

О микро- и наноразмерном золоте в корях выветривания золотоносных территорий (на примере участка минерализации в бассейне р. Адамиха, Приамурье)

И.В. Кузнецова^{1*}, А.И. Дементюенко²

¹Институт геологии и природопользования Дальневосточного отделения РАН, Благовещенск, Россия

²ООО «Амурголд», Благовещенск, Россия

В статье обозначена проблема необходимости учета микрометрового (от 1 мм до 0,12 мкм) и наноразмерного (< 0,12 мкм) золота в россыпях и корях выветривания для повышения объективности оценок перспектив их и размываемых рудных объектов. Приведены результаты технологических исследований золотоносных делювиальных отложений в долине бассейна р. Адамиха (Приамурье). Произведена количественная оценка содержания микро- и нанозолота по фракциям рыхлого материала. Установлено, что в исследованной пробе (вес 50 кг) большая часть (78%) относится к самородному золоту размерности < 0,12 мкм, в том числе 0,1% находится в минералах-концентраторах, а 3,5% золота фракции < 3 мкм, вероятно коллоидного, содержится в технических растворах мокрой ситовки. Показано, что 3/4 общего количества (18% видимого и 57% невидимого) золота сконцентрировано во фракциях размерности 1–0,5 мм. Отмечено, что с учетом свободное невидимое золото ресурсы благородного металла исследуемого объекта увеличиваются в 3,4 раза. Показана возможность более объективной количественной оценки потенциала Au перспективных площадей с учетом содержания тонкодисперсного золота. Предложены возможные пути решения проблемы более достоверной оценки геологических запасов и оценки прогнозных ресурсов золота с учетом микро- и наноразмерных фракций. Сделан вывод, что исследование форм выделения и распределения, в том числе невидимого (размерность < 0,12 мкм) золота в россыпях и корях выветривания, будут способствовать более корректной оценке изучаемых золотоносных объектов и территорий с возможностью наращивания реального ресурсного потенциала благородного металла в регионе.

Ключевые слова: самородное золото, микроразмерное и нанозолото, россыпи, коры выветривания, золото-рудные месторождения, потенциал золотоносных районов и территорий

Для цитирования: Кузнецова И.В., Дементюенко А.И. (2023). О микро- и наноразмерном золоте в корях выветривания золотоносных территорий (на примере участка минерализации в бассейне р. Адамиха, Приамурье). *Георесурсы*, 25(3), с. 191–197. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.3.22>

Введение

В настоящее время одним из рекордсменов по золотодобыче в России является Дальневосточный федеральный округ. В Амурской области в 2021 г. добыто 23,7 т золота. Несмотря на то что приоритет по объемам золотодобычи, безусловно, принадлежит рудным месторождениям этой территории, треть от общего объема благородного металла (8,6 т) была добыта из россыпных месторождений. При этом почти 200 кг его произвели мелкие артели, добывающие ежегодно от 2 до 7 кг драгоценного металла, то есть обрабатывающие малообъемные месторождения с запасами золота до 0,5 т при среднем его содержании около 100 мг/м³ на массу.

В конце XX в. среднее содержание золота в обрабатываемых раздельным способом песках уменьшилось в 2–3 раза, а в дражной горной массе снизилось на 28% (Моисеенко, Кузнецова, 2015). Средняя крупность золота в перерабатываемой продуктивной массе при этом уменьшилась в 2,5–3 раза, что объясняется увеличением

в ней доли мелкого золота до 40%, а в отдельных россыпях – до 94% (Кузнецова, 2011, 2014). Наряду с этим в оценке средней крупности практически не учитывается наноразмерное (< 0,12 мкм) золото, доля которого в россыпях может быть сопоставима, а иногда и больше, чем микроскопического (Юшкин и др., 2005; Конеев, 2006). Особенно велики потери благородного металла в процессе обработки кор выветривания и россыпей при размыве золотоносных глинистых масс, минералы которых являются хорошими сорбентами Au и с которыми теряется и так называемое плавучее золото, легко переходящее во взвешенное состояние (Hough et al., 2011; Hastie et al., 2021; Shuster et al., 2016; Паленова и др., 2019).

Сокращение балансовых запасов россыпного золота и резкое снижение прироста разведанных запасов благородного металла обусловило вовлечение в разработку нетрадиционных источников золота – месторождений кор выветривания и техногенных образований (Беневольский, Шевцов, 2000; Ковлеков, 2002; Калинин и др., 2006; Афанасенко, Лазариди, 2010; Быховский, Спорыхина,

* Ответственный автор: Инна Владимировна Кузнецова
e-mail: kuzia67@mail.ru

© 2023 Коллектив авторов

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

¹ Нами принята следующая размерная градация самородного золота: видимое невооруженным глазом и с помощью оптических приборов, микрометровое золото (от 1 мм до 0,12 мкм) и условно невидимое, тонкодисперсное, наноразмерное (< 0,12 мкм).

2011; Рассказов и др., 2016; Наумов, Наумова, 2019; Голдырев и др., 2021). Основным методом обработки этих месторождений остается гравитационный, который не позволяет в полной мере извлекать высвобождающееся тонкодисперсное золото. И если при эксплуатации коренных месторождений современные технологии (флотация, обжиг коллективных концентратов, цианирование, подземное выщелачивание, биотехнологии и т.д.) позволяют извлекать большую часть нанозолота, то наноразмерный благородный металл, содержащийся в связанном и свободном состояниях как в россыпях, так и в корях выветривания, не только практически не добывается, но и никак не оценивается (Прусс, 1987; Лунев, Наумов, 2000; Флеров, 2004; Макаров, 2011; Мирзаханов, Мирзаханова, 2013; Hough et al., 2011; Литвинцев и др. 2017).

