксированы на поверхности основных интрузивных пород (габбро, диабазы), а максимальные (50 мкР/ч) характерны для пегматитов и, в особенности, для аляскитовых гранитов.

Таблица 1

**Гамма-фон на поверхности отвалов
исследуемых месторождений**

Номер отвала	Мощность экспозиционной дозы, мкР/ч		
	минимум	среднее	максимум
Участок Русская (Р), месторождение Дружное			
P1	72	119	157
P2	54	157	322
P3	22	25	28
Участок Интересный (И), месторождение Интересное			
И1	80	130	240
И2	460	604	1600
Участок Курунг 1 (К1), месторождение Курунг			
K11	660	882	1600
K12	200	508	740
K13	46	140	250
K14	46	74	100
K15	56	120	1000
K16	26	44	46
K17	36	72	110
K18	40	115	220
Участок Курунг 2 (К2), месторождение Курунг			
K21	11	16	25
K22	27	35	40
K23	10	11	11
Участок Дрожжевой (Д), месторождение Невское			
D1	50	96	120
D2	46	123	180
D3	52	59	66
D4	42	126	170
Участок Непроходимый 1 (Н1), месторождение Северное			
H11	21	152	320
H12	30	70	175
H13	34	167	420
Участок Непроходимый 2 (Н2), месторождение Северное			
H21	40	52	68
H22	52	109	280
H23	52	86	115
Участок Минеевский (М), месторождение Таежное			
M	28	97	157
Участок Холодная (Х), месторождение Таежное			
X11	41	57	76
X12	90	116	157
X2	142	228	330
Участок Элькон (Э), месторождение Элькон			
Э1	25	46	80
Э2	23	29	40
Э3	21	26	38
Участок Акин (А), месторождение Эльконское плато			
A1	210	896	2150
A2	180	580	1000
A3	104	322	540
A4	54	110	250
A5	62	100	210
A6	39	52	71
A7	34	43	180

В табл. 1 приведены данные по гамма-фону исследуемых техногенных ландшафтов, полученные для 40 отвалов законсервированных горных выработок (штольни и шахты). Гамма-фон на поверхности отвалов изменяется от 11 до 2150 мкР/ч. Наиболее активные из них расположены в бассейне р. Курунг на участках с условными названиями Акин и Курунг 1. На территории этих участков в отдельных точках гамма-фон может достигать 3000 мкР/ч. Учитывая, что его средние значения на поверхности радиоактивных отвалов Эльконского горста изменяются в пределах 11–896 мкР/ч, а на территории Алданского щита — 5–50 мкР/ч, значения МЭД на отвалах в среднем в 2–18 раз выше, чем в условиях регионального фона. Отметим также, что поскольку естественный радиационный фон на территории России, измеренный на открытой местности, варьирует, как правило, в пределах 5–20 мкР/ч [16], фон, зарегистрированный на поверхности отвалов и за их пределами, значительно выше этих значений, следовательно, его однозначно можно считать повышенным.

Касаясь оценки регионального радиогеохимического фона в пределах Алданского щита, необходимо отметить, что наиболее высокие концентрации урана и тория свойственны для различных типов гранитоидов и милонитов, наименьшие отмечаются в слабо гранитизированных разностях гнейсов и кристаллических сланцев. В процессе ультраметаморфизма установлена устойчивая тенденция возрастания содержания урана в ряду гранитоидных пород: чарнокиты — гранулиты и гнейсограниты — аляскитовые граниты — кварц-полевошпатовые метасоматиты и бластомилониты [17].

Результаты лабораторного гамма-спектрального анализа показали, что содержание радионуклидов в мелкоземе отвалов горных пород изменяется в широких пределах: урана (по радио) — $(2-1888) \cdot 10^{-4} \%$, тория — $(2-80) \cdot 10^{-4} \%$, а калия — 0,8–4,5 % (табл. 2). При этом особенно заметно изменение концентраций урана — почти в пределах трех порядков величин (в 1000 раз). Пределы изменения средних содержаний урана в горных породах Эльконского урановорудного района, соответствуя региональному фону, составляют $0,9-5,8 \cdot 10^{-4} \%$ (изменяются в 6 раз в пределах одного порядка величин). Поэтому в горных породах отвалов средние концентрации урана увеличиваются в 2–326 раз. Пределы изменения содержания тория в породах отвалов $((2-80) \cdot 10^{-4} \%$, или в 40 раз) не превышают пределы колебаний его концентраций $((1,5-134,0) \cdot 10^{-4} \%$, или почти в 90 раз) в горных породах исследуемого района в рамках регионального фона.

