

ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТА ТЕХНОГЕННЫХ РОССЫПЕЙ ПРИАМУРЬЯ В АСПЕКТЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В.С. Литвинцев, Н.А. Леоненко, Т.С. Банщикова

ФГБУН Институт горного дела ДВО РАН, ул. Тургенева 51, г. Хабаровск, 680000; e-mail: adm@igd.khv.ru

Поступила в редакцию 11 июня 2015 г.

На примере техногенных образований золотосодержащих россыпей Приамурья исследованы морфологическая характеристика, гранулометрический состав и процессы изменений золота в условиях отвального комплекса, приводящие к укрупнению, измельчению зерен. Приведенные характеристики техногенного золота служат практическими предпосылками для анализа и управления процессами распределения металла в техногенных фациях и создания новых технологий промышленного извлечения золота.

Ключевые слова: техногенные россыпи, намывные фации, морфология, гранулометрия, деформации золота, минералы-спутники, технологии извлечения, комплексное освоение, Приамурье.

ВВЕДЕНИЕ

Техногенные россыпные месторождения включают гале-эфельные отвальные комплексы, отвалы торфов, бортовые недоработки песков природных (геогенных) месторождений, иловые фракции хвостохранилищ. По мнению ряда авторов, значение техногенных россыпей в ближайшие 10–15 лет будет возрастать [2, 3]. Особенностью таких россыпей является наличие ценных попутных компонентов.

В отвалах и хвостохранилищах сохраняется значительная часть полезных продуктов основного производства. Формирование техногенных россыпей ведется при механической дифференциации и интеграции обломочного материала. В результате формируются техногенные фации: намывные, отвальные и отвально-намывные. В ранее опубликованной работе проанализировано распределение концентраций золота в техногенных фациях и указано, что оно подчинено законам отсадочной дифференциации и зависит от соотношения гидравлической крупности осадочных пород и динамики гидравлических потоков [4].

В техногенных образованиях золото подвергается механическому воздействию, на него влияют физико-химические и биологические процессы. Формируются концентрации новообразований золота. Процессы преобразования приводят как к укрупнению и появлению агрегатного состояния, так и к

измельчению зерен. Изменяется гранулометрия золотинок, уменьшается их средняя плотность, увеличивается доля тонкопластинчатого и чешуйчатого золота, характеризующегося низким значением гидравлической крупности, что является причиной потерь золота на гидроэлеваторных приборах. Соответственно требуется пересмотр технологических схем добычи с применением новейших технологий обогащения золотосодержащих отвалов и эфелей. Исследование поведения техногенного золота в поле лазерного излучения позволило разработать новый метод концентрирования «упорных» форм золота, в том числе и тонкодисперсных частиц.

Целью изучения типоморфных особенностей золота техногенных россыпей Приамурья является выявление его разнообразных морфологических форм, гранулометрического состава, характера изменений поверхности частиц, физико-химических преобразований индивидов золота в процессе длительного хранения в техногенных отвалах. Предполагается выявление состава элементов-примесей в виде включений в частицы золота. Эти преобразования формируют основополагающие принципы методологической базы для обоснования возможности управления накопленными концентрациями металла, переоценки запасов техногенного золота, а главное, формирования обогащенного пласта техногенного месторождения. Такие исследования ведутся в ИГД ДВО РАН с 2010 г. на ряде россыпей Приамурья.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТИПОМОРФНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЗОЛОТА ТЕХНОГЕННЫХ РОССЫПЕЙ

В работе проанализированы образцы золота из техногенных образований золотосодержащих россыпей приисков Соловьевский, Софийский, Херпучинский, Кербинский, участков Гайфон, Октябрьский, Болотистый (рис. 1). Материал для исследований отбирался из эфельных отвалов, илово-глинистых накоплений хвостохранилищ, бортовых выемок отработанных котлованов, хвостов гидроэлеваторных промприборов, дражных отвалов, продуктов обогащения и хвостов шлихообогатительных установок (ШОУ).

Основными характеристиками золота техногенных россыпей являются: золотоносные минеральные ассоциации, куда входят минералы-спутники золота; гранулометрический состав, включая наиболее распространенный размер золотин; морфология зерен в соответствии с морфогенетической систематикой выделений самородного золота; характер поверхности частиц; изменение агрегатного состояния золота; химический состав, включающий содержание элементов-примесей [12].

Содержания гравитационного золота в техногенных россыпях Приамурья приведены в табл. 1.