Ключевым моментом в решении проблемы извлечения наряду со средним и крупным мелкого и тонкого золота в России является экономическое обоснование эффективности добычи нанозолота, что определяет необходимость геологического изучения его месторождений и оценки запасов. В то же время объективная информация о большом количестве такого золота на конкретных геологических объектах может активизировать исследования по разработке новых технологий, позволяющих более эффективно его извлекать.

На сегодняшний день состояние современной науки позволяет произвести количественную переоценку ресурсов перспективных площадей с учетом содержания невидимого золота в россыпях и корях выветривания.

Целью настоящей работы являлось определение содержаний и установление размерностей золота в питающих аллювиальных россыпях делювиальных шлейфах, формирующихся за счет размыва коренных источников, и адекватная оценка ресурсов кор выветривания и россыпей с учетом микро- и наноразмерного золота.

Материалы и методы

Технологическая проба весом 50 кг отобрана из делювиальных отложений, в левом борту приустьевой части долины руч. Отпорный, правого притока р. Адамиха (53°2'40.60" с.ш., 129°23'41.79" в.д.), откуда начинается россыпь золота (рис. 1).

Пробоподготовка проводилась по методике, разработанной академиком РАН В.Г. Моисеенко (Моисеенко и др., 2004; Моисеенко, Моисеенко, 2012; Моисеенко, 2007; Дементенко, Моисеенко, 2014).

Отобранная проба делювия из приустьевой части долины руч. Отпорный представлена глинисто-песчано-гравийной смесью с обломками пород и минералов: кварцево-сланцевых сланцев, разновидностей риолитов, туфопесчаников, туфов. Гранулометрический ее состав по результатам сухой ситовки имеет следующий вид: крупная фракция (> 10 мм) составляет 7%, средняя (10–3 мм) – 30%, (3–1 мм) – 22% и мелкая (< 1 мм) – 41%. Содержания золота в исходной пробе 12,96 г/т по фракциям следующие: 0,037 г/т (> 3 мм); 0,135 г/т (3–1 мм) и 37 г/т (< 1 мм) (данные атомно-абсорбционного анализа). В связи с низкой золотоносностью материал фракций крупнее 1 мм не изучался.

Так как в этой фракции присутствует глинистая составляющая, при дальнейшей пробоподготовке использовали мокрое ситование этого материала на более

мелкие фракции: 1–0,5, 0,5–0,25 и < 0,25 мм. Стандартным методом из каждой фракции выделяли тяжелые фракции, определяли минеральный состав. Полученные после мокрого фракционирования водные растворы, с целью определения в них размерности и содержания наночастиц и ионов золота, пропускали через серию фильтров (красную/белую/синюю ленту) с размером пор 8–12, 5–8, 3–5 мкм соответственно. На каждом этапе фильтрования отделяли твердые осадки, соответствующие фильтрам, то есть получали более мелкие фракции твердой фазы. Суммировав вес осадков на фильтрах, определяли общую долю микрометровых фракций в пробе, в итоге получили: 2,58% приходится на фракции размерности 12–8 мм, 0,07% – 8–5 мкм и 0,02% – 5–3 мкм. Все фракции, в том числе осадки на фильтрах, и все растворы анализировали с применением атомно-абсорбционного метода на спектрофотометрах SOLAAR M6 и iCE3000 (Thermo electron corporation, США) на содержание золота (рис. 2).

Атомно-абсорбционный анализ на Au материала фракций и растворов, а также минералогический анализ шлиховых проб и образцов минералов проводились в Институте геологии и природопользования Дальневосточного отделения РАН.

Краткая геологическая характеристика золотоносного участка

Объект исследований находится на водоразделе рек Адамиха и Полуночка, правых притоков р. Орловка (бассейн р. Амур) (рис. 1). Согласно принятому минерагеническому районированию, он расположен на территории западной части Сохатинского медно-серебро-золоторудного узла (Вольский, 2007), сложенной меловыми вулканитами и отличающейся проявлениями молибден-порфировой и золоторудной полиметаллической рудных формаций.

В восточной части объекта, по руч. Ольховский известна непромышленная россыпь золота, выявленная в 1940 г. Единичные содержания золота в шлиховых пробах по ручью достигают 257 мг/м³ на массу, общие запасы не подсчитывались. Плотик сложен каолинированными, осветленными интенсивно пиритизированными породами. Золото в шлихах, как и везде в этом районе, преимущественно мелкое, в головках россыпей дендритовидное, комковатое, неправильной формы, часто в сростках с кварцем. Ассоциирует с цирконом, ильменитом, пиритом, в виде единичных зерен встречаются монацит, рутил, галенит, молибденит, киноварь и касситерит.

С целью предварительной количественной оценки содержаний и соотношений микро- и наноразмерного самородного золота в размываемых породах, в левом борту приустьевой части долины руч. Отпорный для исследований из делювиальных отложений была отобрана технологическая проба весом 50 кг (рис. 1).

Результаты и их обсуждение

Детально исследовали только мелкую фракцию, на долю которой приходится 99,7% от общего содержащегося в пробе благородного металла.

В табл. 1 представлено установленное распределение основных рудных минералов по фракциям, в том числе и золота (табл. 1).

