
ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

УДК 550.424

ХАРАКТЕРИСТИКА МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА, РАДИОАКТИВНОСТИ И СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОТХОДАХ РОССЫПНОЙ ЗОЛОТОДОБЫЧИ ПРИАМУРЬЯ

© 2020 г. И. В. Кузнецова^{1,*}, Н. В. Моисеенко^{1,**}

¹ Институт геологии и природопользования ДВО РАН (ИГиП ДВО РАН),
пер. Релочный, 1, Благовещенск, 675000 Россия

*E-mail: kuzia67@mail.ru

**E-mail: kaunamka82@mail.ru

Поступила в редакцию 14.10.2019 г.

После доработки 09.01.2020 г.

Принята к публикации 15.01.2020 г.

Представлены исследования отходов россыпной золотодобычи в бассейнах рек Некля, Орловка, Надяга, Гарь-3, Ульдегит и Ултучи (Мазановский, Селемджинский районы Приамурья). Использовались минералогический, атомно-адсорбционный методы и метод аналитической растровой электронной микроскопии. Радиационный фон измерялся дозиметром СОЭКС “Квантум”. Кроме благородных металлов в исследованных образцах определено наличие ртути, мышьяка, свинца, цинка, сурьмы и других тяжелых металлов. В тяжелой фракции выявлено наличие минералов, содержащих радиоактивные элементы (циркон, монацит, колумбит, торит, ильменит и др.). В рассмотренных отходах россыпной золотодобычи установлен повышенный радиационный фон. По результатам исследований рекомендовано усилить мониторинг за состоянием территорий золотодобывающих предприятий и ввести радиологический контроль там, где состав породы предполагает наличие радиоактивных минералов.

Ключевые слова: техногенные россыпи, отходы золотодобычи, тяжелые металлы, ртуть, радиоактивные элементы и минералы

DOI: 10.31857/S0869780920030054

ВВЕДЕНИЕ

По данным информационного агентства Thomson Reuters GFMS, по итогам 2017 г. Россия увеличила производство золота на 17 т, что составило 83% от общеевропейской. РФ находится на первом месте по добыче золота в Европе и на третьем в мире [31]. Амурская область одна из ведущих в России по добыче золота, Государственным балансом учтено 629 месторождений с запасами категории А + В + С₁ + С₂ – 387.4 т, прогнозные ресурсы порядка 7 тыс. т. Золотодобыча в регионе имеет более чем 150-летнюю историю. В 2018 г. в области добыто 8.7 т россыпного и 14.1 т рудного золота [2]. С введением в эксплуатацию рудников “Покровский”, “Пионер”, “Березитовый”, “Бамский”, ЗАО “Маломырский рудник”, добыча коренного золота заняла лидирующую позицию. Предполагается, что истощение разведанных запасов россыпного золота в будущем сведет россыпную золотодобычу к минимуму, но в настоящее время в Амурской обл. ежегодно увеличивается добыча благородного металла из россыпных месторождений.

До сих пор в Амурской обл. в разработке находится более 300 россыпей, работают 78 золотодобывающих предприятий, действуют 25 драг и 170–180 промприборов. При таких масштабах россыпной золотодобычи в области за десятки лет оработаны сотни речных долин, ежегодно нарушается более 1500 га земель, перерабатывается более 170 млн м³ горной массы и используется 1500 млн м³ речной воды [21]. Многолетняя история развития россыпной золотодобычи приводит к накоплению гигантских объемов отходов (пустые породы, некондиционное сырье, шламы, хвосты обогащения).

К сожалению, существующие в настоящее время технологии переработки золотосодержащего сырья (как россыпных, так и коренных месторождений) приводят к возникновению целого ряда экологических проблем: загрязнению атмосферного воздуха [20], почв, поверхностных и подземных вод [1, 28], образованию значительных объемов промышленных отходов и нарушению биологического разнообразия [6]. Россыпная золотодобыча – одна из самых катастрофич-

ных по воздействию на природу, приводящая к уничтожению всех компонентов местной экосистемы, и в первую очередь разрушению подвергаются ландшафты и долины рек [12, 25]. При этом происходит массовое загрязнение территорий, расположенных ниже по течению [11]. Долговременное использование при эксплуатации россыпных месторождений ртути, привело к повсеместному заражению грунтов этим металлом [5, 13, 30, 32]. Кроме того, сочетание водно-воздушного воздействия приводит к разрушению многих минералов россыпей, содержащих свинец, мышьяк, цинк, уран, торий и т.д., которые попадают в зону аэрации, и как следствие происходит увеличение концентрации этих элементов в природной среде [24, 27, 33].

Таким образом, возникающие при промышленном освоении месторождений продукты техногенеза формируют экологически опасные ореолы загрязнения окружающей среды тяжелыми и радиоактивными металлами, негативно влияющими на состояние экосистем.

Цель работы – установление уровня радиоактивности и содержания тяжелых металлов в отходах россыпной золотодобычи Приамурья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Для исследований были отобраны объемные пробы из россыпных месторождений Приамурья в бассейнах рек: Некля (п.п. р. Селемджа, Мазановский р-н), Орловка (п.п. р. Селемджа, Мазановский р-н), Надяга (л.п. р. Орловки, Мазановский р-н), Гарь-3 (л.п. р. Гарь, Зейский р-н), Ульдегит (п.п. р. Унахи, Зейский р-н), Ултучи (п.п. р. Джелтулак Большой, Зейский р-н). Пробы отбирались точно с поверхности (каждая весом 30–80 кг) из промышленного пласта непосредственно на подготовленных для россыпной золотодобычи полигонах (в том числе техногенных месторождений), а также из отвалов и хвостохранилищ ШОУ¹. С каждого объекта отобрано порядка 8–10 проб (всего 54). Стандартным фракционированием из проб выделен тяжелый шлик.

