

Минеральный и химический состав золотоносных отложений ручья Основательный (остров Аскольд, залив Петра Великого)

С.А. Федоров^{1,2*}, И.А. Власов², Т.С. Якимов³, Д.А. Петрова², П.Д. Жердев³

¹Институт металлургии имени академика Н.А. Ватолина УрО РАН, Екатеринбург, Россия

²Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

³Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Россия

В статье приведены результаты исследования минерального и химического состава псаммитовых золотоносных отложений, расположенных рядом с ручьем Основательный на острове Аскольд (залив Петра Великого, Японское море). В состав отложений входят (в мас.%) кварц 58, микроклин 14, ортоклаз 9, альбит 10, каолинит 5 и амфиболы (актинолит, роговая обманка) 2. Такой состав соответствует коренным породам (биотит-роговообманковые граниты и плагиограниты), расположенным рядом с ними. Разная окатанность зерен (на примере кварца) говорит о смешанном генезисе отложений (аллювиально-делювиальный), а частичная разработка этих отложений на золото позволяет отнести их к техногенным. Состав псаммитовых отложений соответствует аркозовым пескам. Характер поведения редкоземельных и микроэлементов в них свидетельствует о выветривании гранитов в гумидной обстановке с образованием малого количества новых устойчивых минералов в виде каолинита. Также отмечается обогащение Ti, U, Pb, Zr и Hf в отложениях по сравнению с гранитами. Это контролируется присутствием ильменита, циркона и метаотенита. Отложения характеризуются как существенно кварцевые литогенные породы, образованные в пассивной окраине. Тяжелая фракция, составляющая порядка 4 мас.% псаммитового материала, содержит около половины силикатов (роговая обманка, актинолит, топаз, клиноцоизит). Остальное приходится на гематит, магнетит, ильменит, титанит, циркон, монацит, ксенотим, метаотенит и золото. Основная доля приходится на минералы железа и титана. Кондиционные содержания установлены только у золота – 0,5 г/т, повышенные содержания (по сравнению с кларками для псаммитовых пород) – у серебра (0,5 г/т) и оксида титана (0,9 мас.%). Золото присутствует только в самородном виде. Максимальная крупность его частиц достигает 750 мкм, содержит примеси серебра, железа, меди и тантала. Содержание самого золота в частицах варьирует от 82,7 до 100 мас.%. Исследуемые отложения, помимо сырья на золото, могут представлять интерес для строительной промышленности, так как отложения содержат много кремнезема (более 80 мас.%) и мало примесей цветных и тяжелых металлов. Результаты в большей степени согласуются с морфологией золота из аналогичных россыпей, связанных с рудными жилами в магматических интрузиях кислого состава.

Ключевые слова: техногенные отложения, песок, гранулометрический состав, химический состав, минеральный состав, золото, ильменит, циркон

Для цитирования: Федоров С.А., Власов И.А., Якимов Т.С., Петрова Д.А., Жердев П.Д. (2026). Минеральный и химический состав золотоносных отложений ручья Основательный (остров Аскольд, залив Петра Великого). *Георесурсы*, 28(1), с. 149–159. <https://doi.org/10.18599/grs.2026.1.4>

Введение

В последнее время за счет сокращения природных запасов золота вовлекаются в переработку бедные труднообогатимые руды и техногенные отходы (Vokhidov, 2022; Горлова и др., 2020). На территории Российской Федерации ресурсный потенциал техногенных комплексов, по разным

оценкам, составляет от 10 до 20% от добытого в стране золота (Литвиненко и др., 2015; Таракановский, 2022). Себестоимость извлечения металла из такого отходного сырья будет значительно ниже, чем при его извлечении из коренных руд, так как исключаются дорогостоящие операции добычи, дробления и т.д. (Федоров и др., 2021).

* Ответственный автор: Сергей Андреевич Федоров
e-mail: saf13d@mail.ru

© 2026 Коллектив авторов

Статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution (CC BY) License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Одним из разнообразных типов золотоносного техногенного сырья (Syed, 2012; Федоров и др., 2021) являются техногенные россыпи. Вызванное к ним внимание связано с наличием в россыпях большой доли свободного золота (Gurman et al., 2016; Kuimova, Sorokin, 2010). К таким россыпям относятся аллювиально-делювиальные отложения, расположенные рядом с ручьем Основательный на острове Аскольд (залив Петра Великого Японского моря), в северо-восточной части бухты Наездник (рис. 1). Интерес к данному объекту заключается в том, что месторождение отнесено к новому генетическому типу, для Прибрежной металлогенической зоны Приморья, связанному с гранитоидными интрузиями, где золото относительно крупное и не связанное химически с другими элементами, кроме серебра. Месторождение схоже по генетическому типу с месторождениями северо-востока России – Школьное и другими (Vikent'eva et al., 2018; Ставрова и др., 2020). Оработка которого осуществлялась в конце XIX века (Леликов, 2013). В связи с чем их можно отнести к техногенным. На сегодняшний день россыпь числится на государственном балансе (запасы категории С1).

Изначально отложения являлись продуктом дезинтеграции кварцевых жил в верхнемеловых биотит-рогово-обманковых гранитах и плагиогранитах (Леликов, 2013). В работах (Анохин и др., 2011; Леликов, 2013; Ставрова и др., 2020), затрагивающих геологию и золотоносность, приведены описания стратифицированных отложений, магматических образований, дана краткая минеральная характеристика коренного месторождения золота, изучены флюидные включения в металле, его пробность и морфология. Однако сведений о химическом и минеральном составе псаммитовых отложений в литературе приводится мало. Знания о минеральном и химическом составе золотосодержащего минерального материала необходимы для разработки технологии их переработки с извлечением всех возможных ценных компонентов. Также исследование техногенных отложений острова Аскольд имеет значение, поскольку они являются частью минеральных ресурсов прибрежной металлогенической зоны Японского моря и Приморского края (Степанов, 2012).

Целью настоящей работы является исследование химического и минерального состава псаммитовой фракции

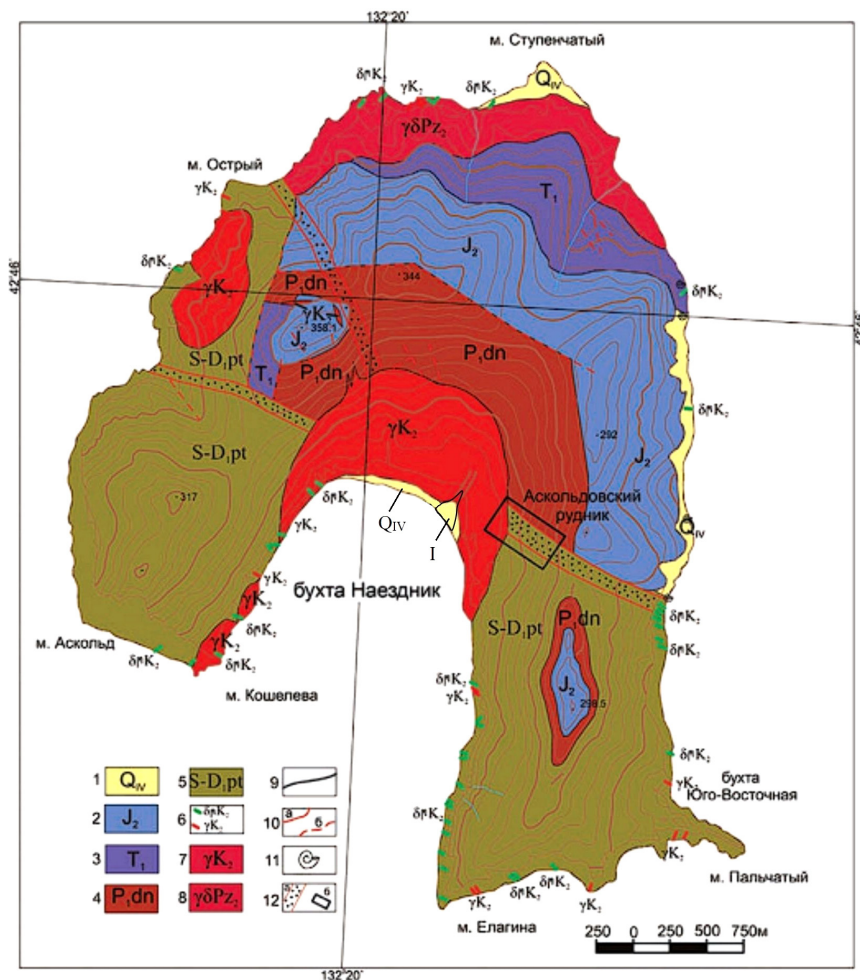


Рис. 1. Геологическая карта острова Аскольд, на которой указана площадь исследуемых золотоносных отложений (I): 1 – современные отложения; 2 – среднеюрские песчаники и алевролиты; 3 – конгломераты и песчаники нижнего триаса, оленекского яруса; 4 – фельзит-порфиры и кварцевые порфиры нижней перми, дунайской свиты; 5 – конгломераты, роговики и метаэффузивы силур-девона, путятинской свиты; 6 – дайки и жилы порфиров, гранитов, аплитов верхнего мела; 7 – граниты и плагиограниты верхнего мела; 8 – гранодиориты, диориты и габбродиориты среднего палеозоя; 9 – геологические границы; 10 – тектонические нарушения (а – установленные, б – предполагаемые); 11 – места находок ископаемой фауны; 12 – зоны дробления (а), Аскольдский рудник (б) (Леликов, 2013)

техногенных отложений и формы нахождения в них рудных элементов.

