

УДК 553.495:504.062

РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОТВАЛОВ ГОРНЫХ ПОРОД ЗОНЫ ЮЖНАЯ В ЭЛЬКОНСКОМ УРАНОВО-РУДНОМ РАЙОНЕ (ЮЖНАЯ ЯКУТИЯ)

© 2019 г. А. П. Чевычелов^{1*}, П. И. Собакин^{1,**}, А. Н. Горохов^{1,***}

¹Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН,
пр. Ленина, 41, Якутск, 677980 Россия

*E-mail: chev.soil@list.ru,

**E-mail: radioecolog@yandex.ru,

***E-mail: algor64@mail.ru

Поступила в редакцию 20.03.2019 г.

После исправления 6.08.2019 г.

Изучены радиационные параметры отвалов горных пород зоны Южная в Эльконском ураново-рудном районе на территории Южной Якутии, содержание и распределение урана, радия и радона в поверхностных водах, а также U в почвах техногенных ландшафтов на различном удалении от источников радиоактивного загрязнения. Показано, что наиболее активные отвалы по радиационным параметрам приближаются к радиоактивным рудам, при этом мощность их экспозиционной дозы (МЭД) составляет 1600–2150 мкР/ч, эффективная удельная активность (Аэфф) – 20441–23640 Бк/кг, а содержание урана – 1637–1888 мг/кг. Ранжирование изучаемых отвалов по степени радиационной опасности показало, что 12 отвалов из 31 (39%) относятся к категории безопасных, 6 (19%) – к категории потенциально-опасных, а 5 и 8 (16% и 26%) – соответственно к категориям опасных и особо опасных. В условиях горного рельефа, холодного и гумидного климата исследуемой территории данные отвалы горных пород, неравномерно размещенные на площади около 500 км² горно-таежных ландшафтов, являются основным источником радиоактивного загрязнения почвенно-растительного покрова и поверхностных вод. При этом максимальные значения содержания урана, радия и радона в изученных поверхностных водах соответственно составляют 180·10⁻⁷ г/л, 4,7·10⁻¹² г/л и 256,8 Бк/л, что в 100, 8 и 198 раз превышает их фоновые концентрации в водах естественных ландшафтов. В исследованных техногенных зонах отмечается прямая зависимость между интенсивностью загрязнения поверхностных вод и дренируемых ими аллювиальных почв, формирующихся в поймах данных водотоков.

Ключевые слова: горные породы, почвы, поверхностные воды, радиационные параметры, техногенное загрязнение, ранжирование по степени опасности, реабилитация территории.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019665-78>

ВВЕДЕНИЕ

Исследования проводились на территории зоны Южная в Эльконском ураново-рудном районе (ЭУРР), расположенном в центральной части Алданского нагорья на территории Южной Якутии в пределах среднетаежной подзоны мерзлотно-таежной области бореального пояса Восточной Сибири. В состав зоны Южной входят 6 урановых месторождений – Элькон, Эльконское плато, Курунг, Непроходимое, Дружное и Минеевское [5]. В геоморфологическом отношении ЭУРР приурочен к Эльконскому горсту, представляющему собой выступ кристаллических пород фундамента, с которого полностью удалены осадочные отложения.

Кристаллический фундамент территории сложен ниже- и верхнеархейскими гнейсами, кристаллическими сланцами, кварцитами и гранитоидами. В ЭУРР выявлено несколько десятков урановых месторождений и рудопроявлений. Их объединяет принадлежность к единой золото-урановой формации, уран и золото которой связаны с калиевыми метасоматитами зон активизации древних разломов Центрального Алдана [5, 18]. Браннерит – основной рудный минерал, распределен в руде неравномерно [15, 23].

Значительные площади природных ландшафтов в исследуемом районе нарушены в ходе проведения геологоразведочных работ на радиоактивное

сырье. Основная часть крупномасштабных геолого-поисковых работ была проведена здесь в последней трети ушедшего XX в. По данным Госатомнадзора Дальневосточного округа РФ, в процессе детальной геологической разведки было извлечено из недр и складировано на дневную поверхность в виде отвалов более 1 млн т горно-рудной массы. При этом в орографическом отношении большая часть данных отвалов приурочена к ложбинам стока и днищам долин горных рек. Общее количество урана, содержащегося в данной рудной массе, составляет около 2000 т [24].

Цель статьи – изучение условий размещения радиоактивных отвалов горных пород зоны Южная в Эльконском ураново-рудном районе и определение их радиационных параметров, как источников техногенного загрязнения почвенно-растительного покрова и поверхностных вод, а также оценка опасности отвалов для населения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследований являлись отвалы горных пород разной степени радиоактивности, образовавшиеся в зоне Южная в ходе широкомасштабных и детальных геологоразведочных работ [27]. Всего был изучен 31 отвал, которые расположены на 8 техногенных участках шести вышеуказанных урановых месторождений в пределах Эльконского горста (рис. 1).

Горст образовался на месте крупной синклинальной структуры северо-западного направления. Это складчато-глыбовое ступенчатое сооружение, максимальная высота которого 1498 м (голец Медвежий), ограничено со всех сторон разломами. На исследуемой территории в основном можно выделить два главных типа рельефа – эрозионно-тектонический среднегорный рельеф и эрозионно-аккумулятивный рельеф речных долин и террас [4]. Климат исследуемого района может быть охарактеризован как очень континентальный, холодный и супергумидный. Коэффициенты континентальности и увлажнения по Н.Н. Иванову соответственно равны 224 и 1.9. Годовое количество осадков на изучаемой территории составляет 635 мм, а испаряемость – 336 мм, при этом 299 мм выпадающих атмосферных осадков удаляются в виде поверхностного и внутри-грунтового стока [18]. Согласно флористическому районированию [20], исследуемая территория входит в состав Алданского района. Здесь в горах выражена биогеоценотическая поясность, начинающаяся с высоты 650–800 м над ур. м. появляются горные леса, высокогорные редины и редколесья, а выше в подгольцовом поясе преобладают кедровостланиковые сообщества и курумники.

При проведении работ применялись общепринятые географические методы – сравнительно-географический и геохимический [3], а также комплекс различных радиоэкологических методов исследования [2]. Так мощность экспозиционной дозы (МЭД) гамма-излучения определялась с помощью радиометра СРП-68-01 по методике, принятой в геологии и радиационной экологии [10]. При этом измерение МЭД радиометром проводилось, как на высоте 1 м от излучающей поверхности, так и вблизи ее в пределах 0.1 м. Оценка величины мощности дозы гамма-излучения проводилась по среднеарифметическому значению 5 измерений в каждой точке обследования (табл. 1).