Радиационный фон измерялся прибором СОЭКС, поверенный дозиметром “Квантум”. В полевых условиях замеры проводились непосредственно на поверхности залегания пород в местах отбора проб. Тяжелые фракции исследовались в основном в лабораторных условиях. В каждой точке определения радиационного фона проводилось не менее 5 последовательных измерений, по результатам которых вычислялось среднее арифметическое значение.

Атомно-абсорбционный, химический и минералогический анализ проб и образцов проводил-

ся в ФГБУН ИГиП ДВО РАН. Изучение элементного состава, морфологических и микроструктурных особенностей минералов проводилось методом аналитической растровой электронной микроскопии (АРЭМ) на электронном микроскопе “VEGA 3 LMH” (TESCAN, Чехия), оснащенном системой энергодисперсионного рентгеновского (EDX) анализа “X-Max 80” (фирмы “Oxford instruments”, Великобритания), в центре электронной микроскопии в ФГБУН ИГиП ДВО РАН. Результаты исследований приведены в таблицах 1–3.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Десятилетиями для увеличения степени извлечения золота из россыпей применялась металлическая ртуть, которая использовалась не только на стадии доводки шлиха, но и на стадии получения гравитационного концентрата за счет обильного полива шлюзов. Большое количество ртути вместе с золотом поступало на доводочные устройства, где после выделения золота она попадала в “хвосты” и сбрасывалась в хвостохранилища. Содержания ртути в хвостохранилищах приисков и старательских артелей на порядок выше, чем в исходных эфелях² и достигает нескольких килограммов на тонну [4, 30, 32]. Хвостохранилища обычно устраиваются в понижениях рельефа (в долинах ручьев и рек) недалеко от поселков. Содержания ртути в эфелях в районе приисков Амурской обл., где долгие годы велась россыпная золотодобыча, значительно превышают ПДК, что свидетельствует о повсеместной, хотя и неравномерной зараженности ртутью отходов золотодобычи (п. Октябрьский – Hg от 15 до 234 г/т, п. Майский – от 7 до 300 г/т) (табл. 1) [14, 15]. В проанализированных грунтах ртуть находится главным образом в виде амальгамы (табл. 2).

Периодически проводимые на приисках бульдозерно-экскаваторные работы с целью повторной отработки отходов и извлечения из них шлихового золота, приводят к тому, что просевшая ранее ртуть вновь выводится на поверхность и мигрирует в природной среде, расширяя ореол техногенного загрязнения далеко за пределы промплощадки ШОУ. Иногда за счет изменения русел либо из-за влияния паводковых вод этот материал попадает в донные отложения рек. На территории Амурской обл. количество привнесенной в окружающую среду металлической ртути в процессе золотодобычи оценивается по разным источникам от 500 до 1000 т [14, 21].

² Мелкозернистый материал (обычно мельче 12–16 мм), отделяемый промывкой и классификацией на грохотах песков россыпных месторождений золота. Обычно имеет повышенное содержание ценных компонентов и обогащается гравитационными методами.

¹ Шлихообогащательная установка.

Таблица 1. Содержание токсичных элементов в продуктивном пласте и тяжелой фракции прииска Майский (г/т или %)

Элемент	Бассейн реки							
	Промышленный пласт (пески)		Тяжелая фракция					
	р. Надяга		р. Надяга		р. Орловка		р. Некля	
	содержание	среднее	содержание	среднее	содержание	среднее	содержание	среднее
As	–	–	50–3000	943	0.29–0.3%	0.3%	30–1500	820
Pb	50–300	57.2	100–15000	5089	0.01–0.3%	0.2%	2.2–15%	6%
Sn	3–10	5.2	7–15000	2075	1500	1500	0.2–1.5%	0.7%
Mo	0–7	6.6	3–30	11	5–20	8.8	0.6–15	5.4
Cu	30–70	46	30–1000	213	100–2000	1350	80–300	166
Zn	0–200	167	100–300	156	40–500	137	50–3000	834
Sb	–	–	–	–	13–20	18	250–3000	1010
W	0–30	5	0.01–1.5%	0.5%	500–1500	1300	50–1000	434
Bi	5–50	13.7	1–450	181	300–900	645	8–1000	256
Ni	10–50	26.8	7–100	39	7–50	41	8–50	25
Co	5–30	14.5	3–100	28	10–40	34	5–40	17
Cr	20–200	83.8	50–700	328	20–300	244	50–70	62
V	50–100	72.3	20–200	138	70–100	82	30–40	38
Mn	100–500	269.2	0.2–1.5%	6778	0.15–0.6%	0.46%	1–1.5%	1.2%
Cd	–	–	–	–	0–15	12.5	0–7	2.8
Hg	0–10	4	20–300	118	50–300	250	0.1–0.3%	0.16%
Ti, %	0.2–1	0.5	0.01–1.5	1.4	1.5	1.5	1.5–2.3%	1.8%

Как правило, в исходных песках разрабатываемых россыпей содержание тяжелых металлов не велико (иногда ниже предела чувствительности приборов), но после концентрирования их количество увеличивается в сотни, а иногда и тысячи раз. В качестве примера приведем данные по прииску Майский (см. табл. 1). В тяжелой фракции содержание токсичных элементов в среднем увеличивается до: As–0.3% г/т, Pb – 6%, Sn – 0.7%, Mo – 11 г/т, Cu – 1350 г/т, Zn – 834 г/т, Sb – 1010 г/т, W – 0.5%, Bi – 645 г/т, Ni – 41 г/т, Co – 34 г/т, Cr – 328 г/т, V – 138 г/т, Mn – 1.2%, Cd – 12.5 г/т, Hg – 0.16% и Ti – 1.8%.