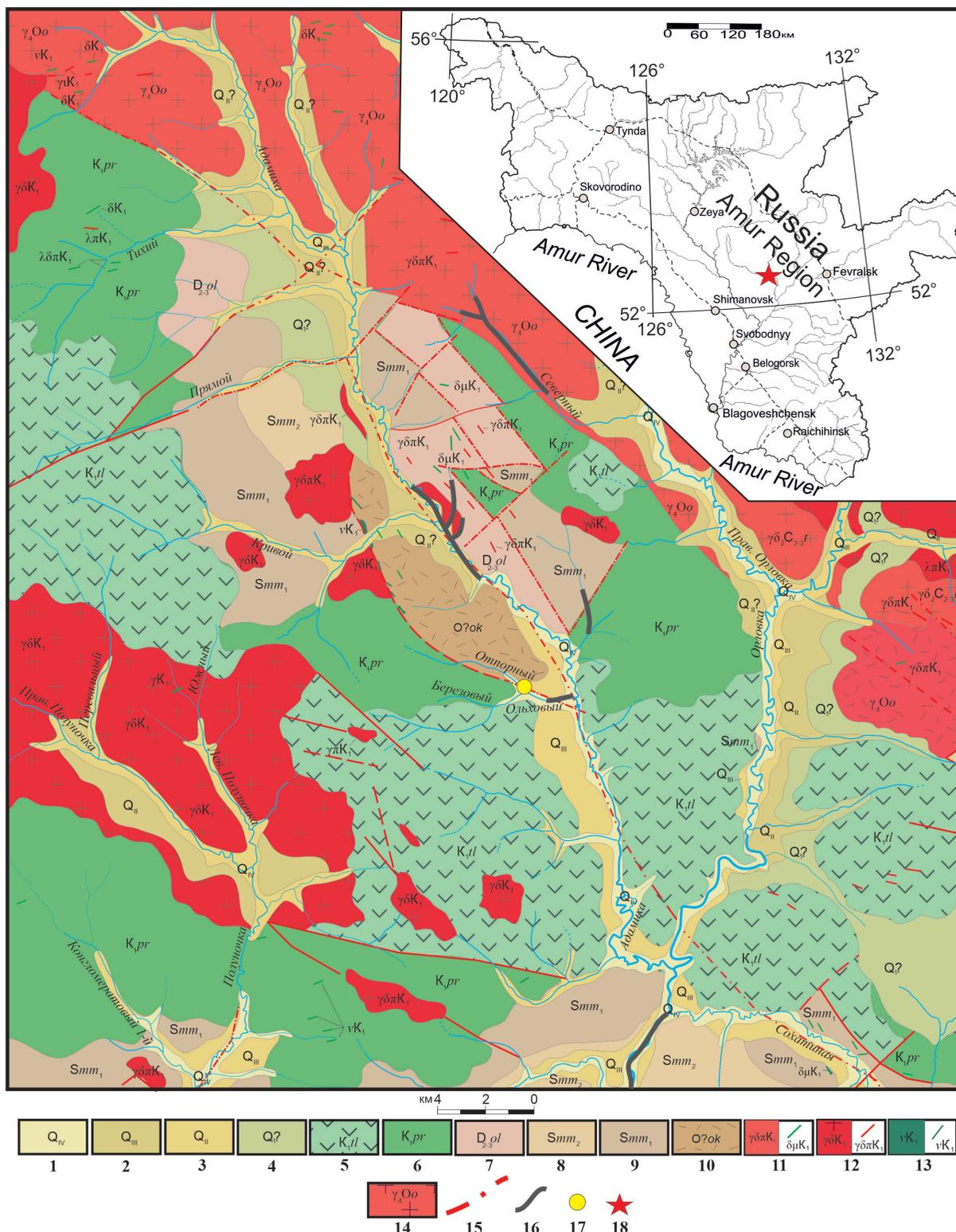


Рис. 1. Схематическая геологическая карта участка работ: географическое положение (отмечено на врезке), геологическое строение объекта исследований, с использованием (Вольский, 2007; Шиханов, 1982). Обозначения: четвертичные отложения: 1 – современные (галечники, пески, торфяники); 2 – верхнечетвертичные (глины, суглинки, супеси, пески, торфяники); 3 – среднечетвертичные (глины, суглинки, пески с галькой и галечники, торфяники); 4 – нижнечетвертичные (?) (глины, пески, с галькой, галечники); 5–6 меловые образования: 5 – порфириты, андезиты, их лавобрекчии, туфоконгломераты талданской свиты среднего состава; 6 – конгломераты, песчаники, алевролиты, туфы, туффиты (перемыкинская свита); девонские отложения: 7 – ольдойская свита (песчаники, известняки, алевролиты, туффиты); силурийская система, мамынская свита: 8 – песчаники, туфопесчаники, алевролиты, туфоалевролиты, туффиты, пепловые туфы дацитов и трахириодацитов, прослои и линзы аргиллитов, конгломератов, гравелитов; 9 – песчаники, гравелиты, алевролиты, линзы переслаивающихся алевролитов и песчаников, седиментационных брекчий, дресвяники, конгломераты; 10 – ордовикская система (?) риодациты, дациты, риолиты, андезиты, их туфы, трахириолиты, туфы трахибазальтов, игнимбриты и лавобрекчии дацитов и риолитов октябрьской толщи; раннемеловые интрузии: 11 – гранодиорит порфиры, диоритовые и кварцевые, диоритовые порфириты; 12 – гранодиориты кварцевые диориты, граниты и плагииграниты, аплитовые и лейкократовые граниты; 13 – габбро, габбро-диориты, диориты, диабазы; 14 – палеозойские граниты, субщелочные граниты; 15 – разломы; 16 – россыпи золота; 17 – точка отбора пробы; 18 – местоположение объекта исследований на схеме