Отличительной особенностью песков приамурских россыпей является наличие магнетита, в том числе титаномагнетита, ильменита, рутила, гранатов различных видов, циркона, танталониобатов. В техногенных отвалах россыпей Верхнего Приамурья постоянным спутником золота является киноварь. Для объектов Среднего Приамурья таким показателем являются касситерит, арсенопирит, пирит, шеелит, вольфрамит; в песках нижнеамурских россыпей появляются самоцветы: топаз, оливин, аметистовидный кварц, разновидности желтого и оранжевого циркона, последний распространен в пляжных россыпях залива Николая. Сопутствующие золоту минеральные ассоциации по составу различны для россыпей Верхнего, Среднего и Нижнего Приамурья, что указывает на геологическую привязку к коренным месторождениям золота. Для россыпей, обрабатываемых ОАО «Соловьевский прииск» (р. Джалинда, р. Инагли), таким источником являются месторождения Верхне-Тындинской и других рудоперспективных площадей, обрабатываемых рудником «Покровский». Для Среднего Приамурья основными источниками россыпей являются коренные месторождения золота «Высокогорное» и «Белая гора».

По составу полезных компонентов техногенные образования в большинстве своем являются комплексными, содержащими минеральное сырье для

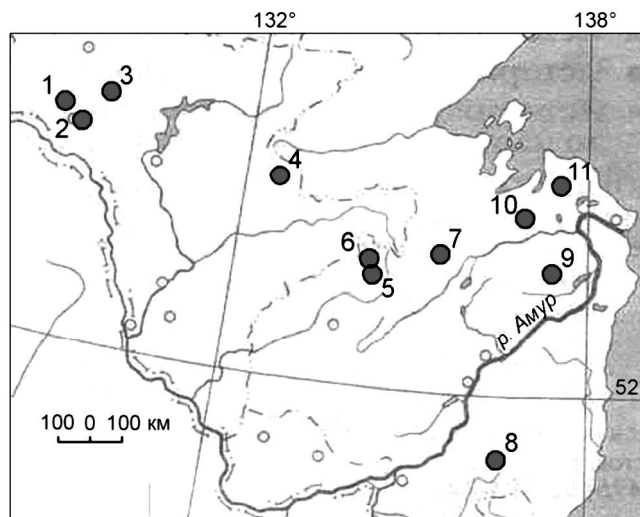


Рис. 1. Схема расположения техногенных россыпей Приамурья.

1 – р. Джалинда, 2 – Инагли, 3 – Нагима, 4 – Иликан, 5 – Олга, 6 – Агда-1, 7 – Семи, 8 – Болотистый, 9 – Октябрьский, 10 – Гайфон, 11 – Турчик.

различных отраслей черной и цветной металлургии. Сведения о содержаниях ценных попутных компонентов в золотосодержащих россыпях Приамурья единичны. В обогащенных шлихах отвально-намывных фаций Соловьевского прииска (россыпь р. Уркима) подсчитаны содержания минералов: титаномагнетита – 917 г/м³, ильменита – 3927 г/м³, граната – 7617 г/м³, циркона – 3203 г/м³, рутила – 141 г/м³. В техногенной россыпи р. Семи (Кербинский прииск) ресурсы касситерита составляют 439 т, вольфрамит – 669 т, ильменита циркона 1318 т.

При продолжительном пребывании в экзогенных условиях самородное золото подвергается различным видам деформаций, меняется его морфологический облик и гранулометрический состав. Влияние оказывают минерализованные потоки воды, криогенные процессы, применение ртути при дражном и гидроэлеваторном способах обработки россыпей в XX веке. В песках россыпных месторождений размеры россыпного золота варьируют в пределах четырех-пяти порядков. Промышленную ценность представляют зерна от 0.5 до 3.0–5.0 мм, реже до 10 мм (самородки). В намывных фациях накапливается мелкое, очень мелкое и тонкодисперсное золото. Старательские организации применяют, как правило, гидромеханизированные способы переработки песков, нацеленные на промывку больших объемов и высокие скорости гидротоков. В таких условиях частицы металла размером менее 0.25 мм, а также пластинчатое, чешуйчатое, уплощенное золото клас-

Таблица 1. Содержание золота в техногенных образованиях золотосодержащих россыпей Приамурья.