Материалы и методы

Для проведения исследований в трех местах на излучинах ручья Основательный были отобраны образцы техногенно-аллювиально-делювиальных отложений и сформирована единая проба массой порядка 27 кг. Места отбора образцов указаны по схеме, приведенной на рис. 2. Площадь исследуемой территории составляет около 0,01 км².

Зерна с крупностью более 5 мм представляли собой преимущественно обломки гранитов после выветривания, которые отсеивались из пробы. Гранулометрический анализ пробы проводился ситовым методом на лабораторных ситах с квадратными ячейками размером 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 и 0,071 мм.

Материал пробы изучался на оптическом стереомикроскопе Альтами SM0745-T и оптическом металлографическом микроскопе Микромед ПОЛАР 1. Химический состав проб (SiO₂, Al₂O₃, CaO, MgO, Fe, K₂O, Na₂O, TiO₂, MnO₂, P₂O₅, Au, Ag и Zr) устанавливался с помощью атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно связанной плазмой Spectroflame Modula S. Прибор позволяет определять массовые концентрации химических элементов от 0,1·10⁻⁴ до 20–30% с относительной погрешностью соответственно 10–15 и 1–2%.

Содержания золота определялись на электротермическом атомно-абсорбционном спектрометре ContrAA 700. Нижний предел обнаружения концентрации золота составляет 0,1 г/т, относительная погрешность анализа 3–5%.

Микроэлементный анализ проводился на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой ELAN 9000 и квадрупольном масс-спектрометре NexION 300S. Спектрометры способны определять содержания химических элементов от 0,005·10⁻⁴ мас.%. Относительная погрешность от 1–2 (при больших содержаниях элемента) до 10–20% (при очень низких содержаниях).

Минеральный состав пробы устанавливали на рентгеноструктурном анализаторе ADANI PowDiX 600. Режим съемки: CuKα излучение (λ = 0,154051 нм), напряжение 34 кВ, сила тока 40 мА. Данные регистрировали



Рис. 2. Схема пробоотбора возле ручья Основательный

в диапазоне от 5 до 90° (2θ) с шагом 0,02° и экспозицией в точке 2,0 с. Доля каждого минерала определялась с помощью программы QualX 2, которая имеет собственную базу данных (Altomare et al., 2015).

Выделение тяжелой фракции проводилось с помощью тяжелой жидкости ГПС-В (на основе гетерополисоєдинений вольфрама, плотность 3 г/см³). Тяжелая фракция исследовалась на сканирующем электронном микроскопе VEGA LMS (далее СЭМ), который был оснащен энергодисперсионной приставкой Xplore30 (Energy Dispersive Spectroscopy, 2022).

Для установления связи золота с другими элементами проводился сцинтилляционный анализ (Шабанова и др., 2012; Kovalevskii, Prokopchuk, 1995; Taylor, McLennan, 1985) на электродуговом атомно-эмиссионном спектрометре «Гранд-Поток».

Определение содержания основных элементов (Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Cr, V, Mn, Fe_{total}) проводилось рентгенофлуоресцентным методом на многоканальном спектрометре СРМ-35, включающий определение потерь при прокаливании гравиметрическим методом. Основная погрешность средства измерения ±0,2% (Горбунов и др., 2015).

Результаты

Исследуемая проба представляет собой рыхлый материал, содержащий псефитовую, псаммитовую и алевроитовую фракции с максимальным размером зерен до 20 мм. Общий цвет пробы желтовато-серый.

Анализ на оптических микроскопах показал, что зерна пробы имеют преимущественно изометричную округлую форму, реже встречаются зерна остроугольных и лещадных форм.

Результаты гранулометрического анализа (рис. 3) позволяют классифицировать материал, как алевроитово-псаммитовые несцементированные породы (или пески с небольшим содержанием алевроита) в котором основную массу пробы составляет псаммитовая фракция с размером зерен от 0,1 до 2 мм – 75,3 мас.% с преобладанием в ней фракцией –0,5+0,25 мм – 35,3 мас.%, при этом на псефитовую фракцию (дресва и гравий с размером частиц более 2 мм) в пробе приходится порядка 12,7 мас.%, а на алевроитовую фракцию (размер частиц менее 0,1 мм) приходится порядка 12,0 мас.%. Такого типа материалы в большинстве случаев сохраняют первичные минералы разрушаемых пород, при этом образуется малое количество новых

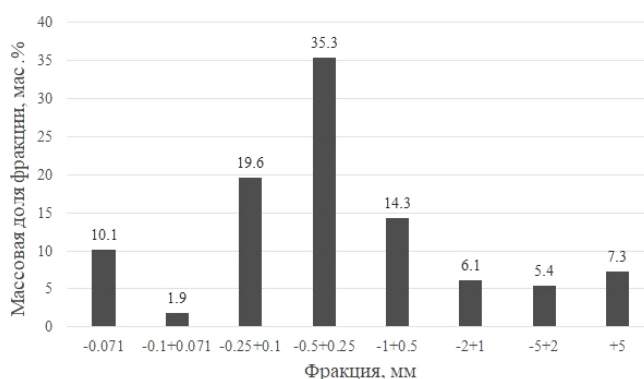


Рис. 3. Гранулометрический состав исследуемой пробы с о. Аскольд

устойчивых минералов, что подтверждается результатами рентгенофазовых анализов (рис. 4). Первичный состав разрушаемых пород (гранитов) выглядит следующим образом: кварц до 35 мас.%, плагиоклаз 30–33 мас.%, калиевые полевые шпаты 20–25 мас.%, амфиболы до 5 мас.%, биотит до 2 мас.%, акцессорные (апатит, циркон) и рудные минералы (магнетит, ильменит) до 2 мас.%.
Петрохимия и геохимия отложений
 В исследуемых отложениях основную долю занимает SiO₂ – более 81 мас.%. При этом они имеют повышенное содержание Fe_{total} по сравнению с гранитами (табл. 1 и табл. 2). Суммарно Al₂O₃, SiO₂, K₂O и Fe_{total} составляют 95 мас.% отложений. Около 1,7 мас.% (п.п.п.) занимают летучие компоненты (преимущественно H₂O).
 Техногенные отложения, согласно петрохимическим модулям (табл. 3), представляют собой песчанистые силиты. На это указывают расчеты гидролизатного и алюмосиликатного модулей. Гидролиз в любом своем проявлении

отсутствовал. Модуль нормированной щелочности наряду с натровым и алюмосиликатным модулями указывает на присутствие в пробе полевых шпатов. Значительное преобладание светлых минералов над темноцветными (табл. 4) согласуется с железистым и фемическим модулями. Титановый модуль соответствует ильмениту. Анализ и расчет производился в соответствие с литературными данными (Сиротин, Белявцева, 2010; Шатров, Войцеховский, 2009; Юдович и др., 1998).
 Содержание SiO₂ составляет 81,1 мас.% наряду с низким гидролизатным модулем (0,16) характеризуют отложения, как существенно литогенные породы, образованные в пассивной окраине.
 Поскольку данные литогенные породы являются продуктом выветривания, для них был рассчитан индекс химического выветривания CIA равный 70,02 (Nesbitt, Young, 1982), отражающий умеренную интенсивность химического выветривания в обстановке гумидного климата. На это также указывает значения индикатора