В работе использовались как геохимический (миграция радионуклидов), так и радиоэкологический (радиоактивное загрязнение) подходы [19]. Поэтому содержание радионуклидов ^{238}U , ^{226}Ra и ^{232}Th с длительным периодом полураспада (соответственно $4.5 \cdot 10^9$, $1.6 \cdot 10^3$ и $1.4 \cdot 10^{10}$ лет) в данной статье приводится в массовых долях (мг/кг, г/л), а ^{222}Rn с существенно более коротким периодом полураспада (3.8 сут) – в единицах радиоактивности, т.е. Бк/л. В изучаемых образцах горных пород уран, торий и калий определяли γ -спектрометрическим методом на многоканальном анализаторе «Прогресс-Гамма» со сцинтилляционным детектором NaI(Tl) размером 63x63 мм, с 7.3% разрешением по γ – линии ^{137}Cs (666 КэВ). При этом ^{238}U определяли по дочернему ^{226}Ra . Проведены γ -спектрометрические измерения в сосудах Маринели объемом 1 л. Обработку γ -спектров осуществляли матричным методом с помощью программного обеспечения «Прогресс» [16], максимальная погрешность измерения не более $\pm 30\%$. Определение содержания урана в почвах осуществляли рентгеноспектральным методом на приборе АРФ-6М, а в поверхностных водах – лазерно-люминесцентным методом на флюорометре АУФ-101 «Ангара» [26]. Радий в водах определяли эманационным методом на приборе «Альфа-1М» [21]. Чувствительность определения урана в почвах – 2 мг/кг при погрешности определения $\pm 10\%$, а урана и радия в воде – соответственно $2 \cdot 10^{-8}$ и $2 \cdot 10^{-12}$ г/л, при погрешности анализов $\pm 15\%$. Радонометрия проводилась посредством измерения объемной активности радона (ОАР) в изучаемых поверхностных водах с помощью радиометра типа РРА-01М-01 по методике [17]. При этом погрешность определения ОАР максимально составляла 30–40%.

Оценку загрязнения поверхностных вод и почв проводили в зоне техногенного влияния отвалов горных пород участка Курунг 1 месторождения Курунг зоны Южная на примере руч. Пропадающего и аллювиальных почв, сформированных в его пойме на различном расстоянии от источников радиоактивного загрязнения. При этом зна-

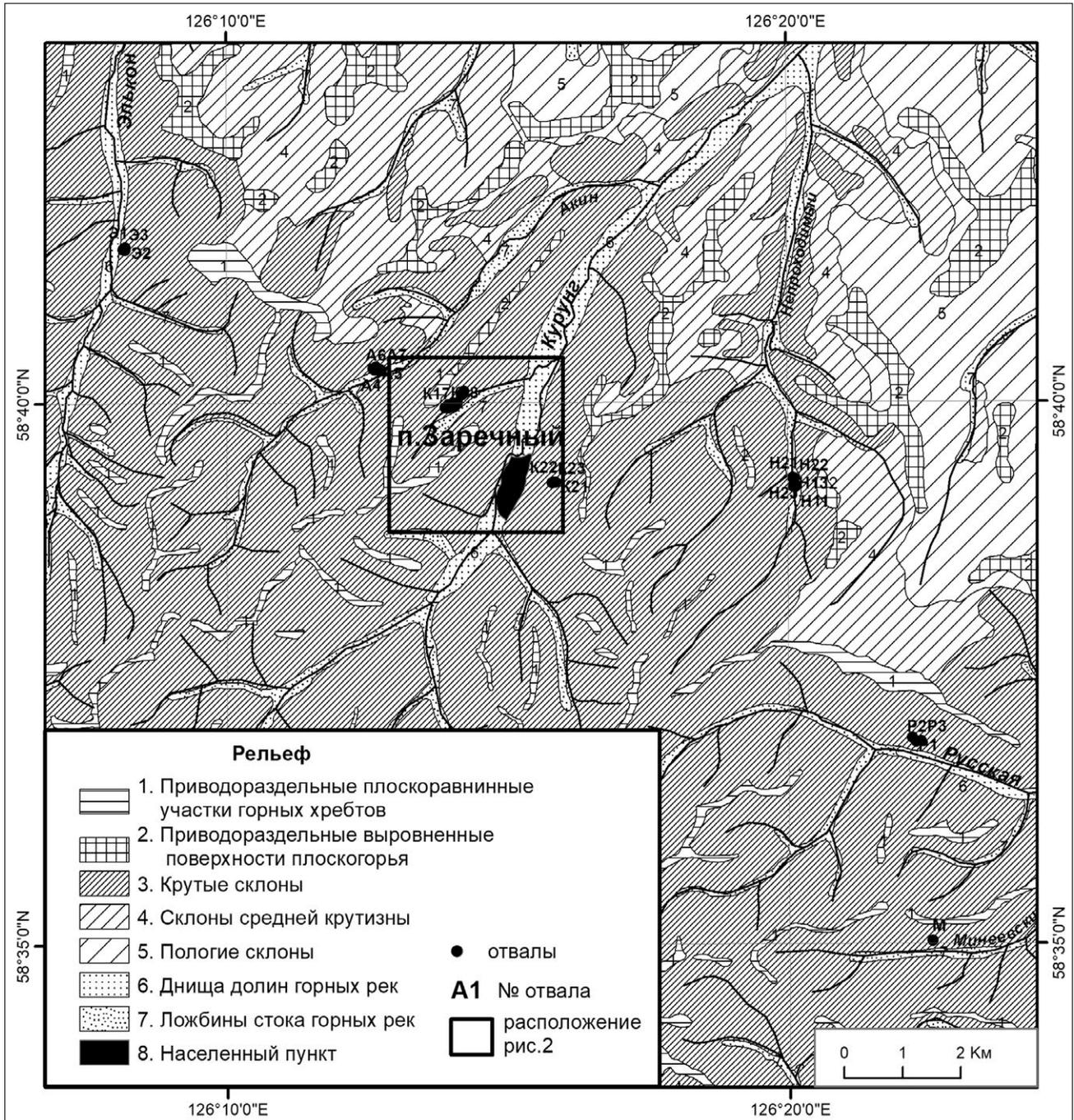


Рис. 1. Размещение радиоактивных отвалов горных пород зоны Южная в Эльконском ураново-рудном районе на территории Южной Якутии.

чения МЭД гамма-излучения вдоль русла ручья определяли по пикетам через каждые 50 м, вплоть до устья (рис. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Гамма-фон Алданского щита изменяется в широких пределах от 5 до 70 мкР/ч, т.е. от минимальных до максимальных значений в 14 раз. При этом средние значения гамма-фона исследуемой

территории колеблются в пределах 5-50 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 [24].

В табл. 1 приведены статистические показатели измерения гамма-фона исследуемых техногенных

Таблица 1. Статистические показатели измерения МЭД (n=5) гамма-излучения на поверхности отвалов исследуемых месторождений

№	Отвал	lim	X±Sx	V
Участок Элькон (Э), месторождение Элькон				
1	Э1	25-80	46±9	46
2	Э2	23-40	29±3	24
3	Э3	21-38	26±3	26
Участок Акин (А), месторождение Эльконское плато				
4	А1	210-2150	896±344	86
5	А2	180-1000	580±153	59
6	А3	104-540	322±83	58
7	А4	54-250	110±37	74
8	А5	62-210	100±29	64
9	А6	39-71	52±6	26
10	А7	34-60	43±4	23
Участок Курунг 1 (К1), месторождение Курунг				
11	К11	660-1600	882±181	46
12	К12	200-740	508±119	52
13	К13	46-250	140±36	57
14	К14	46-100	74±11	33
15	К15	56-200	120±23	43
16	К16	26-56	44±5	27
17	К17	36-110	72±13	39
18	К18	40-220	115±30	58
Участок Курунг 2 (К2), месторождение Курунг				
19	К21	11-25	16±2	36
20	К22	27-40	35±3	20
21	К23	10-13	11±1	11
Участок Непроходимый 1 (Н1), месторождение Непроходимое				
22	Н11	21-320	152±55	82
23	Н12	30-175	70±27	85
24	Н13	34-420	167±70	93
Участок Непроходимый 2 (Н2), месторождение Непроходимое				
25	Н21	40-68	52±5	21
26	Н22	52-280	109±44	90
27	Н23	52-115	86±12	30
Участок Русская (Р), месторождение Дружное				
28	Р1	72-157	119±15	29
29	Р2	54-322	157±45	64
30	Р3	22-28	25±1	10
Участок Минеевский (М), месторождение Минеевское				
31	М	28-157	97±21	50

Примечание. Статистические показатели: lim – пределы изменения содержаний, мкр/час; X±Sx – среднее и его ошибка, мкр/час; V – коэффициент вариации, %.