Содержание и эффективная удельная активность радионуклидов в мелкоземе отвалов горных пород исследуемых месторождений

Номер отвала	⁴⁰ K, %	²³⁸ U, $n \cdot 10^{-4}$ %	²³² Th, $n \cdot 10^{-4}$ %	A _{эфф} , Бк/кг	Номер отвала	⁴⁰ K, %	²³⁸ U, $n \cdot 10^{-4}$ %	²³² Th, $n \cdot 10^{-4}$ %	A _{эфф} , Бк/кг
Участок Русская (Р), месторождение Дружное					Участок Непроходимый 1 (Н1), месторождение Северное				
P1	3,7	58	27	951	Н11	1,1	8	16	210
P2	3,7	338	22	4369	Н12	1,1	267	17	3372
P3	2,0	3	10	697	Н13	3,4	75	5	1038
Участок Интересный (И), месторождение Интересное					Участок Непроходимый 2 (Н2), месторождение Северное				
И1	0,1	575	30	7377	Н21	4,5	63	9	939
И2	—	82	13	1195	Н22	2,0	15	4	257
Участок Курунг 1 (К1), месторождение Курунг					Н23	—	388	21	4881
К11	—	205	2	2531	Участок Минеевский (М), месторождение Таежное				
К11	1,4	695	8	8626	М	4,3	93	11	1314
К11	—	1888	80	23 640	Участок Холодная (Х), месторождение Таежное				
К12	2,4	290	19	3728	Х11	4,8	53	2	788
К12	3,9	596	16	7516	Х12	3,8	47	12	741
К12	0,8	776	18	9658	Х2	4,4	149	9	1995
К13	2,8	45	8	668	Участок Элькон (Э), месторождение Элькон				
К13	2,8	94	10	1298	Э1	1,7	208	8	2405
К13	3,6	554	27	7049	Э2	3,9	34	7	569
К13	1,8	586	25	7384	Э3	3,1	5	9	194
К14	1,8	193	11	2477	Участок Акин (А), месторождение Эльконское плато				
К15	1,2	351	25	4478	А1	—	1637	59	20 441
К16	2,3	38	16	611	А1	—	724	24	9029
К17	1,3	16	3	245	А2	2,3	120	5	1537
К18	2,1	62	2	827	А2	—	906	25	11 273
Участок Курунг 2 (К2), месторождение Курунг					А3	2,3	285	13	3633
К21	1,1	2	3	68	А3	3,0	322	15	4117
К22	1,1	3	3	77	А3	2,2	140	8	1871
К23	2,8	13	3	248	А4	1,4	191	12	2448
Участок Дрожжевой (Д), месторождение Невское					А5	1,1	81	8	1066
Д1	1,6	74	4	995	А6	4,4	39	3	599
Д2	1,6	513	17	6439	А7	3,5	37	3	280
Д3	2,9	21	2	345					
Д4	3,6	149	10	1979					

Примечание. Прочерк — не обнаружено.

Таким образом, содержания тория и калия в мелкоземе отвалов варьируют незначительно и в среднем соответствуют уровню их кларковых значений в горных породах. В то же время концентрация урана в породах отвалов может превышать его кларковые значения в горных породах на несколько порядков. Из полученных данных ясно, что основным источником, создающим гамма-фон на поверхности отвалов, является гамма-излучение урана и продуктов его распада. Поэтому в отвалах для точек с наиболее высокими значениями гамма-фона свойственны и более высокие концентрации урана. Исследуемые объекты также характеризуются высококонтрастным радионуклидным составом, при этом в пределах площади одного отвала концентрация урана может изменяться максимально в 13 раз (отвал К13), а тория — в 40 раз (отвал К11) (см. табл. 2).