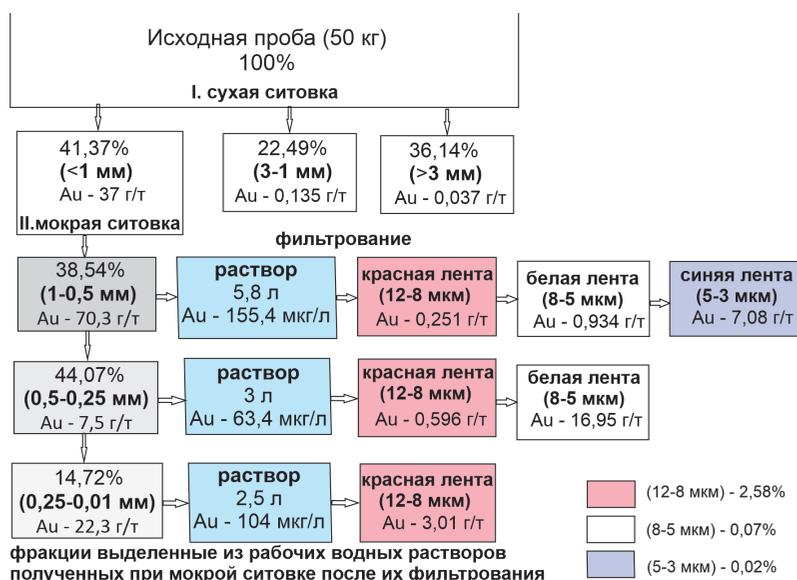


Рис. 2. Схема пробоподготовки пробы делювия: I – сухая ситовка исходной пробы, далее исследовалась только фракция (< 1 мм); II – мокрая ситовка фракции (< 1 мм) на более мелкие по размерности: 1–0,5; 0,5–0,25; 0,25–0,01 мм и далее на фильтрах 12–8; 8–5; 5–3 мкм

Минералы	Содержание Au в основных минералах, (AAA)*, г/т	Содержание минералов по фракциям, % (общее содержание, %)		
		1–0,5 мм (38%)	0,5–0,25 мм (45%)	< 0,25 мм (17%)
Мартит	0,2	72,54	67,77	63,62
Ильменит	0,6	0,87	17,8	2,33
Гематит	0,2	13,61	4,7	7,39
Хромит	0,2	4,58	0,86	–
Эпидот	–	3,93	1,84	3,69
Лимонит	0,2	1,03	1,32	2,05
Гранат	–	0,87	0,9	0,82
Магнетит	0,3	0,36	1,19	5,47
Кварц	0,1	0,18	1,78	0,01
Адуляр (ПШ)	0,31	1,16	1,14	0,73
Циркон	–	0,06	0,26	10,27
Барит	–	0,49	–	–
Рутил	–	0,14	0,17	0,6
Лейкоксен	–	0,03	0,2	2,48
Пирит	–	0,08	0,02	0,04
Галенит	–	0,04	0,05	0,09
Андалузит	–	0,01	–	–
Слюдистые сланцы	–	0,02	–	–
Сфен	–	–	–	0,27
Амфибол	–	–	–	0,14
Самородное золото, зн/мг		7/0,0069	4/0,0008	3/0,0008

Анализ: анатаз, дистен, силлиманит, ставролит, турмалин, корунд, киноварь, ортит, пироксен, касситерит – минералы, встречающиеся крайне редко, в количестве единичных знаков

Табл. 1. Минеральный состав шлихов мелких фракций делювия после пробоподготовки. * Приведены данные по проанализированным минералам

С уменьшением размерности фракции понижается содержание в шлихе таких минералов, как мартит, хромит, адуляр, барит, и растет процент содержания лимонита, магнетита, циркона, рутила, лейкоксена и галенита, сфена (титанита) и амфибола. Наибольшее содержание ильменита и кварца установлено во фракциях размерности 0,5–0,25 мм; гематита, эпидота и пирита – во фракциях 1–0,5 мм. Больше всего видимого самородного золота по массе (81%) имеется во фракциях размерности 1–0,5 мм, по 9% Au приходится на остальные две фракции. Выделены монофракции наиболее распространенных в пробе минералов, которые также анализировались на содержание Au (атомно-абсорбционный метод) (табл. 1).

Согласно полученным данным по фракциям общее содержание золота по размерности в исследуемой пробе распределено следующим образом: 22,1% приходится на долю условно видимого самородного золота размером (> 12 мкм), 0,1% Au содержится в минералах-концентраторах, таких как кварц, полевой шпат, ильменит, мартит и т.д. Соответственно, 77,8% благородного металла приходится на долю микро- и наноразмерного (< 12 мкм), а также ионного Au.

Гранулометрический состав исследованной пробы (< 1 мм) делювия, определенный в результате пробоподготовки, и содержание золота по мелким (в том числе микро- и нанометровым) фракциям представлены в табл. 2.

По полученным данным ситования (табл. 2, рис. 1) наибольшее количество от общего золота 74,83% содержится во фракциях 1–0,5 мм, причем 17,9% из него видимое самородное (табл. 2), а 0,04% приходится на Au в установленных минералах-концентраторах. Несмотря на разные объемы массы и содержания Au в более мелких минеральных фракциях 0,5–0,25 мм и < 0,25 мм, в них установлены примерно одинаковые количества благородного металла (по 9,1%), в том числе по 2% видимого. По результатам фильтрования (в осадках на фильтрах) практически 3,5% невидимого Au находится во фракциях размера 12–3 мкм, и столько же (3,5%) золота фракции < 3 мкм, вероятно коллоидного, установлено в технических водных растворах, использованных для мокрой ситовки (табл. 2).