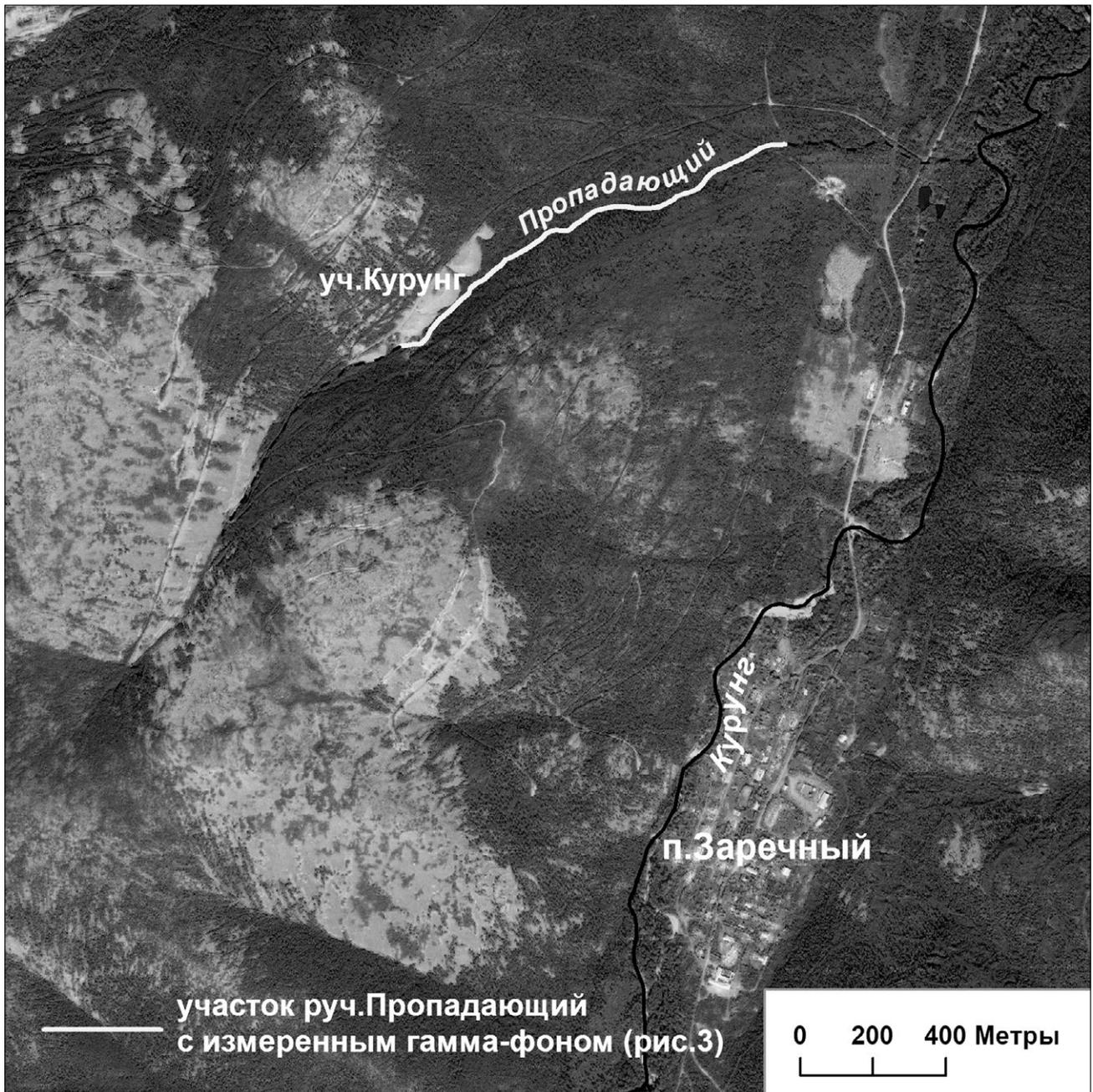


Рис. 2. Фрагмент космического снимка участка Курунг зоны Южная.

ландшафтов, полученные для 31 отвала законсервированных горных выработок (штольни и шахты). Гамма-фон на поверхности отвалов изменяется от 11 до 2150 мкР/ч. Наиболее активные отвалы расположены в бассейне р. Курунг, на участках с условными названиями Акин и Курунг 1. На территории этих участков в отдельных точках гамма-фон достигал до 3000 мкР/ч. Учитывая то, что средние значения гамма-фона на поверхности радиоактивных отвалов зоны Южная изменяются в пределах 11-896 мкР/ч, а на территории Алданского щита – соответственно 5-50 мкР/ч,

необходимо констатировать, что 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 [14], радиационный фон, зарегистрированный на поверхности отвалов и за их пределами выше этих значений, можно считать повышенным.

Как указано выше, средние значения гамма-фона на исследованных отвалах варьируют значительно, на это также указывают значения

коэффициентов вариации (V), которые изменяются от 4 до 93%, т.е. кратно. При этом только на 10 отвалах из 31 (32%) $V < 33\%$, а на 19 или на большей части отвалов (68%) $V > 33\%$, т.е. вариабельность гамма-фона в большей степени оказалась высокой (см. табл. 1).

Касаясь оценки регионального радиогеохимического фона в пределах ЭУРР, 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. При ультраметаморфизме отмечена устойчивая тенденция возрастания содержания урана в ряду гранитоидных пород: чарнокиты – гранулиты и гнейсограниты – аляскитовые граниты – кварц-полевошпатовые метасоматиты и бластомилониты [6].

Результаты лабораторного гамма-спектрального анализа показали, что содержание радионуклидов в мелкоземе отвалов горных пород изменяется в широких пределах: урана (по радию) от 2 до 1888 мг/кг, тория – 2-80 мг/кг, а калия от 0.8 до 4.5 мг/кг (табл. 2). При этом особенно изменчивы концентрации урана, почти в пределах трех порядков величин (в 1000 раз). Средние содержания урана в горных породах Эльконского ураново-рудного района в условиях регионального фона составляют 0.9-5.8 мг/кг (изменяются в 6 раз), а породах отвалов средние содержания U увеличиваются в 2-326 раз. Максимальные фиксируемые концентрации урана в породах отвалов зоны Южная (1900 мг/кг) соответствуют верхнему пределу средних содержаний данного элемента в рудах ЭУРР (1200-1800 мг/кг) [5]. Концентрация тория в породах отвалов – 2-80 мг/кг (изменяется в 40 раз), но не превышает пределы колебаний его концентраций регионального фона (1.5-134.0 мг/кг) в горных породах в пределах исследуемого района [6].