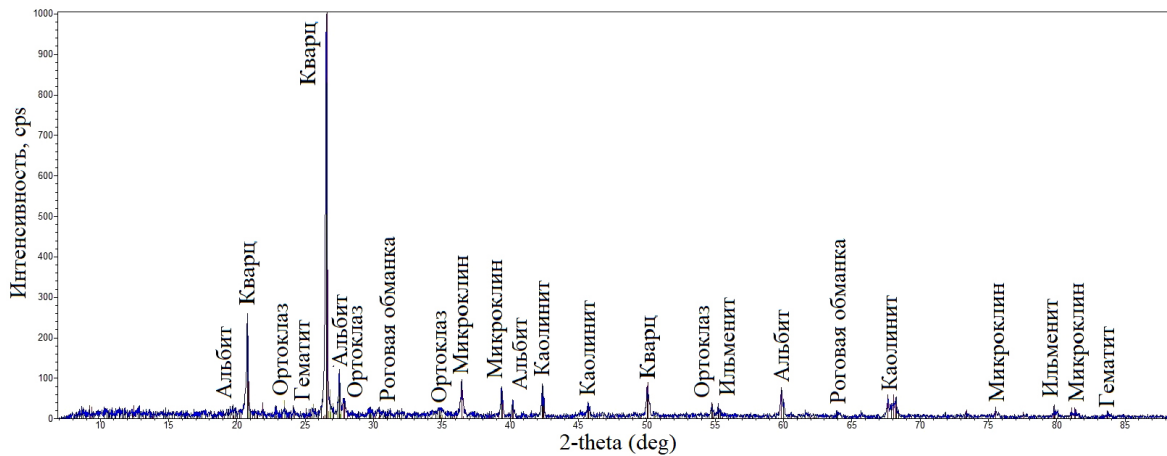


Рис. 4. Дифрактограмма пробы с о. Аскольд. По оси абсцисс – угол 2θ, °, по оси ординат – интенсивность, cps (Cu трубка, от 5 до 90°).

Материал	Содержание, мас.%												
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	Fe ₂ O ₃	Fe _{total}	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	п.п.п.
Исследуемая проба	81,1	8,9	0,92	0,60	0,20	2,78	2,98	2,21	0,68	0,92	0,09	0,12	1,48
Гранит после выветривания	74,3	13,2	1,18	0,31	Нет данных	2,04	3,60	3,86	0,30	0,04	0,05	1,09	
Неизменный гранит	75	13,1	0,61	0,40	Нет данных	1,86	4,11	3,88	0,28	0,03	0,06	0,75	

Табл. 1. Химический состав исследуемой пробы и гранитов с о. Аскольд

Материал	Содержание элемента, г/т																
	Li	Be	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Rb	Sr	Y	
Исследуемая проба	40	0,9	5,0	70	95	15	25	59	73	14	1,5	25	0,2	25	60	8,0	
Гранит после выветривания	8,0	1,0	6,0	20	310	6,0	21	11	30	20	1,4	0,5	0,7	75	220	6,0	
Неизменный гранит	3,0	1,2	6,0	15	370	5,0	16	9,0	30	14	1,2	0,9	0,6	53	100	11	
	Nb	Mo	La	Ag	Ba	Au	Sn	Sb	Cs	Nd	Cd	Ce	Te	Pr	Zr	Sm	
Исследуемая проба	9,0	2,9	8,0	0,5	185	0,5	2,3	1,0	2,3	9,0	0,1	15	0,1	2,1	240	1,7	
Гранит после выветривания	7,0	1,0	21	0,3	150	<0,1	0,7	0,2	5,2	15	<0,1	37	0,1	4,0	6,0	2,4	
Неизменный гранит	8,0	1,1	18	0,3	900	<0,1	1,1	0,1	1,2	14	0,0	33	0,0	3,6	18	2,9	
	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Hf	Ta	Lu	W	Tl	Pb	Bi	Th	
Исследуемая проба	0,4	1,8	0,2	1,2	0,2	0,8	0,1	0,8	2,0	0,6	0,1	5,0	0,3	16	0,5	3,8	
Гранит после выветривания	0,8	2,9	0,3	1,4	0,3	0,7	0,1	0,6	0,3	0,6	0,1	14	0,3	4,0	0,1	3,5	
Неизменный гранит	1,3	3,9	0,5	2,7	0,5	1,5	2,1	1,3	0,7	0,8	0,2	0,9	0,2	7,0	0,1	7,0	

Табл. 2. Содержание редких и рассеянных элементов в исследуемой пробе и гранитов с о. Аскольд

Модуль	Значение	Модуль	Значение
Фемический (Fe ₂ O ₃ +FeO+MnO+MgO)/SiO ₂	0,05	Нагровый Na ₂ O/Al ₂ O ₃	0,08
Железистый (Fe ₂ O ₃ +FeO+MnO)/(Ti ₂ O+ Al ₂ O ₃)	0,37	Гидролизаторный (TiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ +FeO+ MnO)/SiO ₂	0,16
Титановый TiO ₂ /SiO ₂	0,01	Алюмокремниевый Al ₂ O ₃ /SiO ₂	0,11
Общей нормативной щелочности (Na ₂ O+K ₂ O)/Al ₂ O ₃	0,33	$\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ индикатор климата $\Sigma\text{Ce}:(\text{La}-\text{Eu})/\Sigma\text{Y}:(\text{Gd}-\text{Lu})$	6,65–6,97
Индекс химического выветривания CIA (Al ₂ O ₃ /(Al ₂ O ₃ +CaO+Na ₂ O+ K ₂ O)) × 100	70,02	Индекс зоны выветривания $\Sigma\text{REE}+\text{Y}$	44,97–52,08

Табл. 3. Петрохимические модули исследуемой пробы

Минерал	Содержание, мас. %	Минерал	Содержание, мас. %
Кварц	58	Амфиболы	2
Микроклин	14	Ильменит	1
Ортоклаз	9	Гематит	1
Альбит	10	Магнетит	<1
Каолинит	5	Сумма прочих	<1

Табл. 4. Минеральный состав золотоносных отложений с о. Аскольд

климата (Балашов, 1976) $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y} = 6,65-6,97$. $\Sigma\text{PЗЭ}+\text{Y}$ составляет 44,97–52,08 г/т наряду с суммой редкоземельных элементов (далее РЗЭ) отложений (37,97–44,08 г/т) и верхнемеловых гранитов (83,6–86,55 г/т) указывают на вынос РЗЭ. Следовательно, новообразование минералов, которые могли бы концентрировать РЗЭ, было незначительно. Преобладание РЗЭ в гранитах над отложениями достигается ограниченным минеральным составом с преобладанием кварца.

На диаграмме распределения РЗЭ (рис. 5б) наблюдается преобладание легких редкоземельных элементов над тяжелыми с уклоном в сторону последних. $(\text{La}/\text{Yb})_n$ для отложений составляет от 6,4 до 8,4, $(\text{La}/\text{Sm})_n = 2,8-3,5$ и $(\text{Gd}/\text{Yb})_n = 1,7-2,0$. Для гранитов соотношения составляют $(\text{La}/\text{Yb})_n$ – от 2,51 до 9,9, $(\text{La}/\text{Sm})_n$ от 4 до 5,6 и $(\text{Gd}/\text{Yb})_n$ от 2,5 до 4.

Европиевая аномалия для отложений варьирует от 0,6 до 0,7, для гранитов 0,9–1,2. На мультиэлементных спектрах (рис. 5а) отложений отмечаются резкие минимумы Р, Eu, Nb (Ta) и Sr. Также низкие минимумы наблюдаются у Ti и Ba. Обычно такое поведение связано с тем, что при росте содержания Ti растёт и Nb (Ta), и наоборот. Бариевый минимум для отложений и гранита после выветривания одинаковый. Возможно, это связано с образованием каолинита по полевым шпатам. Максимумы отмечаются по U, Pb, Zr и Hf, что соответствует обогащению минералу-концентратору цирконию по сравнению с лимитированным содержанием в гранитах. Поскольку в глинистых сланцах минералы-концентраторы отсутствуют и фактически элементы находятся в атомно-сорбированном виде вследствие сорбции и ионного обмена на поверхности глинистых частиц, по сравнению с постархейским австралийским сланцем (PAAS) мультиэлементы исследуемых образцов испытывают обеднения, кроме некоторых Pb, U и Nb (Ta).