Кроме измерений гамма-фона и определения концентраций радиоактивных элементов в отвалах, оценивали эффективную удельную активность радионуклидов по формуле, принятой в нормах радиационной безопасности (НРБ-99):

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1,3A_{Th} + 0,09A_K,$$

где A_{Ra} и A_{Th} — удельные активности ²²⁶Ra и ²³²Th, находящихся в равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов; A_K — удельная активность ⁴⁰K (Бк/кг) [18].

Эффективная удельная активность в мелкоземе обследованных отвалов изменяется от 68 до 23 640 Бк/кг. В большинстве радиоактивных рудных отвалов 1–5 % эффективной удельной активности радионуклидов приходится на долю ^{40}K и ^{232}Th . Отметим, что, как и предполагалось, наиболее высокие значения $A_{\text{эфф}}$ характерны для отвалов, расположенных в бассейне р. Курунг зоны Южной, характеризующихся также наиболее высокими значениями гамма-фона.

В последнее время, используя рекомендации ОСПОРБ-99 [19], И.М. Хайкович с соавторами [20] разработали по величине $A_{\text{эфф}}$ для всех промышленных типов месторождений твердых полезных ископаемых классификацию по степени радиационной опасности. По ней все месторождения подразделяются на четыре категории (класса): особо опасные ($A_{\text{эфф}} > 3500$ Бк/кг), опасные ($A_{\text{эфф}} = 1000–3500$), потенциально опасные ($A_{\text{эфф}} = 100–1000$) и безопасные ($A_{\text{эфф}} < 100$ Бк/кг). В нашем случае по этой классификации 27,5 % всех обследованных отвалов попадают в категорию особо опасных, 25 и 42,5 % — соответственно в категории опасных и потенциально опасных, а остальные 5 % — в категорию безопасных. При этом 21 из 40 отвалов (или 52,5 %) попадают на основе средних значений эффективной удельной активности естественных радионуклидов в категории опасных и особо опасных (табл. 3).

В условиях горного характера рельефа и гумидного климата исследуемой территории происходит интенсивный вынос ^{238}U и продуктов его распада из отвалов горных пород по миграционным потокам и значительное радиоактивное загрязнение различных компонентов природных ландшафтов. Так, максимальные значения содержания урана, радия и радона в поверхностных водах данного района соответственно составляли $180 \cdot 10^{-7}$ г/л, $4,7 \cdot 10^{-12}$ г/л и 256,8 Бк/л, что в 100, 8 и 198 раз превышает их фоновые концентрации в водах естественных ландшафтов. Вблизи отдельных бессточных источников концентрация ^{238}U в воде увеличивается до $8 \cdot 10^{-5}$, а в отдельных случаях — до $3,5 \cdot 10^{-3}$ г/л [11]. Интенсивность накопления ^{238}U в аллювиальных почвах данного района падает по мере удаления от отвалов, что полностью подтверждается значениями коэффициента относительного превышения над фоновым уровнем ($K_{\text{пр}}$). Так, если на расстоянии 500 м от отвалов участка Курунг 1 (см. рисунок) $K_{\text{пр}}$ почвы для ^{238}U был равен 211, то в 1350 м — 29, а в 8 км ниже — только 1,2. В настоящее время по вектору стока от источников загрязнения ореолы водного рассеяния ^{238}U и ^{226}Ra в аллювиальных почвах фиксируются на расстоянии до 30 км [2]. На участках техногенного загрязнения концентрации ^{238}U и ^{226}Ra в различных видах древесных, кустарничковых и травянистых растений в 3–600 раз превышают фоновый уровень. В настоящее время по концентрации урана некоторые компоненты горно-таежных экосистем (лесные подстилки, почвы и некоторые виды мхов) можно отнести к радиоактивным отходам [11].

Исследуемый район также характеризуется высокой радоноопасностью. При этом концентрация радона в воздухе в местах складирования радиоактивных руд изменяется от 42 до 389 Бк/м³, а плотность его потока с поверхности отвалов — от 14 до 2928 мБк/(с·м²). Полученные величины существенно превышают фоновые концентрации ^{222}Rn в открытом воздухе, которые обычно изменяются от 2 до 6 Бк/м³, а средняя плотность его потока с поверхности земли составляет примерно 16 мБк/(с·м²) [21].