Концентрации тория и калия в мелкоземе отвалов варьируют незначительно, и в среднем соответствуют их уровню кларковых значений в горных породах. Тогда как содержание урана в породах отвалов, может превышать его кларковые значения в горных породах на несколько порядков величин. Из полученных данных ясно, что основным источником, создающим гамма-фон на поверхности отвалов, является гамма-излучение урана и его продуктов распада. Поэтому в отвалах для точек с наиболее высокими значениями гамма-фона характерны и более высокие концентрации урана. Последнее также подтверждается рассчитанными коэффициентами корреляции для содержания ^{238}U , ^{232}Th и ^{40}K в породах отвалов и гамма-фоном, которые соответственно состави-

ли 0.920, 0.684 и 0.141. При этом для ^{238}U и ^{232}Th коэффициенты корреляции оказались статистически достоверными ($n=31$, $p=0.95$, $r_{st}=0.349$). Таким образом, основными источниками гамма-фона на поверхности отвалов являются в большей степени изотопы U и Th . Исследуемые отвалы 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, также оценивали эффективную удельную активность радионуклидов по формуле, принятой в нормах радиационной безопасности (НРБ-99/2009)¹:

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1.3A_{Th} + 0.09A_K,$$

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

Эффективная удельная активность в мелкоземе обследованных отвалов изменяется от 68 до 23640 Бк/кг. В большинстве радиоактивных рудных отвалов процентное отношение порядка 1-5% эффективной удельной активности радионуклидов приходится на долю ^{40}K и ^{232}Th . Отметим, что, как и предполагалось, наиболее высокие значения $A_{эфф}$ характерны для отвалов, расположенных в бассейне р. Курунг зоны Южной, характеризующихся также наиболее высокими значениями гамма-фона.

Интегрально оценивая влияние радиоактивных отвалов на состояние окружающей среды в ЭУРР, необходимо констатировать, что по масштабам оно сопоставимо с таковым, отмечаемым в Центральной Азии, на территории Киргизии, Таджикистана и Узбекистана, где добыча урана ведется с 1943 г., и накоплены в отвалах большие объемы радиоактивных горных пород [8, 9, 11]. При этом по максимальным значениям МЭД отвалы горных пород ЭУРР приближаются к характерным для отвалов урановых месторождений Торгойской группы и Янгибадского рудного поля, а по параметрам $A_{эфф}$ – к месторождениям Торгойской группы и месторождению Учкудук (табл. 3). Вместе с тем, учитывая природные условия исследуемого района (горный крутосклонный рельеф, холодный и гумидный климат), необходимо отметить, что масштабы и степень

¹ Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Гигиенические нормативы. СанПин 2.6.1.2523-09. М.: Центр нормативно-технической информации «Медиа Сервис», 2019. 118 с. <http://docs.cntd.ru/document/902170553>

Таблица 2. Содержание и эффективная удельная активность радионуклидов в мелкоземме отвалов горных пород исследуемых месторождений

№ п/п	Отвал	мг/кг			Аэфф, Бк/кг
		⁴⁰ K	²³⁸ U	²³² Th	
Участок Элькон (Э), месторождение Элькон					
1	Э1	1.7	208	8	2405
2	Э2	3.9	34	7	569
3	Э3	3.1	5	9	194
Участок Акин (А), месторождение Эльконское плато					
4	А1	-	1637	59	20441
5	А1	-	724	24	9029
6	А2	2.3	120	5	1537
7	А2	-	906	25	11273
8	А3	2.3	285	13	3633
9	А3	3.0	322	15	4117
10	А3	2.2	140	8	1871
11	А4	1.4	191	12	2448
12	А5	1.1	81	8	1066
13	А6	4.4	39	3	599
14	А7	3.5	37	3	280
Участок Курунг 1 (К1), месторождение Курунг					
15	К11	-	205	2	2531
16	К11	1.4	695	8	8626
17	К11	-*	1888	80	23640
18	К12	2.4	290	19	3728
19	К12	3.9	596	16	7516
20	К12	0.8	776	18	9658
21	К13	2.8	45	8	668
22	К13	2.8	94	10	1298
23	К13	3.6	554	27	7049
24	К13	1.8	586	25	7384
25	К14	1.8	193	11	2477
26	К15	1.2	351	25	4478
27	К16	2.3	38	16	611
28	К17	1.3	16	3	245
29	К18	2.1	62	2	827
Участок Курунг 2 (К2), месторождение Курунг					
30	К21	1.1	2	3	68
31	К22	1.1	3	3	77
32	К23	2.8	13	3	248
Участок Непроходимый 1 (Н1), месторождение Непроходимое					
33	Н11	1.1	8	16	210
34	Н12	1.1	267	17	3372
35	Н13	3.4	75	5	1038
Участок Непроходимый 2 (Н2), месторождение Непроходимое					
36	Н21	4.5	63	9	939
37	Н22	2.0	15	4	257
38	Н23	-	388	21	4881
Участок Русская (Р), месторождение Дружное					
39	Р1	3.7	58	27	951
40	Р2	3.7	338	22	4369
41	Р3	2.0	3	10	697
Участок Минеевский (М), месторождение Минеевское					
42	М	4.3	93	11	1314

*Здесь и далее: прочерк – содержание не определено.

радиоактивного загрязнения основных компонентов природных ландшафтов в ЭУРР будут более значительными, чем в Центральной Азии.

В соответствии с известным руководством, все источники минерального сырья, содержащие природные радионуклиды, по степени радиационной опасности подразделяются на 4 класса². Согласно этой классификации, 38.7% всех обследованных отвалов зоны Южная попадают в I класс, 19.4% и 16.1% соответственно в классы II и III, а остальные 25.8% – в класс IV. При этом из 31 отвала 13 (или 42%) попадают по средним значениям эффективной удельной активности естественных радионуклидов в класс опасных и особо опасных (табл. 4).

В условиях горного рельефа и гумидного климата исследуемой территории происходят интенсивный вынос ²³⁸U и продуктов его распада из отвалов горных пород по миграционным потокам и значительное радиоактивное загрязнение различных компонентов природных ландшафтов. Проиллюстрируем это на примере поверхностных вод руч. Пропадающего, дренирующего радиоактивные отвалы участка Курунг 1 месторождения Курунг зоны Южная (см. рис. 2). Пробы воды ручья отбирались как выше, так и ниже по его течению от радиоактивных отвалов на фиксированных расстояниях (500 м) от источников загрязнения. Помимо этого, отбирались также

пробы вод рек Курунга, Элькона и Алдана на естественных ландшафтах, находящихся вне зон техногенного загрязнения.

Исследуемые радионуклиды в процессе водной миграции по-разному отражают масштабы и степень техногенного загрязнения в зоне влияния радиоактивных отвалов (табл. 5). Так U в максимальной концентрации здесь обнаружен в 500 м, а Ra – в 1000 м от начала отвалов. В то время как Rn в максимальном количестве зафиксирован в самом начале отвалов. Техногенная концентрация U в водах руч. Пропадающего (Kпр=11-100) численно сопоставима с отмечаемой для Rn (Kпр=2-198). В наименьшей степени в водах в зоне загрязнения увеличивается содержание Ra (Kпр=3.7-7.8). Kпр рассчитывали как отношение содержания радионуклида в точке обследования в зоне влияния радиоактивных отвалов техногенного ландшафта к минимальной концентрации последнего, отмечаемой в водах естественных ландшафтов.

За фоновые концентрации радионуклидов приняты следующие их содержания: для U – $1.8 \cdot 10^{-7}$ г/л, Ra – $0.6 \cdot 10^{-12}$ г/л, Rn – 1.3 Бк/л. Отмечено уменьшение значений отношения Ra/U в 10-20 раз в водах техногенных ландшафтов по сравнению с естественными, в связи с увеличением в них подвижности U по сравнению с Ra. Это в целом может рассматриваться как негативное обстоятельство по отношению к гидробиоте и водной растительности в связи с высокой токсичностью урана.