Высокие содержания выше перечисленных элементов в пробах объясняются присутствием в составе шлихов минералов-носителей: свинца – собственно свинца и галенита, а меди, цинка и хрома, вероятно, за счет халькопирита, самородной меди, сфалерита, хромита и других минералов. Высокие содержания ртути объясняются применением в предыдущие годы при обогащении шлихов процесса амальгамации, а также возможно наличием встречающегося в Приамурской провинции ртутистого золота [26], мышьяка – присутствием арсенопирита, олова – касситерита, титана – ильменита, вольфрама – вольфрамита и, реже, шеелита (см. табл. 2).

На техногенные россыпи в период хранения оказывают влияние физические, химические и биохимические факторы. Под воздействием воды и содержащихся в ней активных агентов в породах протекают процессы растворения, выщелачивания, окисления, гидратации, замещения и диффузии [9, 22]. Наиболее чувствительными являются сульфидные минералы. Они разрушаются с образованием оксидов и гидроксидов металлов, а иногда и с частичным восстановлением до самородного металла. Так, в техногенных россыпях прииска Майский уменьшается количество галенита с 12 до 5%, пирита с 2% до единичных зерен по сравнению с первичными россыпями. При этом появляется самородный Pb, содержание которого достигает 15%, установлено содержание металлического Fe до 4% [17]. При окислении сульфидов токсичные компоненты (мышьяк, свинец, цинк, сурьма и другие тяжелые металлы) переходят в раствор и начинают с разной скоростью мигрировать в подземных и поверхностных водах, что приводит к рассеиванию компонентов с последующим концентрированием их в различных объектах окружающей среды [6, 8, 11, 13, 14, 23, 29, 30, 32, 33]. Кроме ртути и других тяжелых металлов в зону аэрации выводятся также и радиоактивные элементы.

Таблица 2. Усредненный состав тяжелой фракции россыпей Приамурья (%)

Минералы	Россыпи бассейнов рек												
	Некля	Орловка	Надяга	Гарь-3	Ульдегид	Уллучи	Уган*	Улягир*	Читкан*	Джалта*	Дубаakit*	Мадалан Б.*	Таяжка*
ильменит	51.3	60.7	63.0	66.1	11.9	74.1	29.7	45.3	45.1	34.7	12.8	64.6	34.8
циркон	11.0	5.9	10.1	8.1	15.9	10.5	22.7	20.1	19.1	21.3	30.1	17.4	35.2
магнетит	1.4	1.3	12.7	зн.	1.6	0.6	7.4	3.4	3.5	24.8	37.8	1.3	6.4
гранат	2.1	4.3	2.5	2.7	зн.	1.1	14.6	3.4	3.5	9.5	8.7	3.3	3.7
пирит	0.6	зн.	0.5	—	—	зн.	0.6	10.1	10	0.2	2.4	2.4	1.7
касситерит	1.6	2.1	0.1	—	31.9	5.2	—	0.1	0.1	—	—	зн.	зн.
эпидот	зн.	0.6	0.1	1.4	—	2.7	5.2	6.5	6.6	1.9	0.3	1.6	9.5
сфен	зн.	0.8	0.9	зн.	—	зн.	1.7	8.4	8.5	0.1	0.2	1.9	0.2
амфибол	зн.	1.6	зн.	9.5	—	0.3	16.9	0.6	0.7	4.6	7.6	5.6	8.1
рутил	2.1	1.4	1.0	зн.	зн.	зн.	0.9	0.1	0.6	1.1	0.1	0.2	0.2
лимонит	зн.	0.1	1.0	зн.	—	—	—	1.5	1.6	1.5	зн.	1.2	зн.
гематит	1.2	зн.	2.4	зн.	—	—	—	0.1	0.2	зн.	—	зн.	—
монацит	8.0	5.1	0.6	зн.	2	1.8	зн.	зн.	зн.	зн.	зн.	зн.	0.1
галенит	7.7	—	зн.	—	2	—	—	зн.	зн.	зн.	зн.	0.2	—
шарики Рb	4.8	0.2	—	—	0.5	—	—	—	—	—	—	—	—
мартит	1.1	зн.	0.1	—	—	—	—	0.1	0.1	зн.	—	зн.	зн.
сидерит	6.6	10.3	0.2	—	—	0.5	—	зн.	—	—	—	—	—
шарики Fe	0.1	0.8	зн.	—	3.5	—	—	—	—	—	—	—	—
вольфрамит	—	зн.	зн.	—	29	—	—	—	—	—	—	—	—
ильменорутит	—	зн.	—	—	—	—	0.3	—	—	—	зн.	зн.	0.1
старролит	—	—	—	5.4	—	зн.	—	зн.	зн.	зн.	—	зн.	—
турмалин	зн.	зн.	зн.	5.4	—	зн.	зн.	0.1	0.2	зн.	зн.	0.1	зн.
шеслит	зн.	зн.	0.1	—	1.6	—	—	—	—	—	зн.	—	зн.
пироморфит	зн.	зн.	3.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
лейкоксен	зн.	зн.	—	1.4	—	зн.	зн.	0.1	0.1	зн.	зн.	0.1	—
колумбит	0.3	1.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
торит	—	—	—	—	—	—	—	зн.	зн.	—	—	зн.	—
оранжит	—	—	—	—	—	—	—	зн.	зн.	—	—	зн.	—