Таблица 3

Ранжирование отвалов исследуемых месторождений по степени их радиационной опасности

Участок	Класс радиационной опасности			
	безопасные	потенциально опасные	опасные	особо опасные
Русская, месторождение Дружное	—	P1, P3	—	P2
Интересный, месторождение Интересное	—	—	И2	И1
Курунг 1, месторождение Курунг	—	K16, K17, K18	K14	K11, K12, K13, K15
Курунг 2, месторождение Курунг	K21, K22	K23	—	—
Дрожжевой, месторождение Невское	—	D1, D3	D4	D2
Непроходимый 1, месторождение Северное	—	H11	H13	H12
Непроходимый 2, месторождение Северное	—	H21, H22	—	H23
Минеевский, месторождение Таежное	—	—	M	—
Холодная, месторождение Таежное	—	X11, X12	X2	—
Элькон, месторождение Элькон	—	Э2, Э3	Э1	—
Акин, месторождение Эльконское плато	—	A6, A7	A3, A4, A5	A1, A2

Примечание. Номер отвала — см. табл. 1 и 2; прочерк — отвалы с данной степенью опасности отсутствуют.

Максимальная объемная активность радона была обнаружена внутри штолен и изменялась от 1800 до 7275 Бк/м³, т. е. в данном районе в закрытых помещениях идет опасное накопление ²²²Rn [22].

Также установлено, что помимо радионуклидов ²³⁸U, ²³²Th и ²²⁶Ra изучаемые отвалы содержат высокие концентрации токсичных нерадиоактивных элементов — тяжелых металлов (ТМ): Cu, Pb, Mo, Cd, As, Sb, Tl и Hg, содержания которых в 10–100 раз превышают кларки земной коры. В процессе гипергенного выветривания пород отвалов данные ТМ наряду с радионуклидами накапливаются в поверхностных водах, донных отложениях и водных растениях в значительных количествах, вследствие этого исследуемые радиоактивные отвалы горных пород представляют собой объекты повышенного экологического риска [22]. Последнее особенно актуально в период начала промышленного освоения ЭУРР и требует разработки соответствующих подходов и проведения защитных мероприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате изучения географических особенностей распространения и радиационных параметров отвалов горных пород в Эльконском ураново-рудном районе на территории Южной Якутии установлено, что данные отвалы представляют собой основной источник загрязнения природных ландшафтов. При этом наиболее активные отвалы данного района по своим параметрам приближаются к радиоактивным рудам, и более половины последних относятся к категориям опасных и особо опасных. В условиях преимущественно горного рельефа, холодного гумидного климата, а также преобладания в покрове горно-таежной растительности ²³⁸U и продукты его распада ²²⁶Ra и ²²²Rn активно мигрируют в зоне гипергенеза и загрязняют почвенно-растительный покров и поверхностные воды.

В связи с этим в этом районе в настоящее время сложилась крайне напряженная радиационная обстановка. До последнего времени здесь не проводились никакие природоохранные и дезактивационные работы, нигде не установлены знаки радиационной опасности. Это особенно актуально в период предстоящего в перспективе промышленного освоения ЭУРР в связи со строительством крупнейшего в нашей стране Эльконского горно-металлургического комбината, ориентированного на производство уранового концентрата для атомной отрасли России. Поэтому, безусловно, необходимо оздоровление экологической обстановки на исследуемой территории посредством разработки комплекса специальных реабилитационных мероприятий.