Как видно на всем обследованном авторами 1.5 км отрезке руч. Пропадающего вплоть до его устья фиксируется влияние техногенного загрязнения,

² Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения. СанПиН 2.6.1.2800-10. М.: Центр нормативно-технической информации «Медиа Сервис», 2019. 41 с. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902256355>

Таблица 3. Некоторые радиационные параметры отвалов горных пород урановых месторождений России и Зарубежья

№ п/п	Регион, страна	Месторождения	Параметры		Источник
			МЭД, мкР/ч	Аэфф, Бк/кг	
Россия					
1	Северо-Восточная Якутия	Месторождения Томторской группы	25-227	300-2100	[26]
2	Юго-Западная Якутия	Месторождения Торгойской группы	40-1400	370-14514	[14]
3	Южная Якутия	Месторождения Эльконской группы	11-896 (3000)*	194-23640	Табл.1, 2
Центральная Азия					
4	Узбекистан	Месторождения Янги-абадского рудного поля	250-300 (1500)	До 7400 и более	[12]
5	Узбекистан	Месторождение Учкудук	40-300	До 19000	[29]
6	Кыргызстан	Урановая провинция Майлуу-Суу	30-60 (1000)	-	[8, 10]

*В скобках отдельные максимальные значения МЭД.

Таблица 4. Ранжирование отвалов исследуемых месторождений по степени их радиационной опасности

№ п/п	Участок	Класс радиационной опасности			
		I	II	III	IV
1	Элькон, месторождение Элькон	Э2, Э3		Э1	
2	Акин, месторождение Эльконское плато	А6, А7	А5	А3, А4	А1, А2
3	Курунг 1, месторождение Курунг	К16, К17	К18	К14	К11, К12, К13, К15
4	Курунг 2, месторождение Курунг	К21, К22, К23			
5	Непроходимый 1, месторождение Непроходимое	Н11	Н13	Н12	
6	Непроходимый 2, месторождение Непроходимое	Н22	Н21		Н23
7	Русская, месторождение Дружное	Р3	Р1		Р2
8	Минеевский, месторождение Минеевское		М		

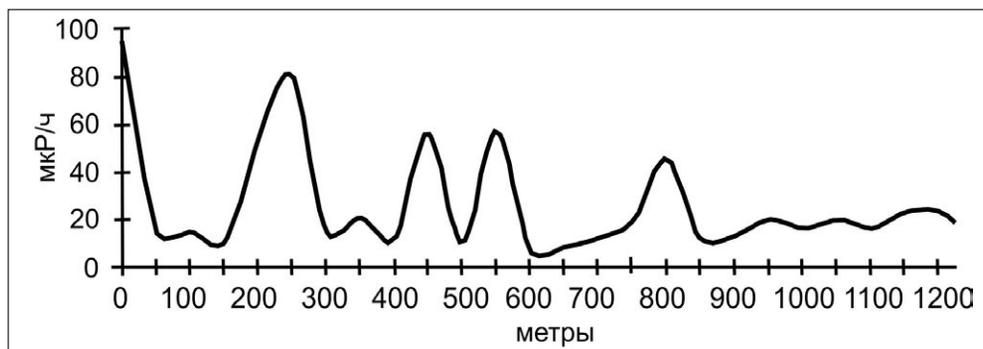
и концентрации радионуклидов здесь все еще не соответствуют их фоновому уровню (см. табл. 5). Последнее также подтверждается замерами гамма-фона, проведенными вдоль русла ручья (рис. 3). Здесь водное рассеяние радионуклидов хорошо фиксируется гамма-съемкой на низкой пойме и в русле ручья на удалении от отвалов вплоть до 2 км.

В период промышленного освоения ЭУРР будет применяться технология подземного скважного выщелачивания для извлечения урана из руд, запасы которого здесь составляют около 350 тыс. т. При этом проектная производительность мощного Эльконского гидрометаллургического комбината (ГМК) будет составлять 5000 т урана в год [12]. Учитывая то, что здесь глубина распространения отрицательных температур превышает 600 м от поверхности, нужно также предполагать большие масштабы и высокую степень радиоактивного загрязнения не только поверхностных, но также и подземных вод.

В свою очередь воды руч. Пропадающего являются источником радиоактивного загрязнения аллювиальных почв, которые здесь формируются на низкой пойме. Почвы – это центральные блоки

ландшафтов, аккумулирующие техногенные загрязнения, в том числе и радиоактивные. Поэтому оценка содержания и распределения радионуклидов в почвах техногенных ландшафтов в сравнении с фоновыми незагрязненных территорий позволяет надежно и четко фиксировать как степень, так и одновременно характер их радиоактивного загрязнения по основным потокам рассеяния радионуклидов.

Интенсивность накопления урана в почвах оценивалась на основе его средневзвешенного значения, отнесенного к мощности отдельных почвенных горизонтов (слоев) и содержания в них данного радионуклида. В качестве фонового значения для почв принято содержание урана равно 3 мг/кг. Внутривертикальное распределение урана во всех трех почвенных разрезах неравномерное, что связано со слоистостью состава и свойств, которая является генетическим признаком пойменных (аллювиальных) почв. Причем, в почве разреза 2Г-06 отмечается два почти равнозначных по содержанию максимума в распределении ^{238}U на глубинах 4-14 и 42-52 см. В почве разреза 1Г-06 распределение этого радионуклида еще более сложное: основной максимум (467 мг/кг) выделяется на

**Рис. 3.** Гамма-фон в зоне техногенного рассеяния радионуклидов руч. Пропадающий.

глубине 1-4 см, затем меньший по значению пик (121 мг/кг) – на глубине 9-11 см, и, наконец, еще один пик (89 мг/кг) – на глубине 55-65 см. В почвенном профиле разреза 6ЭГ-03 зафиксирован всего один пик содержания урана на глубине 8-11 см в горизонте В над погребенным горизонтом

Таблица 5. Содержание радионуклидов в поверхностных водах техногенных и естественных ландшафтов Южной Якутии

N _{n/n}	Место отбора проб	U, н·10 ⁻⁷ г/л	Ra, н·10 ⁻¹² г/л	Rn, Бк/л	Ra/U
Техногенный участок Курунг 1					
1	Руч. Пропадающий, начало отвалов	$\frac{140^*}{78}$	$\frac{2.2}{3.7}$	$\frac{256.8}{198}$	1.6·10 ⁻⁷
2	Там же, 500 м ниже отвалов	$\frac{180}{100}$	$\frac{2.6}{4.3}$	$\frac{44.8}{34}$	1.4·10 ⁻⁷
3	Там же, 1000 м ниже отвалов	$\frac{93}{52}$	$\frac{4.7}{7.8}$	$\frac{10.7}{8}$	5.0·10 ⁻⁷
4	Там же, 1500 м ниже отвалов	$\frac{20}{11}$	-	$\frac{2.5}{2}$	-
Естественные ландшафты					
5	Руч. Пропадающий, 500 м выше начала отвалов	1.8	2.0	=	110·10 ⁻⁷
6	Р. Курунг, среднее течение	3.3	0.7	3.5	21·10 ⁻⁷
7	Р. Элькон, нижнее течение	2.3	0.6	1.3	25·10 ⁻⁷
8	Р. Алдан, г. Томмот	4.6	0.6	1.5	13·10 ⁻⁷

*Над чертой приведено значение концентрации радионуклида, под чертой – значение коэффициента превышения над фоновым содержанием (Кпр).