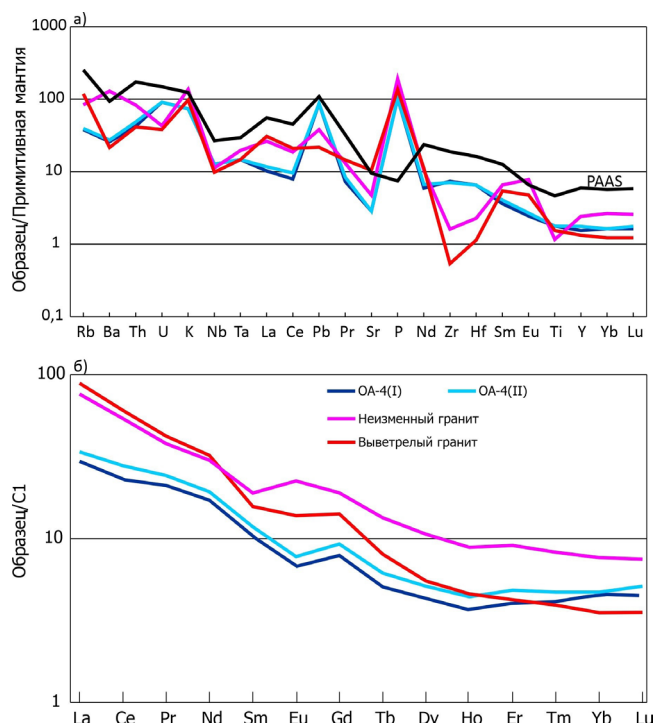


Рис. 5. Диаграммы распределения мультиэлементных спектров (а) (Sun, McDonough, 1989) и редкоземельных элементов (б) (McDonough, Sun, 1995). Спектр постархейского австралийского сланца (PAAS) нанесен на диаграмму по данным (Taylor, McLennan, 1985)

Граниты, служащие основным источником формирования отложений, имеют минимумы по Sr, Zr, Hf, Nb (Ta), U и Ti. При этом для них также отмечаются максимумы Rb, P, Pb, K и Eu. Вариации Nb (Ta) и Ti контролируются титанистыми минералами. Неизменные граниты, в отличие от гранитов после выветривания, имеют немного повышенные содержания всех элементов.

Минералогия отложений

По результатам рентгенофазового анализа (рис. 4) установлено, что основным минеральным видом, слагающим исследуемые рыхлые отложения, является кварц, менее распространены полевые шпаты (микроклин, ортоклаз и альбит), каолинит, амфиболы (актинолит, роговая обманка). Данные минеральный состав (табл. 4) согласуется с химическим (табл. 1). Окатанность зерен из отложений различна: на примере кварца в материале

встречаются зерна как средней окатанности (свойственные аллювиальным отложениям), так и неокатанные, угловатые (привычные для делювиальных отложений). Это подтверждает ранее сказанные слова о смешанном генезисе исследуемого материала. Зерна кварца и полевых шпатов в большинстве случаев не образуют сростки (за исключением крупных фракций, более 2 мм) и могут являться сопутствующим сырьем. Однако интерес в данном случае представляют рудные и акцессорные минералы: золото, гематит, магнетит, ильменит, титанит и циркон. Также установлено наличие в тяжелой фракции минералов редких металлов.

Золото. В отложениях установлены рудные содержания благородного металла – 0,5 г/т, что согласуется с ранними исследованиями – 0,3–0,5 г/т (Леликов, 2013). При проведении параллельных измерений колебания в содержаниях золота составили от 0,2 до 1,7 г/т. Это указывает на неоднородность распределения металла вследствие наличия его крупных частиц в исследуемом материале. При промывке пробы было обнаружено десяток частиц золота размерами от 100 до 750 мкм. Согласно (Методические рекомендации, 2007), такие частицы относятся к очень мелкому и мелкому золоту. Цвет металла желтый с красноватым оттенком. Частицы преимущественно слабоокатанные с незначительными следами скольжения. Типичный вид частичек золота из песчаных отложений о. Аскольд представлен на рис. 6.

На частицах наблюдаются грани кристаллов со слабой шагреновой поверхностью. Сами частицы плотные, представляют собой сростки кристаллов (на некоторых просматривается форма ромбоэдра), чешуек и пластинок, размер которых варьирует от 10 до 200 мкм.

Перечисленные характеристики металлических частиц в большей степени указывают на то, что золото мелкой крупности является первичным, а не новообразованным аутигенным. Последним обычно свойственна пористая или слоистая структура; наличие цементирующего минерального материала, сложенного металлическими

сплавами, часто золотосодержащими; присутствие на поверхности частиц перисто-дендритных структур, каемок химического выветривания, наростов (Кузнецова и др., 2019; Melchiorre et al., 2018; Giusti, 1986). Однако для точного подтверждения, что золото не подверглось вторичным изменениям (в частности, перекристаллизации), необходимо провести ряд дополнительных анализов и, особенно, исследование внутренней структуры металлических частиц (Никифорова и др., 2023).

Пленок и корочек окислов железа на поверхности частиц не обнаружено. Содержание благородного металла в частицах 82,7–100,0 мас.%, основные примеси – серебро (до 11,5 мас.%), железо (до 17,3 мас.%), тантал (до 2 мас.%) и медь (до 1,2 мас.%). Данные по крупности частиц Au согласуются с литературой (Леликов, 2013).

Для выявления других возможных примесей в самородном золоте или иных минералов Au проведен сцинтилляционный анализ. В результате пяти параллельных измерений с записью сцинтилляционного свечения золота и других элементов, таких как Ag, Pd, Pt, Te, Sb, As, S, Cu, установлено, что:

- золото в пробе встречается преимущественно в виде редких единичных крупных зерен, дающих четкие единичные вспышки;
- как Pd, Pt, Te, Sb, As, S, Cu не позволяют достоверно выявить связь этих элементов с золотом;
- вспышки золота с серебром присутствовали во всех проведенных измерениях, что позволяет с высокой долей достоверности говорить о связи золота с серебром.

Характерный вид сцинтилляционного графика золота приведен на рис. 7.

Так как в отсутствие крупных частичек золота содержание металла в материале находится в пределах 0,2 г/т, то можно предположить, что порядка 40% Au (с учетом среднего содержания 0,5 г/т) приходится на тонкодисперсные частицы (размер менее 10 мкм).

Тяжелая фракция составляет порядка 4 мас.% отложений. Большую долю (около половины) в ней занимают силикаты, представленные преимущественно амфиболами (роговая обманка, актинолит), топазом, клиноцоизитом и, предположительно, бериллом. Суммарное содержание силикатов в тяжелой фракции составляет порядка 45–50 мас.%. Среди рудных минералов в тяжелой фракции главными являются оксиды железа и титана: гематит до 30 мас.%, магнетит до 5 мас.% и ильменит до 15 мас.%. Реже встречаются зерна титанита, содержание которого находится в пределах 1–2 мас.%, и единичные зерна циркона.

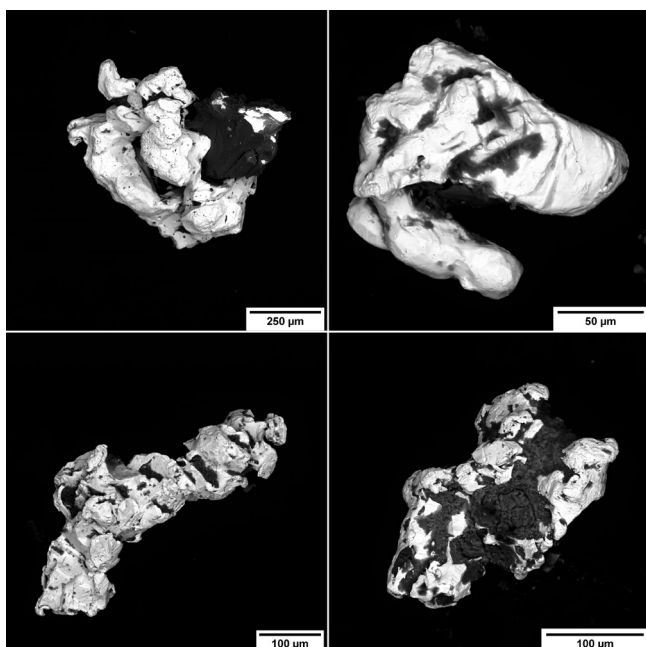


Рис. 6. Частицы самородного золота из отложений о. Аскольд. Снимки сделаны в режиме BSE.