Минералы	Россыпи бассейнов рек													
	Некля	Орловка	Надяга	Гарь-3	Ульегид	Улгучи	Уган*	Улягир*	Читкан*	Джалта*	Дубакит*	Мадалан Б.*	Таяжка*	
малакон	зн.	зн.	—	—	—	—	—	зн.	зн.	зн.	зн.	зн.	зн.	
фергусонит	зн.	1.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
ксенотим	—	—	—	—	—	—	—	—	—	зн.	—	—	—	
ураноторит	—	—	—	—	зн.	—	—	—	—	—	—	—	—	
висмутин	зн.	зн.	0.2	—	зн.	—	—	—	—	—	—	—	—	
анатаз	зн.	зн.	0.5	зн.	—	зн.	зн.	зн.	зн.	—	зн.	зн.	зн.	
апатит	—	0.6	0.3	—	—	зн.	зн.	—	—	—	зн.	зн.	зн.	
хромит	зн.	зн.	0.5	—	—	—	—	—	зн.	—	зн.	зн.	зн.	
самородная Cu	зн.	0.1	зн.	—	0.1	—	—	—	—	—	—	—	—	
англезит	зн.	—	0.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
арсенопирит	зн.	зн.	0.1	—	—	3	—	зн.	зн.	—	зн.	—	—	
цоизит	—	0.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
хлорит	—	0.2	—	—	—	0.2	—	зн.	—	—	зн.	—	—	
барит	—	зн.	—	—	—	—	—	0.1	—	—	0.1	—	—	
молибденит	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	зн.	—	—	
халькопирит	—	—	—	—	—	—	—	—	зн.	—	зн.	—	—	
киноварь	зн.	зн.	—	—	—	—	зн.	зн.	зн.	—	—	—	—	
пироксен	зн.	зн.	—	—	—	—	зн.	зн.	зн.	0.3	зн.	зн.	зн.	
корунд	зн.	зн.	зн.	зн.	—	зн.	—	зн.	зн.	зн.	зн.	зн.	зн.	
шпинель	—	зн.	—	зн.	—	зн.	—	зн.	—	зн.	зн.	зн.	—	
дистен	—	зн.	—	зн.	—	зн.	зн.	зн.	зн.	зн.	зн.	зн.	—	
брукит	—	зн.	—	—	—	—	—	зн.	зн.	—	зн.	зн.	зн.	
циртолит	зн.	зн.	зн.	—	—	—	—	зн.	зн.	—	зн.	—	—	
платиноиды, мг	зн.	—	1.67	—	1.23	—	—	—	—	—	—	—	зн.	
амальгама Au, мг	240	120	5	7	12.5	2	зн.	—	—	—	—	—	—	
Au, мг	99.5	242	31.2	12	54.1	17.1	16.4	22.4	24.8	19.6	11.1	6.8	39.2	

Примечание. * — по данным [12]; зн. — единичные зерна

Таблица 3. Радиационный фон тяжелой фракции рассмотренных россыпных месторождений Приамурья

Россыпные месторождения бассейна реки	Вес шлиха, г	Радиационный фон, мкР/час
Улгучи	110	58
Ульдегид	1230	430
Некля	190	160
Орловка	230	171
Надяга	210	72
Гарь-3	280	61

Общий радиационный фон Приамурья по большей части в пределах нормы, и содержания радиоактивных минералов в породах не высоки, но в процессе обогащения россыпей и отходов на концентрационных столах, отсадочных машинах и методами флотации получается тяжелая фракция, насыщенная не только благородными металлами, но и радиоактивными элементами. И как следствие, она часто имеет повышенный радиационный фон. Так в районе прииска Майский (бассейны рек Некля, Орловка, Надяга и Гарь-3) радиационный фон шлихов от 61 до 171 мкР/ч. В прииске Береговом (бассейн р. Ульдегид) в тяжелой фракции зафиксировано до 430 мкР/ч, такой высокий фон, по-видимому, связан со значительной массой исследуемого шлиха, вес которого (1230 г) в несколько раз больше веса остальных шлихов (табл. 3).

В тяжелой фракции присутствуют минералы, в состав которых входит U и Th, либо минералы, в которых эти элементы находятся в качестве примесей. К этому ряду можно отнести такие минералы, как циркон, монацит, реже ураноторит, торит, оранжит, малакон, тантало-ниобаты (колумбит, фергусонит, ксенотим и др.) и ильменит, которые концентрируются в первичных рудах, в зонах окисления и россыпях (см. табл. 2). Эти минералы являются сквозными на всех стадиях рудообразования и часто отличаются повышенным содержанием не только радиоактивных, но и благородных элементов [16].

Достаточно распространенный минерал тяжелой фракции россыпей – ильменит. Ильменит часто содержит Ta и Nb. По нашим исследованиям в ильменитах прииска Майский установлено Ta от 50 до 300 г/т, Nb от 100 до 1500 г/т. Радиоактивные элементы имеют геохимическое сродство с танталом и ниобием и могут их изоморфно замещать [3].

Циркон – широко распространенный и повсеместно встречающийся акцессорный минерал, попадает в россыпи в результате выветривания первичных руд, магматических и метаморфиче-

ских пород. В тяжелой фракции из россыпей прииска Майский содержание цирконов колеблется от 5.9 до 11% (см. табл. 2). В аллювии бассейна р. Умлекан его содержание достигает 1222 г/м³ [18]. В техногенной россыпи р. Семи (Кербинский прииск) ресурсы циркона составляют 1318 т. Среднее содержание циркона в россыпи Уркума (п. Нюкжа, Тындинский р-н) – 3.209 кг/м³, прогнозные ресурсы – 190000 т [19]. Для цирконов характерно содержание радиоактивных элементов, прежде всего урана. В цирконах россыпи р. Гарь содержание U – 2.8% [7], в россыпи р. Некля в этих минералах фиксируются U (до 1.35%), Hf (до 5.6%) и Th (1.5%) [15, 16].

Кроме того, в россыпях в процессе гипергенеза происходит обогащение типичных гипогенных минералов (циркон и ильменит) благородными металлами. Содержание золота и серебра в таких минералах значительно выше, чем в коренных породах, так в цирконах из россыпей прииска Майский установлено Au – 280 и Ag – 560 г/т, а в ильменитах количество Au – 110 и Ag – 50 г/т [15].