АВ. Интенсивность накопления ²³⁸U в исследуемых аллювиальных почвах падает по мере удаления от радиоактивных отвалов, что полностью подтверждается значениями коэффициента превышения над фоновым содержанием (Кпр). Так, если на расстоянии 500 м от отвалов (разр. 2Г-06) Кпр=211, то в 1350 м (разр. 1Г-06) Кпр=29, а в почве разр. 6ЭГ-03 на расстоянии 8 км от источника загрязнения отмечается уже только фоновое содержание ²³⁸U (Кпр=1.2). Результаты анализа максимального содержания валового ²³⁸U и почвах техногенных ландшафтов зоны Южная ЭУРР (табл. 6, разр. 2ЭГ-06), необходимо отметить, что оно (1000-1120 мг/кг) в 4 раза и более превышало максимальное количество (259 мг/кг), которое отмечалось в слое 0-20 см почв техногенно-трансформированных ландшафтов Стрельцовского Мо-У рудного поля в зоне влияния предприятия по добыче и переработке урановых руд [1].

Исходя из приведенных данных, характеризующих радиационные параметры горных пород отвалов, а также почв и поверхностных вод в техногенных зонах, нужно констатировать, что радиационная обстановка в исследуемом районе крайне напряженная. Хотя в настоящее время этот район является малонаселенным, он часто посещается туристами, охотниками, ягодниками и грибниками из-за его доступности.

До последнего времени здесь не проводились никакие природоохранные и дезактивационные работы, нигде не установлены знаки радиационной опасности. Это особенно актуально в пе-

риод предстоящего в перспективе промышленного освоения ЭУРР в связи со строительством крупнейшего в нашей стране Эльконского ГМК, ориентированного на производство уранового концентрата для атомной отрасли России. В связи с этим необходимо оздоровление экологической обстановки на исследуемой территории посредством разработки и выполнения специальной программы по реабилитации радиоактивно-загрязненных ландшафтов в ЭУРР. Данная программа должна включать комплекс специальных мероприятий по промышленной переработке наиболее активных и радиационно-опасных отвалов горных пород с целью извлечения урана, а также попутно золота и других элементов, рекультивации и захоронению промышленных отходов в соответствии с нормами и правилами^{3,4}.

ВЫВОДЫ

1. Основные источники радиоактивного загрязнения почвенно-растительного покрова и поверхностных вод зоны Южная в Эльконском ураново-рудном районе на территории Южной

³ Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010). Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. М.: Центр нормативно-технической информации «Медиа Сервис», 2010. 84 с. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293816/4293816468.htm>

⁴ Санитарные правила ликвидации, консервации и перепрофилирования предприятий по добыче и переработке радиоактивных руд (СП ЛКП-91). М.: Минздрав СССР, 1991. 68 с. <https://docplan.ru/Index2/1/4293777/4293777747.htm>

Таблица 6. Содержание U в аллювиальных почвах Южной Якутии в техногенных зонах на различном удалении от источников радиоактивного загрязнения

Координаты и местоположение № разреза и название почвы	Глубина, см	Горизонт	Содержание U, мг/кг	Кпр
58°40'08.3" N, 126°14'35.6" E, Н= 662.0 м Пойма руч. Пропадающего, дренирующего отвалы участка Курунг 1, в 500 м от начала отвалов. Разрез 2Г-06, почва: аллювиальная темногумусовая	0-3	A0A1	524	175
	4-14	A1	1000	333
	18-28	BC	161	54
	32-42	BC	282	94
	42-52	[AB]	1120	373
	Среднее *			633
58°42'11.8" N, 126°15'29.9" E, Н= 627.9 м Пойма руч. Пропадающего, в 1350 м от начала отвалов на участке сухого русла данного ручья. Разрез 1Г-06, почва: аллювиальная слоистая	0-1	A0	425	142
	1-4	A1	467	156
	4-9	BC1	27	9
	9-11	[AB]	121	40
	15-25	C1	11	3.7
	35-45	C1	23	7.7
	55-65	C2	89	30
Среднее			88	29
58°42'46,0" N, 126°18'16.4" E, Н= 542.8 м Пойма в долине среднего течения р. Курунг, остров в 8 км от отвалов участка Курунг 1 вниз по течению. Разрез 6ЭГ-03, почва: аллювиальная темногумусовая	0-2	A0	2	0.7
	2-8	A1	3	1
	8-11	B	9	3
	11-14	[AB]	6	2
	14-19	BC	2	0.7
	19-29	CD	3	1
Среднее			3.7	1.2

*Средневзвешенное значение для почвенного профиля.

Якутии – 31 отвал горных пород, неравномерно размещенных на общей площади около 500 км² горно-таежных мерзлотных ландшафтов.

2. Отдельные наиболее активные отвалы по своим радиационным параметрам приближаются к радиоактивным рудам. Так, максимальные значения МЭД здесь составляют 1600-2150 мкР/ч, $A_{эфф}$ – 20441-23640 Бк/кг, а содержание урана – 1637-1888 мг/кг. Ранжирование изучаемых отвалов по степени их радиационной опасности в соответствии с известным критерием $A_{эфф}$ показало, что 12 отвалов (39%) относятся к категории безопасных, 6 (19%) – к категории потенциально опасных, а 5 и 8 (16% и 26%) – соответственно к категории опасных и особо опасных.

3. Максимальные значения содержания урана, радия и радона в изученных поверхностных водах соответственно составляют $180 \cdot 10^{-7}$ 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. При этом техногенное загрязнение фиксируется, как правило, на расстоянии до 2 км от радиоактивных отвалов горных пород.

4. Интенсивность накопления урана в аллювиальных почвах данного района падает по мере удаления от отвалов, что полностью подтверждается значениями коэффициента относительного превышения над фоновым уровнем (Кпр). Так,

если на расстоянии 500 м от отвалов Кпр почвы для U был равен 211, то в 1350 м Кпр – 29, а в 8 км ниже – только 1.2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Величкин В.И., Чуднянцева И.И.* Ландшафтно-геохимические исследования при оценке радиоэкологического состояния окружающей среды в зоне влияния уранодобывающего и перерабатывающего комплекса (на примере Стрельцовского Мо-U рудного поля) // Геоэкология. 2009. № 2. С. 99-114.
2. *Витько В.И., Коваленко Г.Д., Никитин В.М., Чеканов Н.А.* Радиоэкология. Москва-Белгород: Изд-во Белгородского государственного университета, 2002. 158 с.
3. *Гагина Н.В., Федорцова Т.А.* Методы геоэкологических исследований: курс лекций. Минск: БГУ, 2002. 98 с.
4. Геологическая карта СССР масштаба 1:200000. Серия Алданская. Лист 0-52-VII. Москва, 1978. 99 с.
5. Геолого-промышленные типы урановых месторождений стран СНГ / Г.А. Машковцев (ред.). М.: ВИМС, 2008. 72 с.
6. *Горошко М.В., Мальшев Ю.Ф., Кириллов В.Е.* Металлогения урана Дальнего Востока России. М.: Наука, 2006. 372 с.