Фракции	Процент от общего веса пробы (<1 мм)	Распределение содержаний золота по фракциям			
		всего		в том числе, %	
		г/г	%	видимое золото	в минералах-концентраторах (связанное)
1–0,5 мм	38,54	70,30	74,83	17,9	0,04
0,5–0,25 мм	44,07	7,5	9,08	2,1	0,07
0,25–0,01 мм	14,72	22,3	9,08	2,1	0,003
12–8 мкм	2,58	0,47	2,68	–	–
8–5 мкм	0,07	2,24	0,34	–	–
5–3 мкм	0,02	7,08	0,48	–	–
в растворе (< 3 мкм)	11,3 л	120 мкг/л	3,51	–	–

Табл. 2. Фракционный состав дельювия размерности < 1 мм по результатам мокрой ситовки и распределение содержаний золота по фракциям

Заключение

Таким образом, установлено, что 77,9% самородного золота от всего содержащегося в исследованной пробе дельювия (фракция < 1 мм) относится к невидимому размерности (< 12 мкм), в том числе связанному – 3,6% (0,1% в минералах-концентраторах и 3,5% фракции < 3 мкм и условно коллоидному (переходящему при промывании в раствор)) (рис. 3). При этом наибольшие части видимого (17,9%) и невидимого (56,93%) золота сконцентрированы во фракции (1–0,5 мм) (табл. 2).

Можно заключить, что при учете свободного невидимого золота ресурсы благородного металла в рассматриваемой пробе дельювия увеличиваются в 3,4 раза (рис. 3).

Наноразмерное золото в рудах, россыпях и даже минералах обычно распределяется крайне неравномерно (Юшкин и др., 2005; Моисеенко, 2007; Hough et al., 2011; Дементенко, Моисеенко, 2014; Osovetsky, 2015; Saunders, Burke, 2017; Hastie et al., 2021), что обуславливает необходимость применения специальной методики отбора проб и их анализа, обеспечивающей представительность и достоверность получаемых данных. Заметим, что для оценки перспективных участков россыпей и кор выветривания с учетом содержания в них невидимого золота в настоящее время имеются все возможности, в том числе методические разработки.

Адекватная оценка геологических запасов и прогнозных ресурсов благородного металла с учетом микро- и наноразмерных его фракций на территориях с рудным и россыпным потенциалом Au связана с выполнением ряда задач, то есть необходимы:

- 1) полевые исследования на эталонных объектах региона с отбором представительных проб (100–300 кг);
- 2) при пробоподготовке мокрое ситование золотоносных фракций поэтапно с отделением фракций (от 1 мм до 12 мкм) и улавливанием частиц < 12 мкм на фильтрационной установке, а также с определением содержания благородного металла разных размеров;
- 3) определение основных минералов-концентраторов золота в каждой фракции минералогическими исследованиями, установление в них содержаний благородного металла;
- 4) количественная оценка в минеральном сырье всех полезных компонентов, в том числе минералов-концентраторов;
- 5) определение содержаний благородного металла в пробах с использованием различных методов и подходов,

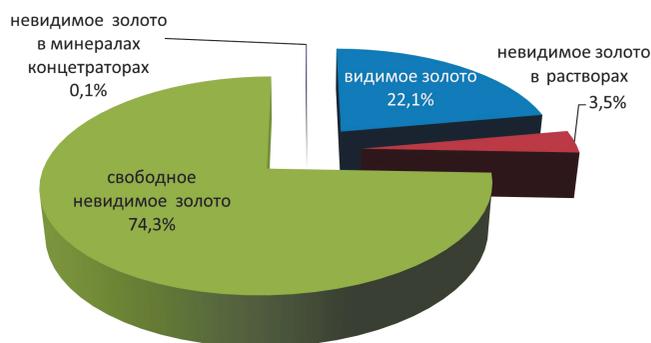


Рис. 3. Распределение золота по размерности в исследованной пробе дельювия

обеспечивающих максимальное сохранение самородного золота в процессе пробоподготовки и выполнения анализов;

6) разработка коэффициентов нормирования содержаний невидимого золота относительно установленного общего содержания благородного металла по месторождению;

7) проведение пересчетов по эталонным объектам для предварительной оценки прогнозных ресурсов и запасов золота, а также других полезных компонентов на изучаемых объектах;

8) разработка технологий, позволяющих максимально полно извлекать золото всех фракций крупности и сопутствующие ему полезные компоненты из сырьевого продукта.

9) опытно-промышленная эксплуатация (технологическое опробование) на эталонных объектах с целью верификации результатов исследований.

Проведенные нами исследования самородного золота в коре выветривания долины руч. Отпорный позволяют утверждать о целесообразности учета невидимого Au для наращивания ресурсного потенциала благородного металла в Приамурье и на золотоносных территориях других регионов.

Благодарности

Авторы благодарны академику РАН Валентину Григорьевичу Моисеенко за многолетнее сотрудничество и неоценимый вклад в изучение микро- и наноразмерного самородного золота, а также выражают признательность уважаемым рецензентам и сотрудникам редакции за ценные замечания в ходе подготовки статьи.