Еще один достаточно распространенный акцессорный минерал с повышенной радиоактивностью – монацит. В большинстве россыпных месторождений Приамурья он отмечается в незначительных количествах (от единичных знаков до 10 г/м³), но встречаются исключения. Так, в россыпях бассейна р. Сартамы его содержание увеличивается от 30–35 до 3–4 кг/м³, в аллювии бассейна р. Умлекан монацита установлено до 1392.2 г/м³ [19], в шлихах россыпей прииска Майский содержится до 8% этого минерала (см. табл. 2). Методами растровой электронной микроскопии нами в составе монацитов (бассейн р. Некля) установлены следующие элементы (в %): Th от 0.14 до 8.66, Nd от 0.66 до 5.29, La от 3.21 до 10.38, Ce от 4.62 до 18.2, Eu до 0.18, Pr от 1 до 1.6. По данным [7], среднее содержание U в монацитах региона 3.1%. Кроме того, атомно-абсорбционным анализом в монацитах р. Некля определено от 400 до 680 г/т золота и от 400 до 600 г/т серебра [15]. Совместное присутствие благородных и радиоактивных элементов было установлено в минеральных ассоциациях руд и пород Нижнеселемджинского и Гаринского золотоносных узлов методами электронной микроскопии [15, 16].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований было установлено, что на территории Амурской области отходы россыпной золотодобычи содержат ртуть, мышьяк, свинец, цинк, сурьму и другие тяжелые металлы. В тяжелых шлихах россыпей присутствуют такие минералы как ильменит, циркон, монацит, реже ураноторит, торит, оран-

жит, малакон, тантало-ниобаты (колумбит, фергусонит, ксенотим и др.), которые содержат радиоактивные элементы. Высокие концентрации этих минералов создают повышенный радиационный фон в техногенных отходах.

Около 60% россыпного золота Дальнего Востока сосредоточено в малообъемных месторождениях с запасами золота до 1 т. Как правило, изучение минерального состава россыпей проводится на начальных стадиях геологоразведочных работ. В процессе эксплуатации россыпного месторождения и во время хранения отходов золотодобычи не учитываются минералогические особенности шлихов и степень концентрации в них ртути, тяжелых металлов и радиоактивных элементов, что соответственно может вызвать экологические проблемы (подобная ситуация возникла в Хакасии в 2017 г. [10]). Хвосты золотодобывающих фабрик и шлихообогащательных установок россыпных предприятий представляют потенциальную опасность, связанную с недостаточной степенью технического обустройства объектов размещения этих отходов.

Для решения экологических проблем на техногенных территориях необходим мониторинг минерального состава шлихов, как во время эксплуатации россыпей, так и в дальнейшем при хранении техногенных отходов. Там где состав пород предполагает наличие радиоактивных минералов необходимо ввести радиологический контроль.

В отвалах россыпной золотодобычи помимо присутствия токсичных элементов, требующих утилизации, отмечаются высокие содержания полезных компонентов (золото, серебро, платиноиды, олово, вольфрам, редкие земли и т.д.), которые представляют практический и научный интерес с точки зрения их комплексной переработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамов Б.Н., Эпова Е.С., Манзырев Д.В.* Геоэкологические проблемы отработки рудных месторождений золота в Восточном Забайкалье // География и природные ресурсы. 2009. № 2. С. 103–111.
2. *Андреева Е.* Амурская область опустилась на шестое место по добыче золота Амурская правда / Региональная общественно-политическая газета. Благовещенск, 2019. [электронный ресурс] <https://www.ampravda.ru/2019/01/11/086253.html> (дата обращения: 16.08.2019).
3. *Арбузов С.И., Рихванов Л.П.* Геохимия радиоактивных элементов: уч. пос. Томск: Изд-во ТПУ, 2011. 304 с.
4. *Ахметов Р.М.* Ртуть в природе и техногенных образованиях // Геологический сборник. 2013. № 10. С. 222–224.
5. *Бурдин В.Н., Гребенникова В.В., Лебедев В.И., Бурдин Н.В.* Экологические проблемы старых техногенных отвалов золотодобычи // Современные наукоемкие технологии. 2010. № 9. С. 57–65.
6. *Богданов В.Д., Мельниченко И.П.* Влияние разработки россыпных месторождений золота на воспроизводство сиговых рыб на Приполярном Урале // Безопасность жизнедеятельности. 2015. № 1. С. 62–66.
7. *Горошко М.В., Кириллов В.Е., Малышев Ю.Ф.* Металлогения урана Дальнего Востока России / Ин-т тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина. М.: Наука, 2006. 372 с.
8. *Глотов В.Е., Глотова Л.П.* Преобразование рудных отходов на северо-востоке России: геохимические и геоэкологические аспекты // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 1 (3). С. 906–909.
9. *Добровольский В.В.* Основы биогеохимии. М.: Изд. центр “Академия”, 2003. 400 с.
10. Добытки золота в Хакасии подвергают работников радиационной опасности [электронный ресурс] <http://www.atomic-energy.ru/news/2017/04/18/74967> (дата обращения: 27.08.2019).
11. *Егидарев Е.Г., Симонов Е.А.* Оценка экологических последствий добычи россыпного золота в бассейне р. Амур // Геоэкология. 2014. № 5. С. 429–441.
12. Золотые реки. Вып. 1. Амурский бассейн / Под ред. Е.А. Симонова. Владивосток: Изд. “Апельсин”. 2012 г. 120 с.
13. *Коваль А.Т., Павлова Л.М., Радомская В.И. и др.* Ртуть в экосистемах Приамурья // Вестник ДВО РАН. 2002. № 4. С. 94–103.
14. *Катола В.М., Радомская В.И., Радомский С.М.* Влияние ртути техногенных отвалов и рабочей зоны золотодобычи на биологические объекты // Сибирский экологический журнал. 2006. Т. 13. № 3. С. 353–357.
15. *Кузнецова И.В.* Геология, тонкодисперсное и наноразмерное золото в минералах россыпей Нижнеселенгинского золотоносного узла (Приамурье): автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Благовещенск, 2011. 22 с.
16. *Кузнецова И.В., Моисеенко Н.В., Сафронов П.П., Синякова Н.И.* Сродство радиоактивных элементов в минералах месторождений Приамурья // Естественные и технические науки. 2017. № 11. С. 79–85.
17. *Кузнецова И.В., Сафронов П.П., Моисеенко Н.В.* Вещественно-минеральная характеристика техногенных россыпей – потенциальных источников благородного металла (на примере Нижнеселенгинского золотоносного узла) // Георесурсы. 2019. Т. 21. № 1. С. 2–14.
18. *Литвинцев В.С., Леоненко Н.А., Банищикова Т.С.* Типоморфные особенности золота техногенных россыпей Приамурья в аспекте новых технологий // Тихоокеанская геология. 2016. Т. 35. № 4. С. 89–99.
19. *Мельников В.Д., Мельников А.В., Ковтонюк Г.П.* Россыпи золота Амурской области. Благовещенск: АмГУ, 2006. 295 с.
20. *Моисеенко Н.В., Кузнецова И.В.* Геоэкологические проблемы разработки рудных и россыпных месторождений золота на примере Амурской области //