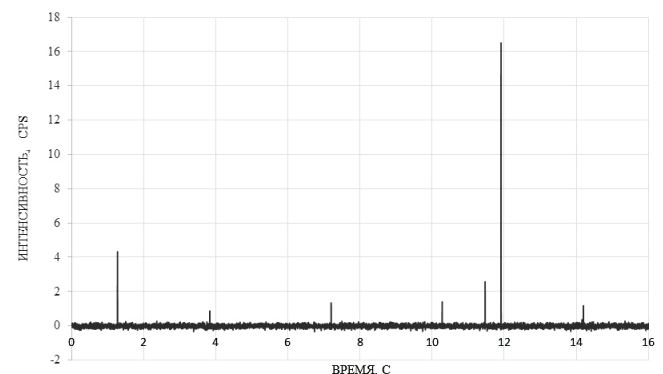


Рис. 7. График сцинтилляционного анализа Au

Гематит. Минерал образует таблитчатые и пластинчатые кристаллы, размерами от 50 мкм до 1 мм в диаметре, которые часто формируют сростки (рис. 8а). Гематит содержит примеси алюминия (до 2,0 мас.%) и титана (до 0,8 мас.%).

Магнетит установлен в форме октаэдрических кристаллов (рис. 8б) и их обломков. По аналогии с гематитом содержит небольшие примеси титана (до 0,7 мас.%) и алюминия (до 0,8 мас.%). В отдельных зернах минерала наблюдаются решетчатые структуры распада: в самих «решетках» содержание титана повышается до 1,5–2 мас.%.

Ильменит также, как и гематит, встречается в форме пластинчатых кристаллов размерами от 0,1 до 0,5 мм. Установлены отдельные зернистые агрегаты (рис. 8в), полностью либо частично сложенные ильменитом. Размер этих агрегатов достигает 1–2 мм. Некоторые отдельные зерна ильменита подвергнуты лейкоксенизации (количество титана превышает количество железа). Минерал содержит примеси марганца (1,3–1,8 мас.%) и ванадия (до 0,7 мас.%).

Титанит среди перечисленных минералов железа и титана встречается реже всего. Он образует зерна таблитчатой и клиновидной формы, размерами от 10 до 500 мкм. Часто наблюдаются зернистые агрегаты титанита с породообразующими минералами (например, с мусковитом, рис. 8г).

Минералы редких и редкоземельных металлов встречаются в тяжелой фракции, за исключением циркона, редко. Представлены они цирконом, монацитом, ксенотимом и метаотенитом.

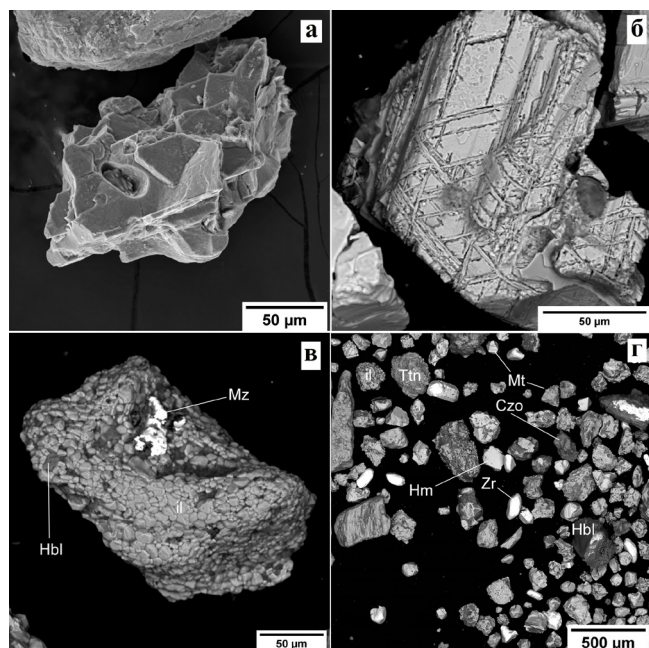


Рис. 8. Основные рудные минералы железа и титана: а – сросток пластинчатых кристаллов гематита; б – октаэдрический кристалл магнетита со структурами распада; в – зернистый агрегат ильменита (il) в сростке с монацитом (Mz) и роговой обманкой (Hbl); г – зернистый агрегат титанита (Ttn) и мусковита в ассоциации с зернами циркона (Zr), ильменита (il), гематита (Hm), магнетита (Mt), роговой обманки (Hbl) и клиноцоизита (Czo). Снимки (а) и (б) сделаны в режиме SE, (в) и (г) – в режиме BSE

Циркон обнаружен в виде призматических кристаллов (комбинация тетрагональных призм и дипирамид, рис. 8г) и их обломков, размером от 50 до более 500 мкм. Минерал содержит примеси железа (0,8–6,0 мас.%), гафния (0,7–1,8 мас.%), алюминия (до 1,3 мас.%). При ручной доводке тяжелой фракции содержания циркона в ней увеличиваются в разы (примерно до 5 мас.%), что может представлять интерес при комплексной переработке отложений.

Монацит и ксенотим встречаются в сростках с другими минералами (например, с ильменитом). Сами фосфаты образуют зерна таблитчатой и неправильной форм (рис. 8в), размеры их от 15 до 100 мкм. Монацит содержит примеси лантана (14,1–15,8 мас.%) и неодима (10,2–12,7 мас.%), ксенотим – примеси средних и тяжелых редкоземельных элементов (Dy+Er+Yb+Gd до 12,7 мас.%), железа (3,6 мас.%) и урана (до 1,7 мас.%).

Метаотенит установлен в виде единичных зерен таблитчатой формы, размерами не более 30 мкм, с весьма совершенной спайностью.

Обсуждение результатов

Большая часть полученных результатов по химическому и минеральному составу исследуемых отложений с ручья Основательный острова Аскольд указывают на прямую связь с Аскольдовским месторождением коренного золота (Леликов, 2013), которое расположено на крутом западном склоне восточного полуострова (вблизи устья ручья Основательный) и связано с кварц-пиритовыми жилами в позднемереловой гранитной интрузии. На это, помимо близкого расположения отложений к коренному источнику, указывает одинаковая высокая пробыность золота; основная примесь в металле – серебро; состав тяжелой фракции, где установленные рудные и акцессорные минералы (ильменит, титанит, циркон, монацит, ксенотим и т.д.) свойственны кислым интрузивным породам. При этом наличие других примесей (меди, железа и тантала) в коренном золоте не отмечено (Леликов, 2013; Ставрова и др., 2020). На близкое расположение коренного источника золота также указывает слабая шагреньевая поверхность на металлических частицах. Присутствие железа и тантала в металлических частицах связано, предположительно, с наличием мелких вкраплений других рудных минералов (гематита, колумбита и т.п.).

Результаты в большей мере согласуются с золотом из других подобных россыпных месторождений, расположенных вблизи коренных источников: чокрак-караганских песчаники и россыпи некоторых рек Северного Кавказа (Богущ, Юсупов, 2017); россыпи р. Амазар, Восточное Забайкалье (Колпаков и др., 2025); аллювиальные отложения в регионе Elogo, северо-запад республики Конго (Watha-Ndoudy et al., 2023) и аналогичные россыпные месторождения и рудопроявления в КНР (Nie, 1997). Форма золотин с перечисленных месторождений проволочковидная, лепешковидная, изометричная, иногда просматривается форма кристаллов, металлическим блеском, слабая коррозия или ее отсутствие; наблюдаются сростки с кварцем, которые указывают на их связь с кварцевыми жилами. При этом эти перечисленные характеристики касаются не всех золотых частиц. Например, с россыпи р. Амазар, частицы нередко покрыты бурым налетом гидроксидов Fe, они средней окатанности с шероховатой

поверхностью, имеют охристо-глинистые налеты и примазки в углублениях. В этом случае уже наблюдается разница с исследуемым материалом.