Россыпные место-рождения	Тип геогенной россыпи [10]	Исследуемые техногенные образования	Минералы-спутники золота из техногенных россыпей	Содержание золота в техногенных фациях, г/т
Верхнее Приамурье				
Джалинда	Аллювиальная долинная	Дражные эфельные отвалы	Титаномагнетит, ильменит, сфен, гранат, циркон, киноварь, танталониобаты	0.70–8.24
Инагли	Делювиальная	Дражные эфельные отвалы	Магнетит, ильменит, турмалин, пирит, шпинель, киноварь, рутил, сфен	0.18–4.95
Нагима	Аллювиально-пролювиальная глубоко-залегающая	Хвосты ШОУ	ильменит, сфен, гранат, циркон, касситерит, турмалин	0.20–2.60
Иликан	Аллювиально-делювиальная	Илово-глинистые фракции хвостохранилища	Магнетит, ильменит, рутил, гранат, киноварь	1.50–2.80
Среднее Приамурье				
Олга	Аллювиальные террасовые	Пески забалансовых запасов	Касситерит, ильменит, гематит, арсенопирит, шеелит	0.06–0.20
Агда-1, Агда-2	Аллювиальная долинная	Техногенные отвалы, хвосты ШОУ	Арсенопирит, пирит, касситерит, ильменит, рутил, гранат, турмалин	17.50–47.50
Херпучи	Аллювиальная, долинная, ленточная	Отвалы-намывные фации западного карьера	Ильменит, пирит, арсенопирит, гранат, циркон, хромит, вольфрамит	4.90–34.00
Семи	Аллювиальная, долинная	Эфельные отвалы	Ильменит, пирит, антимонит	2.00–40.00
Болотистый	Делювиально-элювиальная	Хвосты гидроэлектростанции промывочного прибора, хвосты ШОУ	Магнетит, ильменит, антимонит, тетрадимит, турмалин, киноварь, самородная медь	0.08–1.20; 5.30–39.10
Нижнее Приамурье				
Октябрьский	Аллювиальная долинная	Хвосты ШОУ	Ильменит, арсенопирит, циркон, топаз, эпидот, аметистовидный кварц, оливин	0.30–0.65
Верхний Сунгучан	Делювиальная	Дражные отвалы забалансовых песков, хвосты промывочного прибора	Касситерит, циркон, ильменит, топаз, аметистовидный кварц, оливин	0.1–0.50
Гайфон	Аллювиальная русловая среднезалегающая	Борт отработанного котлована вблизи целика	Ильменит, арсенопирит, гранат, анатаз, корунд (сапфир)	0.06–1.75
Турчик	Пляжная россыпь, залив Николая	Эфельные пески	Ильменит, шпинель, циркон, гематит, хромдиоксид	3.30–11.30

са 0.5 мм смывается в хвосты и формируют техногенный комплекс.

Гранулометрические характеристики россыпного золота определяются по данным ситового анализа из навесок чистого металла от 1.0 до 100.0 г и более; в количестве менее 1.0 г размерность уточняется под бинокулярным микроскопом с помощью окуляр-микрометра. Наиболее распространенный размер золотин в техногенных комплексах: $-0.5+0.2$ мм и $-0.2+0.071$ мм. В процессе «лежкости» эфельных отвалов и в иловых фракциях россыпи р. Или-

кан пополняется объем и дисперсного золота размерностью от 50 до 10 микрон, за счет разрушения каемок ржавого золота, сульфидов и амальгамированных агрегатов.

В табл. 2 представлена гранулометрическая характеристика техногенного золота в россыпях Верхнего, Среднего и Нижнего Приамурья.

Гранулометрический состав определен для гравитационно-извлекаемого золота из различных техногенных фаций. Для классификации крупности использована методика Н.В. Петровской [9].

Таблица 2. Гранулометрический состав золота из техногенных россыпей Приамурья.

Наименование россыпи	Техногенные образования	Гранулометрический состав золота, мм	Распределение золота по классам крупности, %
Соловьевский прииск, р. Джалинда	Эфельные лежалые отвалы, отработка россыпи драгой 1969–1978 гг.	-1.0+0.5	36.9
		-0.5+0.2	30.1
		-0.2+0.05	15.5
р. Инагли	Эфельные отвалы, отработка драгой 1965–1985 гг.	-1.0+0.5	42.5
		-0.5+0.1	44.2
		-0.1	6.0
р. Нагима	Хвосты шлихообогатительной установки от переработки эфелей	-2.0+1.0	25.0
		-1.0+0.5	52.0
		-0.5+0.1	23.0
р. Иликан	Илово-глинистые фракции хвостохранилища	-0.315+0.2	3.0
		-0.2+0.1	10.0
		-0.1+0.05	31.5
		-0.05	> 50.0
Прииск «Софийский», р. Олга	Хвосты ШОУ	-1.0+0.5	20.0
		-0.5+0.2	25.0
		-0.2	54.0
руч. Агда-2, руч. Агда-3	Хвосты ШОУ	-2.0+0.5	42.5
		-0.5+0.2	56.3
		-0.2	2.3
Прииск «Херпучинский»	Техногенные отвалы западного карьера	-1.0+0.5	10.5
		-0.5+0.2	25.7
		-0.2+0.071	60.3
Прииск Кербинский	Дражные отвалы 1970–1980 гг.	-1.0+0.5	25.0
		-0.5+0.315	58.8
		-0.315+0.2	8.5
		-0.2+0.1	4.0
руч. Болотистый	Хвосты гидроэлеваторного прибора	-0.5+0.2	55.8
		-0.2+0.1	36.0
		-0.1+0.05	8.2
руч. Октябрьский	Эфельные глинистые отвалы	-0.5+0.2	20.0
		-0.2+0.1	66.0
		-0.1+0.071	14.0
руч. Верхний Сунгучан	Хвосты гидроэлеваторного промывочного прибора	-1.5+0.5	10.7
		-0.5+0.2	25.6
		-0.2+0.1	47.1
		-0.1	16.6
участок Гайфон	Левый борт отработанного котлована	-1.5+0.5	36
		-0.5+0.2	43.7
		-0.2+0.1	19.1
		-0.1	0.7
участок Турчик	Пляжная россыпь залива Николая	-1.0+0.5	13.4
		-0.5+0.315	32.2
		-0.315+0.2	23.5
		-0.2+0.1	31.9
		-0.1+0.063	ед. знаки