- Экологические проблемы природопользования и охрана окружающей среды в азиатско-тихоокеанском регионе: Среды жизни, их охрана и восстановление: коллективная монография / Науч. ред. Н.К. Христофорова, Н.В. Иваненко. Владивосток: Дальнаука, Изд-во ВГУЭС, 2016. 142 с.
21. Пискунов Ю.Г., Кузнецова И.В., Борисова И.Г., Коваль А.Т. Экологические проблемы золотодобычи (на примере Амурской области) // Экология и промышленность России. 2008. № 1. С. 32–35.
 22. Певзнер М.Е. Горная экология: уч. пос. для вузов. М.: МГГУ, 2003. 395 с.
 23. Радомская В.И., Павлова Л.М. Оценка степени подвижности элементов в техногенных грунтах хвостохранилища Токурской золотоизвлекательной фабрики по результатам модельных экспериментов // Разведка и охрана недр. 2019. № 6. С. 55–63.
 24. Соболев И.С., Лобов Е.И., Александров А.Н. и др. Посobie по оценке воздействия горного производства на окружающую среду и экологическому обоснованию хозяйственной деятельности горных предприятий // Экологическая экспертиза. 1997. № 6. С. 2–70.
 25. Спутниковый мониторинг добычи россыпного золота [электронный ресурс] www.transparent-world.ru/ru/environment/monitoring/rossypzoloto/ (дата обращения: 08.07.2019).
 26. Степанов В.А. Геология золота, серебра и ртути. Ч. 2. Золото и ртуть Приамурской провинции. Владивосток: Дальнаука, 2000. 161 с.
 27. Тарасенко И.А., Харитонова Н.А., Оводова Е.В., Зиньков А.В., Корзун А.В. Трансформация минералогического состава отходов обогащения и ее влияние на формирование высокоминерализованных вод (Приморский край, Россия) // Тихоокеанская геология. 2017. № 36 (2). С. 106–118.
 28. Цианид, ртуть и кислотные стоки – ядовитые спутники золота. Project Underground (Проект Андеграунд) [электронный ресурс]. <http://www.pandia.ru/text/78/334/740.php> (дата обращения: 08.09.2019).
 29. Чумаченко Е.А. Оценка загрязнения тяжелыми металлами экосистем районов золотодобычи (на примере Кербинского прииска) // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 9. С. 339–346.
 30. Alpers C.N., Hunerlach M.P., May J.T., and Hothem R.L. Mercury Contamination from Historical Gold Mining in California. U.S. // Geological Survey. 2005. Fact Sheet 2005-3014. Version 1.1. <https://doi.org/10.3133/fs20053014>
 31. GFMS Gold Survey 2018. The Thomson Reuters Building: London. [электронный ресурс] <https://drive.google.com/file/d/1r4N4zuHD3E3YY5PcJ7z8TD-guqw2bh7HE/view> (дата обращения: 16.08.2019).
 32. Telmer K.H., Veiga M.M. World emissions of mercury from small scale artisanal gold mining and the knowledge gaps about them. In M. Pirrone and R. Mason (Eds.), Mercury fate and transport in the global atmosphere : Measurements, models and policy implications. Geneva: UNEP, 2008. P. 96–129.
 33. Tarasenko I.A., Zinkov A.V., Ovodova E.V., Petukhov V.I., Solyanik I.V. Geochemistry and mineralogy of old concentration tailings (Dalnegorsky ore district, Primorsky krai, Russia). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science (EES). 2017. 87. 042023. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/87/4/042023>

MINERAL COMPOSITION, RADIOACTIVITY AND HEAVY METALS IN THE PLACER GOLD MINING WASTE OF THE AMUR REGION

I. V. Kuznetsova^{a,#} and N. V. Moiseenko^{a,##}

^a Institute of Geology and Natural Management, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Relochny per. 1, Blagoveshchensk, 675000 Russia

[#]E-mail: kuzia67@mail.ru

^{##}E-mail: kaunamka82@mail.ru

Research of placer gold mining waste in the basins of Neklya, Orlovka, Nadyaga, Gar'-3, Ul'degit and Ultuchi rivers (Mazanovsky and Selemdzhinsky districts of the Amur Region) is presented. The mineralogical analysis, atomic adsorption analysis and scanning electron microscopy methods were used. The background radiation was measured by the SOEKS Quantum dosimeter. Mercury, arsenic, lead, zinc, antimony and other heavy metals were determined. Radioactive minerals (zircon, monazite, columbite, thorite, ilmenite, etc.) were revealed in heavy fraction. In the considered placer gold mining waste, an increased background radiation was found. As a result of research, it is recommended to intensify ecological and radiation monitoring of the composition of rocks, which are assumed to contain radioactive minerals.