Минеральный состав тяжелой фракции имеет небольшие отличия от шлихов с перечисленных месторождений, что связано с методикой пробоподготовки: в первом случае минералы с плотностью более 3 г/см³ отделяли от всего остального материала тяжелой жидкостью, а во втором случае – выделяли более плотные минералы путем ручной доводки или гравитационной сепарацией. Поэтому в исследуемой тяжелой фракции преобладают силикаты (роговая обманка, актинолит, топаз, клиноцоизит). В шлихах с других аналогичных россыпей главными минералами являются циркон, ильменит, магнетит, рутил и др. Также на это все влияет и дальность переноса каменного материала. Состав исследуемой тяжелой фракции близок больше к шлихам, полученных из элювиальных отложений (например, в Могочинском золоторудном районе, Восточное Забайкалье).

Возможно, интерес в данных отложениях, помимо золота, представляют ильменит и циркон как потенциальное попутное сырье на титан и цирконий. На это указывает то, что после ручной доводки тяжелой фракции до черного шлиха и последующем визуальном изучении его под микроскопом указанные два минерала занимали большую часть полученного материала. Так содержание ильменита в черном шлихе составило порядка 85–90 мас.%. Содержание циркона составило порядка 5 мас.%. То есть при гравитационной сепарации возможно получение богатого комплексного концентрата.

Заключение

В результате проведенных работ дана характеристика золотоносных отложений ручья Основательный на острове Аскольд (залив Петра Великого Японского моря), из которой выделены следующие выводы.

- Основным минералом, слагающим исследуемый материал, является кварц. Разная окатанность его зерен говорит о смешанном генезисе (аллювиально-делювиальном), а частичная разработка этих отложений на золото позволяет отнести эти отложения к техногенным.

- Состав отложений соответствует аркозовым пескам, а поведение редкоземельных и микроэлементов исследуемой пробы свидетельствует о выветривании гранитов в гумидной обстановке с образованием малого количества новых устойчивых минералов в виде каолинита.

- Отложения характеризуются как существенно кварцевые литогенные породы, образованные в пассивной окраине.

- Тяжелая фракция, составляющая порядка 4 мас.% отложений, содержит порядка 50 мас.% гематита, магнетита, ильменита, титанита, циркона, монацита, ксенотима, метаотенита и золото.

- Основная доля приходится на минералы железа и титана, кондиционные содержания установлены только у золота – 0,5 г/т.

- повышенные содержания (по сравнению с кларками для псаммитовых пород) – у серебра (0,5 г/т) и оксида титана (0,9 мас.%).

- Золото присутствует только в самородном виде с примесью серебра, максимальная крупность его частиц

достигает 750 мкм (относится к мелкому золоту). На тонкодисперсное золото приходится примерно 40 мас.%.

- Внешний вид частиц золота, их состав в большей степени согласуются с аналогичными материалом из золотоносных россыпей, связанных с рудными жилами в магматических интрузиях кислого состава. Минеральный состав тяжелой фракции отличается, но не существенно.

Рассмотренный в работе техногенный материал представляет собой сырье только на золото. Однако, если в технологической схеме применять гравитационное обогащение, то возможно получение богатого титаном, железом и цирконием продукта с содержанием до 85 мас.% ильменита и порядка 5 мас.% циркона. Сами отложения содержат много кремнезема (более 80 мас.%) и мало примесей цветных и тяжелых металлов, что может представлять интерес для строительной промышленности. Однако, для полной оценки пригодности сырья для извлечения ценных компонентов и его применения в отдельных отраслях производства необходимо провести ряд дополнительных исследований и испытаний.

Благодарности

Авторы выражают благодарность за помощь в отборе проб инструкторов турклуба «Край света» С.А. Тышкевичу и С.А. Черепанову.

Авторы выражают благодарность рецензентам за внимательное отношение к статье и ценные замечания.

Литература

- Анохин В.М., Рыбалко В.И., Аленичева А.А. и др. (2011). Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Дальневосточная. Лист К (52), 53. Владивосток. Санкт-Петербург: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 332 с.
- Балашов Ю.А. (1976) Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 268 с.
- Богуш И.А., Юсупов А.Р. (2017). Морфология и источники россыпного золота Северного Кавказа. *Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН*, 71, с. 4–12.
- Горбунова Н.П., Татарина Л.А. (2015). Многоканальный спектрометр СРМ-35 - новые возможности силикатного рентгенофлуоресцентного анализа. *Ежегодник-2014. Труды ИГГ УрО РАН*. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, (162), с. 235–237.
- Горлова О.Е., Шадрунова И.В., Жилина В.А. и др. (2020). Повышение полноты извлечения золота из лежалых отходов переработки золотоносных руд. *Известия ТулГУ. Науки о земле*, 1, с. 193–210. DOI: 10.46689/2218-5194-2020-1-1-193-210
- Колпаков В.В., Неволько П.А., Дранишников Д.Е. (2025). Минералого-геохимическая характеристика россыпного и рудного золота района верховий р. Амазар (Могочинский золоторудный район, восточное Забайкалье). *Георесурсы*, 27(1), с. 178–193. <https://doi.org/10.18599/grs.2025.1.7>
- Кузнецова И.В., Сафронов П.П., Моисеенко Н.В. (2019). Вещественно-минеральная характеристика техногенных россыпей-потенциальных источников благородного металла (на примере Нижнеселемджинского золотоносного узла Приамурья, Россия). *Георесурсы*, 1(21), с. 2–14. <https://doi.org/10.18599/grs.2019.1.2-14>
- Леликов Е.П. (2013). Остров Аскольд: геологическое строение и золотоносность. *Вестник ДВО РАН*, 6, с. 198–204.
- Литвиненко И.С., Голубенко И.С. (2015). Ресурсный потенциал золота в отвальном комплексе отработанных россыпных месторождений Магаданской области. *Разведка и охрана недр*, 5, с. 17–24.
- Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых Россыпные месторождения. (2007). Москва: ФГУ ГКЗ, 64 с.
- Никифорова З.С., Калинин Ю.А., Наумов В.А., Лаломов А.В. (2023). Модель формирования золотоносных россыпей в платформенных областях (Восток Сибирской платформы). *Литология и полезные ископаемые*, 6, с. 570–587. DOI: 10.31857/S0024497X23700209

Сиротин В.И., Белявцева Е.Е. (2010). Лантаноиды как индикатор зональности латеритной (глиноземной) коры выветривания КМА. *Доклады Академии наук*, 1(432), с. 103–104.

Ставрова О.О., Прокофьев В.Ю., Мохов А.В. и др. (2020). Месторождение золота Аскольд (остров Аскольд, Приморье, Россия): физико-химические параметры и состав рудообразующих флюидов. *Геология рудных месторождений*, 3(63), с. 272–277. <https://doi.org/10.31857/S0016777020020057>

Степанов В.А. (2012). Металлогения золота Приморья. *Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки*, 59, с. 112–119.

Таракановский В.И. (2022). О мерах по обеспечению устойчивой золотодобывающей отрасли в условиях санкционной политики США и их союзников, и о сохранении и увеличении запасов золота в России. *Золото и технологии*, 2, с. 44–46.

Федоров С.А., Амдур А.М., Малышев А.Н. и др. (2021). Обзор техногенных и вторичных золотосодержащих отходов и способы извлечения из них золота. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, 11–1, с. 346–365. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_111_0_346

Чашин В.В., Петров С.В., Киселева Д.В., Савченко Е.Э. (2021). Платиноносность и условия образования сульфидного ЭПГ-Cu-Ni месторождения НЮД-II Мончегорского плутона, Кольский полуостров, Россия. *Геология рудных месторождений*, 2(63), с. 99–131. <https://doi.org/10.31857/S0016777021020027>

Шабанова Е.В., Бусько А.Е., Васильева И.Е. (2012). Дуговой сцинтилляционный атомно-эмиссионный анализ порошковых проб при использовании МАЭС с высоким временным разрешением. *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*, 1–2(78), с. 24–33.

Шатров В.А., Войсеховский Г.В. (2009). Реконструкция обстановок фосфатообразования (по данным распределения лантаноидов). *Геология и геофизика*, 10(50), с. 1104–1118.

Юдович Я.Э., Беляев А.А., Кетрис М.П. (1998). Геохимия и рудогенез черных сланцев Пай-Хоя. Санкт-Петербург: Наука, 366 с.