7. *Дженбаев Б.М.* Радиоэкологическая оценка урановых хвостохранилищ и их влияние на биосферу // Известия НАН КР. 2009. № 4. С. 49-53.
8. *Дженбаев Б.М., Калдыбаев Б.К., Жолдолбиев Б.Т.* Проблемы радиоэкологии и радиационной безопасности бывших урановых производств в Кыргызстане // Радиационная биология. Радиоэкология. 2013. Т. 53. № 4. С. 428-431.
9. *Дженбаев Б.М., Жолдолбиев Б.Т.* Современное состояние урановых хвостохранилищ и отвалов на территории Кыргызской Республики // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность: матер. Междунар. конф. Севастополь: СГУ, 2017. С. 381-384.
10. Инструкция по работе с сцинтилляционными радиометрами при геологических съемках и поисках / А.Г. Ветров (ред.). Л.: Рудгеофизика, 1986. 44 с.
11. *Кадырходжаев А.Ф., Купченко В.П.* Размещение отходов добычи урана на территории Центральной Азии // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: матер. Междунар. конф. Томск: ТПУ, 2009. С. 232-234.
12. *Камнев В.Н., Михайлов Ю.В., Морозов В.Н., Татаринов В.Н.* Некоторые аспекты разработки резервных урановых месторождений Южной Якутии // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2008. № 6. С. 58-64.
13. *Ложников Б.Н.* Обследование урансодержащих отвалов горных пород на территории Якутии // Радиационная безопасность Республики Саха (Якутия): матер. 2-й научно-практ. конф. 16-18 декабря 2003 г. Якутск: ЯФГУ "Изд-во СО РАН", 2004. С. 284-292.
14. *Маргулис У.Я., Брегадзе Ю.И.* Радиационная безопасность. Принципы и средства ее обеспечения. М.: Эдиториал УРСС, 2000. 120 с.
15. *Машиковцев Г.А., Константинов А.К., Мигута А.К., Шумилин М.В., Цветочкин В.Н.* Уран Российских недр. М.: ВИМС, 2010. 850 с.
16. Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра с программным обеспечением "Прогресс". М.: Центр метрологии, 2003. 16 с.
17. Методика экспрессного измерения объемной активности ^{222}Rn с поверхности земли с помощью радиометра радона типа РРА. М., 2006. С. 3-8.
18. *Наумов С.С., Шумилин М.В.* Урановые месторождения Алдана // Отечественная геология. 1994. № 11/12. С. 20-23.
19. Определение урана рентгеноспектральным методом. М.: Мингео СССР, 1983. 10 с.
20. Разнообразие растительного мира Якутии / Н.С. Данилова (ред.). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. 328 с.
21. Радиогеохимические исследования. Методические рекомендации / А.А. Смыслов (ред.). М.: Мингео СССР, 1974. 139 с.
22. *Собакин П.И., Герасимов Я.Р., Перк А.А.* Радиоэкологическая обстановка в местах геолого-разведочных работ и добычи радиоактивного сырья в Якутии // Атомная энергия. Т. 117. Вып. 4. 2014. С. 235-238.
23. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Л. М. Парфенов, М. И. Кузьмин (ред.). М.: Наука/Интерпериодика, 2001. 571 с.
24. *Чевычелов А.П., Собакин П.И.* Миграция естественных радионуклидов в техногенных таежно-мерзлотных ландшафтах Южной Якутии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 138 с.
25. *Шеметов П.А., Миносьянц В.А., Гурунов В.А.* Охрана окружающей среды и обеспечение радиационной безопасности при добыче урана // Недропользование – XXI век. 2008. № 4. С. 73-77.
26. *Якубович А.П., Зайцев Е.И., Прижиялговский С.М.* Ядернофизические методы анализа горных пород. М.: Энергоатомиздат, 1982. 242 с.
27. *Chevychelov A.P., Sobakin P.I.* Sources of Radioactive Contamination of Frozen Taiga Landscapes in Southern Yakutia / Satoshi Y., Wenxu H. (ed.) // Radioactive Waste: Sources, Types and Management. 2012. P. 127-145.

REFERENCES

1. Velichkin, V.I., Chudnyavtseva, I.I. *Landshaftno-geokhimicheskie issledovaniya pri otsenke radioekologicheskogo sostoyaniya okruzhayushchei sredy v zone vliyaniya urandobyvayushchego i pererabatyvayushchego kompleksa (na primere Strel'tsovskogo Mo-U rudnogo polya)* [Landscape-geochemical studies in assessing the radioecological status of the environment in the zone of influence of a uranium mining and processing complex (by the example of Strel'tsovskii Mo-U ore field)]. *Geoekologiya*, 2009, no. 2, pp. 99-114. (in Russian)
2. Vit'ko, V.I., Kovalenko, G.D., Nikitin, V.M., Chekanov, N.A. *Radioekologiya* [Radioecology], Moskva-Belgorod, izd-vo Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta, 2002, 158 p. (in Russian)
3. Gagina, N.V., Fedortsova, T.A. *Metody geoekologicheskikh issledovaniy: Kurs lektsii* [Methods of geoecological studies: a course of lectures], Minsk: BGU Publ., 2002. 98 p. (in Russian)
4. *Geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:200000. Seria Aldanskaya. List 0-52-VII* [Geological map of the USSR, scale 1:200000. Series Aldan. Sheet 0-52-VII], Moscow, 1978, 99 p. (in Russian)