Таким образом, в современных условиях промышленного освоения Южной Якутии актуальной задачей представляется проведение здесь комплексных радиозокологических работ, направленных на выявление источников радиоактивного загрязнения в техногенных зонах, и определение их радиационных характеристик. В связи с этим в дальнейшем нами планируется расширение и углубление подобных исследований в мониторинговом аспекте применительно к основным компонентам природных ландшафтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурцев И.С., Степанова С.К., Колодезникова Е.Н., Архипов Н.Д. Опыт работы по обследованию подземных ядерных взрывов и отвалов урансодержащих руд на территории Якутии // Радиационная безопасность Республики Саха (Якутия). — Якутск: Якут. фил. ГУ «Издательство РАН», 2004. — С. 56–67.
2. Chevychelov A.P., Sobakin P.I. Radioactive contamination of alluvial soils in the taiga landscapes of Yakutia with ¹³⁷Cs, ²²⁶Ra, and ²³⁸U // Eurasian Soil Science. — 2017. — Vol. 50, N 12. — P. 1535–1544.
3. Sobakin P.I., Chevychelov A.P., Gerasimov Y.R. Migration of natural radionuclides in surface waters in the El'kon uranium mining district, southern Yakutia // Geochemistry International. — 2015. — N 11. — P. 1032–1042.
4. Молчанова И.В., Собакин П.И. Подвижность естественных радионуклидов и их поступление в растения в условиях техногенного ландшафта // Экология. — 1996. — № 1. — С. 30–32.
5. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Алданская / Ред. В.И. Серпухов. — М.: Гос. науч.-техн. изд-во лит-ры по геологии и охране недр, 1978. — 99 с. — Лист 0-52-VII.
6. Наумов С.С., Шумилин М.В. Урановые месторождения Алдана // Отечественная геология. — 1994. — № 11/12. — С. 20–23.
7. Крупенников В.А. Урановые (браннеритовые) месторождения в разломах фундамента эпиархейских кратонов // Гидротермальные месторождения урана. — М.: Недра, 1978. — С. 128–138.
8. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Ред. Л.М. Парфенов, М.И. Кузьмин. — М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. — 571 с.
9. Чевычелов А.П., Собакин П.И., Ушницкий В.Е. Ландшафтно-климатические и почвенно-геохимические условия миграции естественных радионуклидов в ландшафтах зоны урановых месторождений Центрального Алдана (Южная Якутия) // Вестн. Том. ун-та. — 2003. — № 3 (IV). — С. 312–314.

10. **Иванов Н.Н.** Ландшафтно-климатические особенности земного шара // Зап. Географ. о-ва. Новая серия. — 1948. — Т. 1. — С. 12–23.
11. **Чевычелов А.П., Собакин П.И.** Миграция естественных радионуклидов в техногенных таежно-мерзлотных ландшафтах Южной Якутии. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. — 138 с.
12. **Разнообразие** растительного мира Якутии / Отв. ред. Н.С. Данилова. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. — 328 с.
13. **Гагина Н.В., Федорцова Т.А.** Методы геоэкологических исследований: Курс лекций. — Минск: Изд-во Белорус. ун-та, 2002. — 98 с.
14. **Инструкция** по работе с сцинтилляционными радиометрами при геологических съемках и поисках / Отв. ред. А.Г. Ветров. — Л.: Рудгеофизика, 1986. — 44 с.
15. **Методика** измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс». — М.: Центр метрологии, 2003. — 16 с.
16. **Маргулис У.Я., Брегадзе Ю.И.** Радиационная безопасность. Принципы и средства ее обеспечения. — М.: Едиториал УРСС, 2000. — 120 с.
17. **Горошко М.В., Малышев Ю.Ф., Кириллов В.Е.** Металлогения урана Дальнего Востока России. — М.: Наука, 2006. — 372 с.
18. **Нормы** радиационной безопасности (НРБ-99): Гигиенические нормативы. — М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999. — 116 с.
19. **Основные** санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99). Ионизирующее излучение, радиационная безопасность СП 2.6.1.799-99. — М.: Минздрав России, 2000. — 98 с.
20. **Хайкович И.М., Мац Н.А., Харламов М.Г.** Классификация месторождений полезных ископаемых по радиационной опасности // Региональная геология и металлогения. — 1999. — № 8. — С. 131–140.
21. **Собакин П.И., Чевычелов А.П., Дьячковский А.П.** Миграция радона в ландшафтах Эльконского урановорудного района (Южная Якутия) // Экология. — 2011. — № 3. — С. 229–232.
22. **Артамонова С.Ю., Мельгунов М.С., Дементьев В.Н., Мирошниченко Л.В.** Отвалы горных выработок Эльконского горста как источники естественных радионуклидов и токсичных элементов // Химия в интересах устойчивого развития. — 2012. — Т. 20, № 3. — С. 305–319.

Поступила в редакцию 25.04.2018

После доработки 23.08.2018

Принята к публикации 19.09.2019