Altomare A., Corriero N., Cuocci C. et al. (2015). QUALX2.0: a qualitative phase analysis software using the freely available database POW_COD. *Journal of Applied Crystallography*, 48, pp. 598–603. <https://doi.org/10.1107/S1600576715002319>

Energy Dispersive Spectroscopy. (2022). <https://nano.oxinst.com/products/eds/>

Giusti L. (1986). The morphology, mineralogy, and behavior of u” fine-grained” gold from placer deposits of Alberta: sampling and implications for mineral exploration. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 11(23), pp. 1662–1672. <https://doi.org/10.1139/e86-154>

Gurman M.A., Shcherbak L.I., Bogomyakov R.V. et al. (2016). Mineralogical test and production research of gold mine waste. *Journal of Mining Science*, 52, pp. 974–981. <https://doi.org/10.1134/S1062739116041489>

Kovalevskii A.L., Prokopchuk S.I. (1995). Scintillation emission spectral analysis (SESA) – the method of choice for mass analysis of geochemical samples for gold and PGEs. *Journal of Geochemical Exploration*, 1–3(55), pp. 145–150. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(95\)00020-8](https://doi.org/10.1016/0375-6742(95)00020-8)

Kuimova N.G., Sorokin A.P. (2010). Scope of bacterial concentration of gold in technogenic placers of upper Priamurye. *Doklady Earth Sciences*, 1(430), pp. 43–47. <https://doi.org/10.1134/S1028334X10010095>

McDonough W.F., Sun S.S. (1995). The Composition of the Earth. *Chemical Geology*, 120, pp. 223–253. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00140-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00140-4)

Melchiorre E.B., Orwin P.M., Reith F. et al. (2018). Biological and geochemical development of placer gold deposits at Rich Hill, Arizona, USA. *Minerals*, 8(2), pp. 1–20. <https://doi.org/10.3390/min8020056>

Nesbitt, H.W., and G.M. Young (1982). Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299, pp. 715–717. <https://doi.org/10.1038/299715a0>

Nie F.-G. (1997). An Overview of the Gold Resources of China. *International Geology Review*, 1(39), pp. 55–81. <https://doi.org/10.1080/00206819709465259>

Sun S.S., McDonough W.F. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, Special Publications*. London, 42, pp. 313–345. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>

Syed S. (2012). Recovery of gold from secondary sources - A review. *Hydrometallurgy*, 115–116, pp. 30–51. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2011.12.012>

Taylor S.R., McLennan S.M. (1985). The continental crust: its composition and evolution. An examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks. Oxford: Blackwell, 312 p.

Vikent'eva O.V., Prokofiev V.Yu., Gamyaniy G.N. et al. (2018) Intrusion-related gold-bis muth deposits of North-East Russia: PTX parameters and sources of hydrothermal fluids. *Ore Geology*, 102, pp. 240–259. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.09.004>

Vokhidov B.R. (2022). New Horizons Processing of Technogenic Waste of the Copper Industry. *The American Journal of Applied sciences*, 4(05), pp. 42–51. <https://doi.org/10.37547/tajas/Volume04Issue05-03>

Watha-Ndoudy N., Okoumel P.E.W., Miyouna T. et al. (2023). Characterization of Gold Bearing Placers and Associated Minerals in the Elogo Region (North-West Congo Republic). *Open Journal of Geology*, 13(5), pp. 287–305. <https://doi.org/10.4236/ojg.2023.135014>

Сведения об авторах

Сергей Андреевич Федоров – кандидат техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории пирометаллургии цветных металлов, Институт металлургии имени академика Н.А. Ватолина УрО РАН; старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории рекультивации нарушенных земель и техногенных объектов, Уральский государственный горный университет

Россия, 620016, Екатеринбург, ул. Амундсена, д. 101
Россия, 620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, д. 30
e-mail: saf13d@mail.ru

Игорь Александрович Власов – старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории рекультивации нарушенных земель и техногенных объектов, Уральский государственный горный университет

Россия, 620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, д. 30
e-mail: vlasovbkpost@bk.ru.

Тимур Сергеевич Якимов – младший научный сотрудник лаборатории газогеохимии, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН

Россия, 690041, Владивосток, ул. Балтийская, д. 43
e-mail: yakimov-timur@mail.ru.

Дарья Алексеевна Петрова – лаборант-исследователь научно-исследовательской лаборатории рекультивации нарушенных земель и техногенных объектов, Уральский государственный горный университет

Россия, 620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, д. 30
e-mail: dasha1999_4@mail.ru

Павел Дмитриевич Жердев – старший инженер лаборатории газогеохимии, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН

Россия, 690041, Владивосток, ул. Балтийская, д. 43
e-mail: pasha.zherdev.90@mail.ru

Статья поступила в редакцию 10.01.2025;

Принята к публикации 05.09.2025;

Опубликована 30.03.2026

Material Characteristics of the Gold-Bearing Formations of the Thoroughbred Creek (Askold Island, the Great Peter Bay)

S.A. Fedorov^{1, 2, *}, I.A. Vlasov², T.S. Yakimov³, D.A. Petrova², P.D. Zherdev³

¹Vatolin Institute of Metallurgy of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation

²Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russian Federation

³V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation

*Corresponding author: Sergei A. Fedorov, e-mail: safl3d@mail.ru

Abstract. The article presents the results of a study of the material composition of psammite sediments located near the Thoroughbred creek on Askold Island (the Great Peter Bay, Sea of Japan). The sediments are stacked (in wt.%) quartz 58, microcline 14, orthoclase 9, albite 10, kaolinite 5 and amphiboles (actinolite, hornblende) 2, which is close to the composition of the bedrock (biotite-hornblende granites and plagiogranites). The bedrock located next to the sediments. The different granulation of the grains (for example, quartz) indicates a mixed genesis of the sands (alluvial-deluvial). And the partial development of these sediments for gold allows them to be classified as technogenic. The material composition of psammite sediments corresponds to arkose sands. The nature of the behavior of rare earth and trace elements in them indicates the weathering of granites in a humid environment with the formation of a small number of new stable minerals in the form of kaolinite. There is also an enrichment of Ti, U, Pb, Zr and Hf in arkose sands, compared with granites. The presence of ilmenite, zircon and metaothenite control the enrichment of the above elements. Arkose sands are characterized as essentially quartz lithogenic rocks formed in the passive margin. The heavy fraction is about 4 wt.% psammite material. It contains hematite, magnetite, ilmenite, titanite, zircon, monazite, xenotime, metaothenite and gold. The main share is accounted for by iron and titanium minerals. Conditioned contents were found only for gold (0.5 g/t), elevated contents – for silver (0.5 g/t) and titanium oxide (0.9 wt.%). Gold is present only in its native form. The maximum particle size reaches 750 microns. The particles contain impurities of silver, iron, copper and tantalum. The content of gold itself in the particles varies from 82.7 to 100 wt.%. The studied sediments may be of interest to the construction industry (in addition to raw materials for gold), since the sediments contain a lot of silica (more than 80 wt.%) and few harmful impurities.

Keywords: technogenic sediments, sand, granulometric composition, chemical composition, mineral composition, gold, ilmenite, zircon

Recommended citation: Fedorov S.A., Vlasov I.A., Yakimov T.S., Petrova D.A., Zherdev P.D. (2026). Material Characteristics of the Gold-Bearing Formations of the Thoroughbred Creek (Askold Island, the Great Peter Bay). *Georesursy = Georesources*, 28(1), pp. 149–159. <https://doi.org/10.18599/grs.2026.1.4>

Acknowledgements

The authors express their gratitude to S.A. Tyshkevich and S.A. Cherepanov for their help in sampling the instructors of the “Edge of the World” tour club.