Литература

- Афанасенко С.И., Лазариди А.Н. (2010). Золотая жила техногенных отвалов. *Золотодобывающая промышленность*, (1), с. 32–35.
- Беневольский Б.И., Шевцов Т.П. (2000). О потенциале техногенных россыпей золота Российской Федерации. *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*, (1), с. 14–18.
- Быховский Л.З., Спорыхина Л.В. (2011). Техногенные отходы как резерв пополнения минерально-сырьевой база: состояние и проблемы освоения. *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*, (4), с. 15–20.
- Вольский А.С. (2007). Геологическая карта: N-52 (Зея). Государственная геологическая карта Российской Федерации (третье поколение). Геологическая карта. Дальневосточная серия, М: 1:1000 000, ГБУ «ВСЕГЕИ».
- Голдырев В.Н., Наймов В.А., Коврижных С.Б., Ощепкова И.В., Макаров К.С. (2021). Ресурсный потенциал золота Полуденской техногенной россыпи (Западный Урал). *Геология и полезные ископаемые Западного Урала*, (4), с. 37–45.
- Дементенко А.И., Моисеенко В.Г. (2014). Использование балансового метода оценки при классификации ресурсов золота. *Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии: Третья Всерос. науч. конф.: Сб. докл.* Благовещенск: ИГиП ДВО РАН, Т. 2, с. 61–63.
- Калинин Ю.А., Росляков Н.А., Прудников С.Г. (2006) Золотоносные коры выветривания юга Сибири. Новосибирск: Гео, 339 с.
- Ковлеков И.И. (2002). Техногенное золото Якутии. М.: МГУ, 303 с.
- Конеев Р.И. (2006). Наноминералогия золота эпitherмальных месторождений Чаткало-Курамского региона (Узбекистан). СПб.: DELTA, 220 с.
- Кузнецова И.В. (2011). Геология, тонкодисперсное и наноразмерное золото в минералах россыпей Нижнеселенгинского узла (Приамурье): Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Красноярск: СФУ, 21 с.
- Кузнецова И.В. (2014). Проблемы выделения наноразмерного золота при россыпной золотодобыче (на примере Приамурья). *Руды и металлы*, (4), с. 52–57.
- Литвинцев В.С., Алексеев В.С., Краденых И.А., Усиков В.И. (2017). Ресурсный потенциал техногенных золотороссыпных месторождений и стратегия их масштабного освоения. *Маркшейдерия и недропользование*, (5), с. 21–24.
- Лунев Б.С., Наумов В.А. (2000). Мелкое золото – главное золото нашей планеты. *Геология и полезные ископаемые Западного Урала: Материалы регион. науч. конф.* Пермь, с. 50–55.
- Макаров А.В. (2011). Золото техногенных минеральных объектов – ресурсы и проблемы геолого-технологической оценки. *Золото и технологии*, (3), с. 25–28.
- Мирзеханов Г.С., Мирзеханова З.Г. (2013). Ресурсный потенциал техногенных образований россыпных месторождений золота. М.: МАКС Пресс, 288 с.
- Моисеенко В.Г. (2007). От атомов золота через кластеры, нано- и микроскопические частицы до самородков благородного металла. Благовещенск: Амурское отд-ние РМО, 187 с.
- Моисеенко В.Г., Миронюк А.Ф., Остапенко Н.С. (2004). О целесообразности применения крупнообъемного опробования при оценке запасов золота в россыпях и отвалах их отработки. *Современные технологии освоения минеральных ресурсов: Сб. науч. тр.* Красноярск, Вып. 2, с. 21–25.
- Моисеенко В.Г., Моисеенко Н.В. (2012). Концентрация наноминералов золота в процессе образования руд Покровского месторождения. *Доклады Акад. наук*, 444(1), с. 73–76.
- Моисеенко В.Г., Кузнецова И.В. (2015). Оценка содержания золота в россыпях и корках выветривания с учетом наноминералов благородного металла. *Россыпи и месторождения кор выветривания: изучение, освоение, экология: Материалы 15 Междунар. совещания по геологии россыпей и месторождений кор выветривания*. Пермь: Изд-во ПГНИУ, с. 155–157.
- Наумов В.А., Наумова О.Б. (2019). Формы нахождения и перспективы освоения золота в природных и техногенно-минеральных образованиях западного Урала. *Вестник Пермского университета. Геология*, 18(1), с. 55–63.
- Паленова Е.Е., Новоселов К.А., Белогуб Е.В. (2019). Золото в корках выветривания Гвианского щита (Южная Америка). *Минералогия*, 5(2), с. 83–100. <https://doi.org/10.35597/2313-545X-2019-5-2-83-100>
- Прусс Ю.В. (1987). Проблема учета запасов «мелкого» и «тонкого» золота россыпей. *Разведка и охрана недр*, (12), с. 22–23.
- Расказов И.Ю., Литвинцев В.С., Мирзеханов Г.С., Банщикова Т.С. (2016). Приоритетные направления освоения техногенных комплексов рудно-россыпных месторождений. *Недропользование XXI век*, (1), с. 46–55.
- Флеров И.Б. (2004). Техногенные россыпи – неогценный ресурс золота России. *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*, (4), с. 41–44.
- Юшкин Н.П., Асхабов А.М., Ракин В.И. (отв. ред.) (2005). Наноминералогия. Ультра- и микродисперсное состояние минерального вещества. СПб.: Наука, 581 с.
- Шиханов В.В. (1982). Геологическая карта СССР м-ба 1:200 000. Лист N-52-XXVIII. Объяснительная записка. М.: Недра, 92 с.
- Hastie E.C.G., Schindler M., Kontak D.J., Lafrance B. (2021). Transport and coarsening of gold nanoparticles in an orogenic deposit by dissolution–reprecipitation and Ostwald ripening. *Communications Earth & Environment*, 2, 57. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00126-6>
- Hough R.M., Noble R.R.P., Reich M. (2011). Natural gold nanoparticles. *Ore Geology Reviews*, 42(1), pp. 55–61. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2011.07.003>
- Osovetsky B.M. (2015). Aggregation of nanogold particles in the environment. *Natural Resources Research*, 25, pp. 241–253. <https://doi.org/10.1007/s11053-015-9277-9>
- Saunders J.A., Burke M. (2017). Formation and aggregation of gold (electrum) nanoparticles in epithermal ores. *Minerals*, 7(9), 163. <https://doi.org/10.3390/min7090163>
- Shuster J., Lengke M., Márquez-Zavalía M.F., Southam G. (2016). Floating gold grains and nanophase particles produced from the biogeochemical weathering of a gold-bearing ore. *Economic Geology*, 111(6), pp. 1485–1494. <https://doi.org/10.2113/econgeo.111.6.1485>