5. *Geologo-promyshlennyye tipy uranovykh mestorozhdenii stran SNG* [Geological and industrial types of uranium deposits in the CIS countries], Mashkovtsev, G.A., Ed., Moscow, SIMS, 2008. 72 p. (in Russian)
6. Goroshko, M.V., Malyshev, Yu.F., Kirillov, V.E. *Metallogeniya urana Dal'nego Vostoka Rossii* [Uranium metallogeny of the Russian Far East], Moscow, Nauka, 2006. 372 p. (in Russian)
7. Dzhenbaev, B.M. *Radioekologicheskaya otsenka uranovykh khvostokhranilishch i ikh vliyanie na biosferu* [Radiological evaluation of uranium tailings and their impact on the biosphere]. *Izvestiya NAN KR*, 2009, no. 4, pp. 49-53. (in Russian)
8. Dzhenbaev, B.M., Kaldybaev, B.K., Zholdolbiev, B.T. *Problemy radioekologii i radiatsionnoi bezopasnosti byvshikh uranovykh proizvodstv v Kyrgyzstane* [Problems of radioecology and radiation safety of the former uranium production in Kyrgyzstan]. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*, 2013, vol. 53, no. 4, pp. 428-431. (in Russian)
9. Dzhenbaev, B.M., Zholdolbiev, B.T. *Sovremennoe sostoyanie uranovykh khvostokhranilishch i otvalov na territorii Kyrgyzskoi Respubliki* [Modern state of uranium tailings and waste dumps in the territory of the Kyrgyz Republic]. *Ekologicheskaya, promyshlennaya i energeticheskaya bezopasnost': mat. Mezhd. konf.* [Environmental, industrial and energy security/ Proc. Int. Conf.], Sevastopol, SGU Publ., 2017, pp. 381-384. (in Russian)
10. *Instruktsiya po rabote s stsintillyatsionnymi radiometrami pri geologicheskikh s'yomkakh i poiskakh* [Instructions for working with scintillation radiometers for geological surveys and searches], Vetrov, A.G., Ed., Leningrad, Rudgeofizika, 1986, 44 p. (in Russian)
11. Kadyrkhodzhaev, A.F., Kupchenko, V.P. *Razmeshchenie otkhodov dobychi urana na territorii Tsentral'noi Azii* [Disposal of uranium mining waste in the territory of Central Asia]. *Radioaktivnost' i radioaktivnye elementy v srede obitaniya cheloveka: mat. Mezhd. konf.* [Radioactivity and radioactive elements in human habitat: Proc. Int. Conf.], Tomsk, 2009, pp. 232-234. (in Russian)
12. Kamnev, V.N., Mikhailov, Yu.V., Morozov, V.N., Tatarinov, V.N. *Nekotorye aspekty razrabotki rezervnykh uranovykh mestorozhdenii Yuzhnoi Yakutii* [Some aspects of the development of reserve uranium deposits in southern Yakutia]. *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*, 2008, no. 6, pp. 58-64. (in Russian)
13. Lozhnikov, B.N. *Obsledovanie uransoderzhashchikh otvalov gornykh porod na territorii Yakutii* [Survey on uranium-bearing waste rock dumps in the territory of Yakutia]. *Radiatsionnaya bezopasnost' Respubliki Sakha (Yakutiya). Mat. 2i nauchno-praktich. konf.* [Radiation safety of the Sakha Republic (Yakutia). Proc. 2nd Intern. Sci.-Practical Conf.], Yakutsk, SO RAN Publ., 2004, pp. 284-292. (in Russian)
14. Margulis, U.Ya., Bregadze, Yu.I. *Radiatsionnaya bezopasnost'. Printsipy i sredstva yeye obespecheniya* [Radiation safety. Principles and means to ensure it], Moscow, Editorial URSS Publ., 2000, 120 p. (in Russian)
15. Mashkovtsev, G.A., Konstantinov, A.K., Miguta, A.K., Shumilin, M.V., Tsvetochkin, V.N. *Uran rossiskikh nedr* [Uranium in the Russian bowels], Moscow, VIMS Publ., 2010, 850 p. (in Russian)
16. *Metodika izmereniya aktivnosti radionuklidov s ispol'zovaniyem stsintillyatsionnogo gamma-spektrometra s programmnyyem obespecheniyem "Progress"* [Methods of measuring the activity of radionuclides using a scintillation gamma spectrometer with the "Progress" software], Moscow, Center of Metrology, 2003, 16 p. (in Russian)
17. *Metodika ekspress-izmereniya ob'yomnoi aktivnosti ²²²Rn s poverkhnosti zemli s pomoshch'yu radiometra radona tipa RRA* [Technique for the rapid measurement of the volume activity of ²²²Rn from the earth's surface using a radon radiometer of the PPA type], Moscow, 2006, pp. 3-8. (in Russian)
18. Naumov, S.S., Shumilin, M.V. *Uranovye mestorozhdeniya Aldana* [Uranium deposits of the Aldan region]. *Otechestvennaya geologiya*, 1994, no. 11/12, pp. 20-23. (in Russian)
19. *Opreделение urana rentgenospektral'nym metodom* [Determination of uranium by x-ray spectral method], Moscow, Mingeo SSSR, 1983, 10 p. (in Russian)
20. *Raznoobraziye rastitel'nogo mira Yakutii* [Flora diversity in Yakutia], Danilova, N.S., Ed., Novosibirsk, SO RAN Publ., 2005, 328 p. (in Russian)
21. *Radiogeokhimicheskie issledovaniya. Metodicheskiye rekomendatsii* [Radio-geochemical studies. Methodical recommendations], Smyslov, A.A., Ed., Moscow, Mingeo SSSR, 1974, 139 p. (in Russian)
22. Sobakin, P.I., Gerasimov, Ya.R., Perk, A.A. *Radioekologicheskaya obstanovka v mestakh geologo-razvedochnykh rabot i dobychi radioaktivnogo syr'ya v Yakutii* [Radioecological situation in places of geological exploration and production of radioactive raw materials in Yakutia]. *Atomnaya energiya*, vol. 117, no. 4, 2014, pp. 235-238. (in Russian)
23. Parfenov, L.M., Kuz'min, M.I. *Tektonika, geodinamika i metallogeniya territorii Respubliki Sakha (Yakutiya)* [Tectonics, geodynamics and metallogeny of the territory of the Sakha Republic (Yakutia)], Moscow, Nauka / Interperiodika Publ., 2001, 571 p. (in Russian)
24. Chevychelov, A.P., Sobakin, P.I. *Migratsiya yestestvennykh radionuklidov v tekhnogennykh tayezhno-merzlotnykh landshaftakh Yuzhnoi Yakutii* [Migration of natural radionuclides in technogenic taiga-frozen landscapes of southern Yakutia], Novosibirsk, SO RAN Publ., 2008, 138 p. (in Russian)

25. Shemetov, P.A., Minos'yants, V.A., Gurunov, V.A. *Okhrana okruzhayushchei sredy i obespechenie radiatsionnoi bezopasnosti pri dobyche urana* [Environment conservation and radiation safety in uranium mining]. *Nedropol'zovanie – XXI vek*, 2008, no. 4, pp. 73-77. (in Russian)
26. Yakubovich, A.P., Zaitsev, E.I., Prizhiyalgovskii, S.M. *Yadernofizicheskiye metody analiza gornykh porod* [Nuclear physics methods of rock analysis], Moscow, Energoatomizdat, 1982, 242 p. (in Russian)
27. Chevychelov, A.P., Sobakin, P.I. Sources of radioactive contamination of frozen taiga landscapes in Southern Yakutia. *Radioactive Waste: Sources, Types and Management*, Satoshi, Y., Wenxu, H., Eds., 2012, pp. 127-145.

RADIATION-ECOLOGICAL EVALUATION OF ROCK DUMPS IN THE SOUTH ZONE OF THE ELKON URANIUM MINE REGION (THE SOUTHERN YAKUTIA)

© 2019 A. P. Chevychelov*, P. I. Sobakin**, A. N. Gorokhov***

*Institute for Biological Problems in Cryolithozone,
Siberian Branch, Russian Academy of Sciences SB RAS, ul. Lenina 41, Yakutsk, 677980 Russia*

*E-mail: chev.soil@list.ru,

**E-mail: radioecolog@yandex.ru,

***E-mail: algor64@mail.ru

This study aims at investigating the allocation conditions of rock dumps in the South zone located in the Elkon uranium mine region (the Southern Yakutia), and also at determining their radiation parameters as sources of technogenic contamination of the soil-vegetation cover and surface waters, and assessing the danger of these dumps for people. In this study, the generally accepted geographical methods were used, including comparative geographical and geochemical methods, as well as a combination of various radiometric research methods. The radiation parameters of the rock dumps of the South zone of the Elkon uranium mine region, the content and distribution of uranium, radium and radon in surface waters, as well as ^{238}U content in technogenic soils at different distances from radioactive contamination sources were studied. It was found that the most active dumps, in terms of their radiation parameters, are located close to the radioactive ores, with the EDR of 1600–2150 $\mu\text{R}/\text{h}$, effective specific activity - 20441–23640 Bq/kg, and uranium content of 1637–1888 mg/kg. The ranking of the studied dumps according to the degree of radiation hazard showed that 12 out of 31 dumps (39%) belong to the safe category, 6 (19%) belong to the category of potentially dangerous, and 5 and 8 (16% and 26%) were classified as dangerous and very dangerous respectively. In the conditions of the mountainous terrain, cold and humid climate of the studied area, these rock dumps, which are unevenly spread in mountain and taiga landscapes over the area of about 500 km², are the main source of radioactive contamination of soil and vegetation cover and surface waters. The maximum contents of uranium, radium and radon in the studied surface waters were 180×10^{-7} g/L, 4.7×10^{-12} g/L and 256.8 Bq/L respectively, which are 100, 8 and 198 times higher than their background concentrations in waters of natural landscapes. In the studied technogenic zones, a direct relationship was registered between the pollution intensity in surface water and that in the drained alluvial soils formed in the floodplains of these watercourses.

Keywords: *rocks, soils, surface water, radiation parameters, industrial pollution, hazard ranking, territory rehabilitation.*

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019665-78>