References

- Altomare A., Corriero N., Cuocci C. et al. (2015). QUALX2.0: a qualitative phase analysis software using the freely available database POW_COD. *Journal of Applied Crystallography*, 48, pp. 598–603. <https://doi.org/10.1107/S1600576715002319>
- Anokhin V.M., Rybalko V.I., Alenicheva A.A. et al. (2011). State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1: 1,000,000 (third generation). The Far Eastern series. Sheet K (52), 53. Vladivostok. St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 332 p. (In Russ.)
- Balashov Yu. A. (1976). *Geochemistry rare-earth elements*. Moscow: Science, 268 p. (In Russ.)
- Chashchin V.V., Petrov S.V., Kiseleva D.V., Savchenko E.E. (2021). Platinum content and conditions of formation of the sulfide EPG-Cu-Ni deposit of the NYUD-II Monchegorsky pluto, Kola Peninsula, Russia. *Geologiya rudnykh mestorozhdenij*, 2(63), pp. 99–131. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0016777021020027>
- Energy Dispersive Spectroscopy. (2022). <https://nano.oxinst.com/products/eds/>
- Fedorov S.A., Amdur A.M., Malyshev A.N. et al. (2021). An overview of man-made and secondary gold-containing wastes and methods of extracting gold from them. *Mining Information and Analytical Bulletin*, 11-1, pp. 346–365. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_111_0_346
- Gorbunova N.P., Tatarinova L.A. (2015). Multichannel spectrometer CPM-35 - new possibilities of silicate X-ray fluorescence analysis. *Ezhgodnik-2014. Trudy IGG UrO RAN*. Yekaterinburg: Izd-vo UrO RAN (162), pp. 235–237. (In Russ.)
- Gorlova O.E., Shadrinova I.V., Zhilina V.A. et al. (2020). Increasing the completeness of gold extraction from stale waste from the processing of gold-bearing ores. *Izvestiya TulGU. Nauki o zemle*, 1, pp. 193–210. (In Russ.)
- Giusti L. (1986). The morphology, mineralogy, and behavior of u” fine-grained” gold from placer deposits of Alberta: sampling and implications for mineral exploration. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 11(23), pp. 1662–1672. <https://doi.org/10.1139/e86-154>
- Gurman M.A., Shcherbak L.I., Bogomyakov R.V. et al. (2016). Mineralogical test and production research of gold mine waste. *Journal of Mining Science*, 52, pp. 974–981. <https://doi.org/10.1134/S1062739116041489>
- Kolpakov V.V., Nevolko P.A., Dranishnikova D.E. (2025). Mineralogical and Geochemical Characteristics of Placer and Ore Gold in the Upper Reaches of the Amazar River (Mogochinsky Gold Mining District, Eastern Transbaikalia). *Georesursy = Georesources*, 27(1), pp. 178–193. (In Russ.) <https://doi.org/10.18599/grs.2025.1.7>
- Kovalevskii A.L., Prokopchuk S.I. (1995). Scintillation emission spectral analysis (SESA) – the method of choice for mass analysis of geochemical samples for gold and PGEs. *Journal of Geochemical Exploration*, 1–3(55), pp. 145–150. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(95\)00020-8](https://doi.org/10.1016/0375-6742(95)00020-8)
- Kuimova N.G., Sorokin A.P. (2010). Scope of bacterial concentration of gold in technogenic placers of upper Priamurye. *Doklady Earth Sciences*, 1(430), pp. 43–47. <https://doi.org/10.1134/S1028334X10010095>
- Kuznetsova I.V., Safronov P.P., Moiseenko N.V. (2019). Material and mineral characteristics of man-made placers-potential sources of precious

metal (on the example of the Nizhneselemdzhinsky gold-bearing node of the Amur region, Russia). *Georesursy = Georesources*, 21(1), pp. 2–14. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2019.2.3-14>

Lelikov E.P. (2013). Askold Island: geological structure and gold content. *Vestnik DVO RAN*, 6, pp. 198–204. (In Russ.)

Litvinenko I.S., Golubenko I.S. (2015). The resource potential of gold in the dump complex of spent placer deposits of the Magadan region. *Razvedka i ohrana neдр*, 5, pp. 17–24. (In Russ.)

McDonough W.F., Sun S.S. (1995). The Composition of the Earth. *Chemical Geology*, 120, pp. 223–253. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00140-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00140-4)

Methodological recommendations on the application of the classification of reserves of deposits and forecast resources of solid minerals placer deposits. (2007). Moscow: FGU GKZ, 64 p. (In Russ.)

Nesbitt, H.W., and G.M. Young (1982). Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299, pp. 715–717. <https://doi.org/10.1038/299715a0>

Shabanova E.V., Busko A.E., Vasilyeva I.E. (2012). Arc scintillation atomic emission analysis of powder samples using MAES with high time resolution. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*, 1–2(78), pp. 24–33. (In Russ.)

Shatrov V.A., Wojciechowski G.V. (2009). Reconstruction of phosphate formation environments (according to lanthanide distribution data). *Russian Geology and Geophysics*, 10(50), pp. 1104–1118. (In Russ.)

Sirotn V.I., Belyavtseva E.E. (2010). Lanthanides as an indicator of the zonality of the laterite (alumina) crust of the KMA weathering. *Reports of the Academy of Sciences*, 1(432), pp. 103–104. (In Russ.)

Stavrova O.O., Prokofiev V.Yu., Mokhov A.V. and others (2020). Askold Gold Deposit (Askold Island, Primorye, Russia): physico-chemical parameters and composition of ore-forming fluids. *Geologiya rudnykh mestorozhdenij*, 3(63), pp. 272–277. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0016777020020057>

Stepanov V.A. (2012). Metallogeny of Primorye gold. *Vestnik Amurskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i ekonomicheskie nauki*, 59, pp. 112–119. (In Russ.)

Sun S.S., McDonough W.F. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, Special Publications*. London, 42, pp. 313–345. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>

Syed S. (2012). Recovery of gold from secondary sources - A review. *Hydrometallurgy*, 115–116, pp. 30–51. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2011.12.012>

Tarakanovsky V.I. (2022). On measures to ensure a stable gold mining industry in the context of the sanctions policy of the United States and its allies, and on the preservation and increase of gold reserves in Russia. *Zoloto i tekhnologii*, 2, pp. 44–46. (In Russ.)

Taylor S.R., McLennan S.M. (1985). The continental crust: its composition and evolution. An examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks. Oxford: Blackwell, 312 p.

Vikent'eva O.V., Prokofiev V.Yu., Gamyani G.N. et al. (2018) Intrusion-related gold-bis muth deposits of North-East Russia: PTX parameters and sources of hydrothermal fluids. *Ore Geology*, 102, pp. 240–259. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.09.004>

Vokhidov B.R. (2022). New Horizons Processing of Technogenic Waste of the Copper Industry. *The American Journal of Applied sciences*, 4(05), pp. 42–51. <https://doi.org/10.37547/tajas/Volume04Issue05-03>

Yudovich Ya.E., Belyaev A.A., Ketris M.P. (1998). Geochemistry and ore genesis of the Pai Hoi black shale. St. Petersburg: Nauka, 366 p. (In Russ.)

Watha-Ndoudy N., Okoumel P.E.W., Miyouna T. et al. (2023). Characterization of Gold Bearing Placers and Associated Minerals in the Elogo Region (North-West Congo Republic). *Open Journal of Geology*, 13(5), pp. 287–305. <https://doi.org/10.4236/ojg.2023.135014>

About the Authors

Sergei A. Fedorov – Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher at the Laboratory of Pyrometallurgy of Non-ferrous Metals, Institute of Metallurgy of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Senior Researcher at the Research Laboratory of Reclamation of Disturbed Lands and Technogenic Objects, Ural State Mining University

101 Amundsen str., Yekaterinburg, 620016, Russian Federation

30 Kuibyshev str., Yekaterinburg, 620144, Russian Federation

e-mail: saf13d@mail.ru

Igor A. Vlasov – Senior Researcher at the Research Laboratory of Reclamation of Disturbed Lands and Technogenic Objects, Ural State Mining University

30 Kuibyshev str., Yekaterinburg, 620144, Russian Federation

e-mail: vlasovbkpost@bk.ru

Timur S. Yakimov – Junior Researcher at the Laboratory of Gas Geochemistry, V.I. Ilyichev Pacific Oceanological Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

43 Baltiyskaya str., Vladivostok, 690041, Russian Federation

e-mail: yakimov-timur@mail.ru

Dariya A. Petrova – Laboratory Researcher at the Research Laboratory of Reclamation of Disturbed Lands and Technogenic Objects, Ural State Mining University

30 Kuibyshev str., Yekaterinburg, 620144, Russian Federation

e-mail: dasha1999_4@mail.ru

Pavel Dmitrievich Zherdev – Senior Engineer at the Laboratory of Gas Geochemistry, V.I. Ilyichev Pacific Oceanological Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

43 Baltiyskaya str., Vladivostok, 690041, Russian Federation

e-mail: pasha.zherdev.90@mail.ru

Manuscript received 10 January 2025;

Accepted 5 September 2025;

Published 30 March 2026

© 2026 The Authors. This article is published in open access under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)