Сведения об авторах

Инна Владимировна Кузнецова – канд. геол.-минерал. наук, старший научный сотрудник лаборатории рудогенеза, Институт геологии и природопользования Дальневосточного отделения РАН

Россия, 675000, Амурская обл., Благовещенск, Рёлочный пер., д. 1
e-mail: kuzia67@mail.ru

Анатолий Иванович Дементенко – канд. геол.-минерал. наук, главный геолог, ООО «Амурголд»

Россия, 675000, Амурская обл., Благовещенск, ул. Калинина, д. 103

Статья поступила в редакцию 13.02.2023;

Принята к публикации 08.06.2023; Опубликовано 30.09.2023

IN ENGLISH

ORIGINAL ARTICLE

About micro- and nanoscale gold in the veil of gold-bearing territories (on the example of a mineralization site in the basin of the river Adamikha, Amur region)

I.V. Kuznetsova^{1}, A.I. Dementienko²*

¹Institute of Geology and Nature Management of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, Blagoveshchensk, Russian Federation

²Amurgold LLC, Blagoveshchensk, Russian Federation

*Corresponding author: Inna V. Kuznetsova, e-mail: kuzia67@mail.ru

Abstract. The article identifies the problem of the need to take into account micro- (1 mm to 0.12 microns) and nanoscale (<0.12 microns) gold in placers and weathering crusts in order to increase the objectivity of their and eroded ore objects potential assessment. The results of technological studies of gold-bearing deluvial deposits in the valley of the Adamikha river basin (Amur region) are presented. A quantitative assessment of the content of micro- and nanogold by fractions of loose material was made. It was found that in the studied sample of such material (weighing 50 kg), the major part (78%) refers to native gold with a dimension of <0.12 microns. Including 0.1% is in concentrator minerals, and 3.5% of the fraction (<3 microns), probably colloidal, is in technical solutions of wet sieve. Moreover, 3/4 of the total amount (18% visible and 57% invisible) of gold is concentrated in the fraction (1–0.5 mm). It is established that, taking into account the free invisible gold, the resources of the precious metal of the object under study increase by 3.4 times. The possibility of a more objective quantitative assessment of the Au potential of promising areas, taking into account the content of fine gold, is shown. Possible ways of solving the problem of a more reliable assessment of geological reserves and estimation of forecast gold resources, taking into account the knowledge of the quantities of micro- and nanoscale fractions, are proposed. The authors believe that studies of the forms of allocation and distribution, including invisible (<0.12 microns) gold in placers and weathering crusts will contribute to a more correct assessment of the studied gold-bearing objects and territories with the possibility of increasing the real resource potential of the precious metal in the region.

Keywords: native gold, micro- and nanoscale gold, placers, weathering crust, gold ore deposits, potential of gold-bearing regions and territories

Recommended citation: Kuznetsova I.V., Dementienko A.I. (2023). About micro- and nanoscale gold in the veil of gold-bearing territories (on the example of a mineralization site in the basin of the river Adamikha, Amur region). *Georesursy = Georesources*, 25(3), pp. 191–197. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.3.22>