Keywords: *technogenic placers, gold mining wastes, heavy metals, mercury, radioactive elements and minerals*

REFERENCES

1. Abramov, B.N., Epova, E.S., Manzyrev, D.V. *Geoekologicheskie problemy otrabotki rudnykh mestorozhdenii zolota v Vostochnom Zabaikal'e* [Geoecological problems of mining gold ore deposits in Eastern Transbaikalia]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2009. no 2. pp. 103–111. (in Russian)

2. Andreeva, E. *Amurskaya oblast' opustilas' na shestoe mesto po dobyche zolota* [The Amur region fell by the sixth place on gold mining]. *Amurskaya Pravda. Regional'naya obshchestvenno-politicheskaya gazeta*, Blagoveshchensk, 2019. (in Russian). Available at: <https://www.ampravda.ru/2019/01/11/086253.html> (accessed 16.08.2019).
3. Arbuzov, S.I., Rikhvanov, L.P. *Geokhimiya radioaktivnykh elementov* [Geochemistry of radioactive elements]. TPU Publ., 2011, 304 p. (in Russian)
4. Akhmetov, R.M. *Rtut' v prirode i tekhnogennykh obrazovaniyakh* [Mercury in nature and in technogenic formations] *Geologicheskii sbornik*, 2013, no. 10, pp. 222–224. (in Russian)
5. Burdin, V.N., Grebennikova, V.V., Lebedev, V.I., Burdin, N.V. *Ekologicheskie problemy starykh tekhnogennykh otvalov zolotodobychi* [Environmental problems of old man-made gold mining dumps]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2010, no. 9, pp. 57–65. (in Russian)
6. Bogdanov, V.D., Mel'nichenko, I.P. *Vliyanie razrabotki rossypnykh mestorozhdenii zolota na vosпроизводство sigovykh ryb na Pripolyarnom Urale* [Influence of the placer gold deposits development on reproduction of whitefish in the Subpolar Urals] *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2015, no. 1, pp. 62–66. (in Russian)
7. Goroshko, M.V., Kirillov, V.E., Malyshev, Yu.F. *Metallogeniya urana Dal'nego Vostoka Rossii* [Uranium Metallogeny of the Russian Far East]. Moscow, Nauka, 2006, 372 p. (in Russian)
8. Glotov, V.E., Glotova, L.P. *Preobrazovanie rudnykh otkhodov na severo-vostoke Rossii: geokhimicheskie i geoekologicheskie aspekty* [Transformation of ore waste in the northeast of Russia: geochemical and geoecological aspects]. *Izvestia Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2014, vol. 16, no. 1 (3), pp. 906–909. (in Russian)
9. Dobrovolskii, V.V. *Osnovy biogeokhimii* [Fundamentals of biogeochemistry] Moscow, Publishing center "Akademiya", 2003, 400 p. (in Russian).
10. *Dobytkhiki zolota v Khakasii podvergayut rabotnikov radiatsionnoi opasnosti* [Gold miners in Hakassia expose workers to radiation hazard]. 2017. (in Russian). Available at: <http://www.atomic-energy.ru/news/2017/04/18/74967> (accessed: 27.08.2019).
11. Egidarev, E.G., Simonov, E.A. *Otsenka ekologicheskikh posledstviy dobychi rossypnogo zolota v basseine r. Amur* [Estimation of ecological consequences of placer gold extraction on the Amur River]. *Geoekologiya*, 2014, no. 5, pp. 429–441. (in Russian)
12. *Zoloty reki. Vypusk 1. Amurskii bassejn* [Gold Rivers. Issue 1. The Amur basin]. Vladivostok, Apel'sin Publ., 2012, 120 p. (in Russian)
13. Koval, A.T., Pavlova, L.M., Radomskaya, V.I., et al. *Rtut' v ekosistemakh Priamur'ya* [Mercury in the ecosystems of CisAmur region]. *Vestnik DVO RAN*, 2002, no. 4, pp. 94–103. (in Russian)
14. Katola, V.M., Radomskaya, V.I., Radomskii, S.M. *Vliyanie rtuti tekhnogennykh otvalov i rabochei zony zolotodobychi na biologicheskie ob'ekty* [The influence of mercury in technogenic dumps and the operation zone of gold mines on biological bodies]. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*, 2006, vol. 13, no. 3, pp. 353–357. (in Russian)
15. Kuznetsova I.V. *Geologiya, tonkodispersnoe i nanorazmernoe zoloto v mineralakh rossypei Nizhneselemdzhinskogo uzla (Priamure)*. *Diss. cand. geol.-min. nauk* [Geology, fine and nano-size gold in minerals of placers Nizhnesaldinskogo deposit (the Amur region)]. Krasnoyarsk, 2011. 21 p. (in Russian)
16. Kuznetsova, I.V., Moiseenko, N.V., Safronov, P.P., Sinyakova, N.I. *Srodstvo radioaktivnykh elementov v mineralakh mestorozhdenii Priamur'ya* [Affinity of radioactive elements in minerals of CisAmur deposits]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2017, no. 11, pp. 79–85. (in Russian)
17. Kuznetsova, I.V., Safronov, P.P., Moiseenko, N.V. *Veshchestvenno-mineral'naya kharakteristika tekhnogennykh rossypei – potentsial'nykh istochnikov blagorodnogo metalla (na primere Nizhneselemdzhinskogo zolotonosnogo uzla)* [Substance and mineral characteristics of technogenic placers as the potential sources of precious metals (by the example of the Nizhneselemdzhinsky gold-bearing field in CisAmur region, Russia)]. *Georesursy*, 2019, vol. 21, no. 1, pp. 2–14. <https://doi.org/10.18599/grs.2019.2.3-14>. (in Russian)
18. Litvintsev, V.S., Leonenko, N.A., Banshchikova, T.S. *Tipomorfnye osobennosti zolota tekhnogennykh rossypei Priamur'ya v aspekte novykh tekhnologii* [Typomorphic gold specifications in the anthropogenic placer from Priamurye in terms of innovation technology]. *Russian Journal of Pacific Geology*, 2016, vol. 35, no. 4, pp. 89–99. (in Russian)
19. Mel'nikov, V.D., Mel'nikov, A.V., Kovtonyuk, G.P. *Rossypi zolota Amurskoi oblasti* [Gold placers in the Amur region]. Blagoveshchensk, AmGU Publ., 2006, 295 p. (in Russian)
20. Moiseenko, N.V., Kuznetsova, I.V. *Geoekologicheskie problemy razrabotki rudnykh i rossypnykh mestorozhdenii zolota na primere Amurskoi oblasti* [Geoecological problems of ore and placer gold deposits' development by the example of the Amur region]. *Ekologicheskie problemy prirodopol'zovaniya i okhrana okruzhayushchei sredy v aziatsko-tikhookeanskom regione: Sredy zhizni, ikh okhrana i vosstanovlenie* [Ecological problems in nature use and environment conservation in Asian and Pacific regions. Life environments, their protection and rehabilitation]. 2016, Vladivostok, Dalnauka, VGUES Publ., 142 p. (in Russian)
21. Piskunov, Yu.G., Kuznetsova, I.V., Borisova, I.G., Koval', A.T. *Ekologicheskie problemy zolotodobychi (na primere Amurskoi oblasti)* [Environmental problems of gold mining (by the example of the Amur region)]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2008, no. 1, pp. 32–35. (in Russian)
22. Pevzner, M.E. *Gornaya ekologiya: uchebnoe posobie dlya vuzov* [Mountain ecology: manual for higher education institutions.] Moscow, MGGU Publ., 2003, 395 p. (in Russian)
23. Radomskaya, V.I., Pavlova, L.M. *Otsenka stepeni podvizhnosti elementov v tekhnogennykh gruntakh khvostokhranilishcha Tokurskoi zolotoizvlekatel'noi fabriki po rezul'tatam model'nykh eksperimentov* [Assessment of mobility of elements in technogenic soils of tailings dam of Tokursky gold-extracting factory by the results