References

- Afanasenkov S.I., Lazaridi A.N. (2010). Gold mine of technogenic dumps. *Zolotodobyvayushchaya promyshlennost'*, (1), pp. 32–35. (In Russ.)
- Benevol'skiy B.I., Shevtsov T.P. (2000). On the potential of technogenic gold placers in the Russian Federation. *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*, (1), pp. 14–18. (In Russ.)
- Bykhovskiy L.Z., Sporykhina L.V. (2011). Technogenic waste as a reserve for replenishing the mineral resource base: state and problems of development. *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*, (4), pp. 15–20. (In Russ.)
- Dementienko A.I., Moiseenko V.G. (2014). Using the balance valuation method in classifying gold resources. *Issues of geology and integrated development of natural resources in East Asia: Proc. Third All-Russian. Sci. Conf. Blagoveshchensk: IGiP DVO RAN*, Vol. 2, pp. 61–63. (In Russ.)
- Flerov I.B. (2004). Technogenic placers are an unvalued gold resource in Russia. *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*, (4), pp. 41–44. (In Russ.)
- Goldryev V.N., Naymov V.A., Kovrizhnykh S.B., Oshchepkova I.V., Makarov K.S. (2021). Resource potential of gold from the Poludenskaya technogenic placer (Western Urals). *Geologiya i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala*, (4), pp. 37–45. (In Russ.)
- Hastie E.C.G., Schindler M., Kontak D.J., Lafrance B. (2021). Transport and coarsening of gold nanoparticles in an orogenic deposit by dissolution–reprecipitation and Ostwald ripening. *Communications Earth & Environment*, 2, 57. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00126-6>
- Hough R.M., Noble R.R.P., Reich M. (2011). Natural gold nanoparticles. *Ore Geology Reviews*, 42(1), pp. 55–61. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2011.07.003>
- Kalinin Yu.A., Roslyakov N.A., Prudnikov S.G. (2006). Gold-bearing weathering crusts of southern Siberia. Novosibirsk: Geo, 339 p. (In Russ.)
- Koneev R.I. (2006). Nanomineralogy of gold from epithermal deposits of the Chatkal-Kuram region (Uzbekistan). St. Petersburg: Delta, 220 p. (In Russ.)
- Kovlekov I.I. (2002). Technogenic gold of Yakutia. Moscow: MGGU, 303 p. (In Russ.)
- Kuznetsova I.V. (2011). Geology, fine-dispersed and nanoscale gold in placer minerals of the Nizhneselemdzhinsky cluster (Amur region). Abstract cand. geol. and mineral. sci. diss. Krasnoyarsk: SFU, 21 p. (In Russ.)
- Kuznetsova I.V. (2014). Problems of separating nano-sized gold during placer gold mining (using the example of the Amur region). *Rudy i metalli*, (4), pp. 52–57. (In Russ.)
- Litvintsev V.S., Alekseev V.S., Kradenykh I.A., Usikov V.I. (2017). Resource potential of technogenic gold placer deposits and strategy for their large-scale development. *Marksheyderiya i nedropol'zovanie*, (5), pp. 21–24. (In Russ.)
- Lunev B.S., Naumov V.A. (2000). Fine gold is the main gold of our planet. *Geology and minerals of the Western Urals: Proc. Region. Sci. Conf. Perm'*, pp. 50–55. (In Russ.)
- Makarov A.V. (2011). Gold of technogenic mineral objects – resources and problems of geological and technological assessment. *Zoloto i tekhnologii*, (3), pp. 25–28. (In Russ.)
- Mirzekhanov G.S., Mirzekhanova Z.G. (2013). Resource potential of technogenic formations of alluvial gold deposits. Moscow: MAKS Press, 288 p. (In Russ.)
- Moiseenko V.G. (2007). From gold atoms through clusters, nano- and microscopic particles to precious metal nuggets. Blagoveshchensk: Amurskoe otd-nie RMO, 187 p. (In Russ.)
- Moiseenko V.G., Mironyuk A.F., Ostapenko N.S. (2004). On the feasibility of using large-scale sampling when assessing gold reserves in placers and waste dumps. *Modern technologies for the development of mineral resources. Coll. papers. Krasnoyarsk*, Vyp. 2, pp. 21–25. (In Russ.)
- Moiseenko V.G., Moiseenko N.V. (2012). Concentration of gold nanominerals during the formation of ores of the Pokrovskoe deposit. *Doklady Akad. nauk*, 444(1), pp. 73–76. (In Russ.)
- Moiseenko V.G., Kuznetsova I.V. (2015). Estimation of gold content in placers and weathering crusts, taking into account precious metal nanominerals. *Placers and deposits of weathering crusts: study, development, ecology: Proc. 15th Int. meeting on the geology of placers and deposits of weathering crusts. Perm': Izd-vo PGNIU*. pp. 155–157. (In Russ.)
- Naumov V.A., Naumova O.B. (2019). Forms of occurrence and prospects for the development of gold in natural and technogenic-mineral formations of the Western Urals. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya = Bulletin of Perm University. Geology*, 18(1), pp. 55–63. (In Russ.)
- Osovetsky B.M. (2015). Aggregation of nanogold particles in the environment. *Natural Resources Research*, 25, pp. 241–253. <https://doi.org/10.1007/s11053-015-9277-9>
- Palenova E.E., Novoselov K.A., Belogub E.V. (2019). Gold in the weathering crusts of the Guiana Shield (South America). *Mineralogiya*, 5(2), pp. 83–100. (In Russ.) <https://doi.org/10.35597/2313-545X-2019-5-2-83-100>
- Pruss Yu.V. (1987). The problem of accounting for reserves of “small” and “fine” placer gold. *Razvedka i okhrana nedr*, (12), pp. 22–23. (In Russ.)
- Rasskazov I.Yu., Litvintsev V.S., Mirzekhanov G.S., Banskchikova T.S. (2016). Priority directions for the development of technogenic complexes of ore-placer deposits. *Nedropol'zovanie XXI vek*, (1), pp. 46–55. (In Russ.)
- Saunders J.A., Burke M. (2017). Formation and aggregation of gold (electrum) nanoparticles in epithermal ores. *Minerals*, 7(9), 163. <https://doi.org/10.3390/min7090163>
- Shikhanov V.V. (1982). Geological map of the USSR, scale 1:200 000. Sheet N-52-XXVSh. Explanatory note. Moscow: Nedra, 92 p. (In Russ.)
- Shuster J., Lengke M., Márquez-Zavalía M.F., Southam G. (2016). Floating gold grains and nanophase particles produced from the biogeochemical weathering of a gold-bearing ore. *Economic Geology*, 111(6), pp. 1485–1494. <https://doi.org/10.2113/econgeo.111.6.1485>
- Vol'skiy A.S. (2007). Geological map: N-52 (Zeya). State geological map of the Russian Federation (third generation). Far Eastern series, Scale: 1:1000 000, VSEGEI. (In Russ.)
- Yushkin N.P., Askhabov A.M., Rakin V.I. (otv. red.) (2005). Nanomineralogy. Ultra- and microdispersed state of mineral matter. St. Petersburg: Nauka, 581 p. (In Russ.)

About the Authors

Inna V. Kuznetsova – Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Researcher, Rudogenesis Laboratory, Institute of Geology and Nature Management of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

1, Relochny Lane, Blagoveshchensk, 675000, Russian Federation

Anatoly I. Dementienko – Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Chief geologist, Amurgold LLC

103, Kalinina st., Blagoveshchensk, 675000, Russian Federation

Manuscript received 13 February 2023;

Accepted 8 June 2023; Published 30 September 2023