- of model experiments]. *Razvedka i okhrana nedr*, 2019, no. 6, pp. 55–63. (in Russian)
24. Sobolev, I.S., Lobov, E.I., Aleksandrov, A.N., et al. *Posobie po otsenke vozdeistviya gornogo proizvodstva na okruzhayushchuyu sredu i ekologicheskomu obosnovaniyu khozyaistvennoi deyatel'nosti gornyykh predpriyatii*. [Manual on the assessment of mining impact on the environment and ecological substantiation of economic activities of mining works]. *Ekologicheskaya ekspertiza*, 1997, no. 6, pp. 2–70. (in Russian)
25. Sputnikovyi monitoring dobychi rossypnogo zolota [Satellite monitoring of placer gold production]. URL: www.transparent-world.ru/ru/environment/monitoring/rossypzoloto/ (accessed 08.07.2019). (in Russian)
26. Stepanov, V.A. *Geologiya zolota, srebra i rtuti. Ch. 2 Zoloto i rtut' Priamurskoi provintsii* [Geology of gold, silver and mercury. Part 2. Gold and mercury in the CisAmur province.] Vladivostok, Dalnauka Publ., 2000, 161 p. (in Russian)
27. Tarasenko, I.A., Kharitonov, N.A., Ovodova, E.V., Zinkov, A.V., Korzun, A.V. *Transformatsiya mineralogo-geokhimicheskogo sostava otkhodov obogashcheniya i ee vliyaniye na formirovaniye vysokominalizovannykh vod (Primorskii krai, Rossiya)* [Transformation of mineralogical and geochemical composition of tails and its influence on high-mineralized water formation (Primorye region, Russia)]. *Russian Journal of Pacific Geology Geology of the Pacific Ocean*, 2017, no. 36 (2), pp. 106–118. (in Russian)
28. *Tsianid, rtut' i kislotnye stoki – yadovitye sputniki zolota*. [Cyanide, mercury and acid runoff are poisonous gold satellites]. Project Underground. <http://www.pandia.ru/text/78/334/740.php> (accessed 08.09.2019). (in Russian)
29. Chumachenko, E.A. *Otsenka zagryazneniya tyazhelyimi metallami ekosistem raionov zolotodobychi (na primere Kerbinskogo priiska)* [Pollution assessment by heavy metals of ecosystems of gold mining areas (by the example of the Kerbinsky mine)] *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten*, 2008, no. 9, pp. 339–346. (in Russian)
30. Alpers, C.N., Hunerlach, M.P., May, J.T., and Hothem, R.L. Mercury contamination from historical gold mining in California, U.S. *Geological Survey*, 2005. Fact Sheet 2005-3014. Version 1.1. <https://doi.org/10.3133/fs20053014>
31. *GFMS Gold Survey 2018* [The Thomson Reuters Building: London] Available at: <https://drive.google.com/file/d/1r4N4zuHD3E3YY5PcJ7z8TD-guqw2bh7HE/view> (accessed 16.08.2019).
32. Telmer, K.H., Veiga, M.M. World emissions of mercury from small scale artisanal gold mining and the knowledge gaps about them. M. Pirrone and, R. Mason (Eds.), *Mercury fate and transport in the global atmosphere: Measurements, models and policy implications*. 2008. Geneva: UNEP, pp. 96–129.
33. Tarasenko, I.A., Zinkov, A.V., Ovodova, E.V., Petukhov, V.I., Solyanik, I.V. Geochemistry and mineralogy of old concentration tailings (Dalnegorsky ore district, Primorsky krai, Russia). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science (EES). 2017, 87. 042023. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/87/4/042023>