Следует отметить, что в анализируемых шлихах золото средней крупности (-1.0+0.5 мм) и мелкое (-0.5+0.2 мм) преобладает в эфельных лежалых отвалах россыпей Джалинда, Инагли (70–84.7 %), прииска Кербинский р. Семи (83.8 %), участка Гайфон (79.7 %), а также в хвостах ШОУ россы-

пей р. Нагима (77 %), р. Агда-2, 3 (97.8 %). Мелкое (-0.2+0.1 мм) и пылевидное (-0.1+0.05 мм) золото накапливается в илово-глинистых фракциях россыпях р. Иликан (81.5 %), руч. Октябрьский (84.0 %) и хвостах промывочного прибора россыпи руч. Верхний Сунгучан (63.7 %). Высокие содержания золота сред-

ней и мелкой крупности техногенных отходов являются основанием для их повторной переработки при условии применения дополнительных технологий извлечения мелкого и пылевидного золота.

Учет и распределение техногенного золота служат практическими предпосылками для управления процессами переоценки запасов техногенных объектов, а также для привлечения новых технологий промышленного извлечения золота [11].

В техногенных образованиях и хвостохранилищах содержится значительное количество «упорных» форм золота. Выявлены основные золотоносные формы: 1) свободное; 2) в сростках с кварцем; 3) в сростках с лимонитом и гематитом 4) в рубашках гидроксидов железа и марганца; 5) в ртутной амальгаме. Несомненно, что только амальгамная форма является техногенной, остальные относятся к природным образованиям, которые при гравитационном обогащении, в зависимости от гранулометрии, переходят в техногенный комплекс. Тонкопластинчатые, чешуйчатые, ажурные, губчатые формы золотин, наличие следов скольжения, многочисленных мелких полостей, трещин, сквозных отверстий, измененные поверхности частиц золота – каверны, жеды, выемки, заполненные мелкокристаллическим кварцем, серицитом, хлоритом, гидроксидами железа – все эти показатели изменяют гидрофильные свойства золота, уменьшают его удельный вес и гидравлическую крупность. Поэтому большая часть таких форм металла при обогащении песков на гидроэлеваторных приборах, драгах, при доводке концентратов в ШОУ теряется с хвостами.

Образование агрегатов амальгамированного золота выявлено при исследованиях дражных отвалов россыпей р. Джалинда и р. Инагли, где в 1960–1970 гг. использовались гидравлические схемы с применением ртути. В процессе длительного хранения отвалов мелкие частицы золота (менее 0.2 мм) коагулируются в агрегаты; сульфиды разрушаются с выносом тонкодисперсного золота. В классах крупности -3.0+1.0 мм характерно наличие сферических агрегатов мелкозернистого золота с большим количеством сквозных отверстий и пустот, имеющих вид пчелиных сот. Цвет таких образований грязно-желтый, с пятнами серой амальгамы и ржавыми пленками гидроксидов железа. Кроме того обнаружены агрегаты слипшихся овальных пластинок, бляшек, чешуек, реже зерен размером 0.5 мм и менее. Эффект агрегирования объясняется наличием пленок пемзованной ртути, которые служат каркасом таких агрегатов. В условиях геохимических процессов гале-эфельной толщи происходит контакт частиц мелкого золота с

пленками амальгамы и образование крупных агрегатов, что отмечено ранее в [4].

При большом увеличении фиксируются налипания мельчайших зерен и иголок (менее 50 мкм) на поверхности крупных пластинок (рис. 2; изображения 2.1 и 2.2), узоры. Такие индивиды распространены в старых отвалах, когда отработка россыпи только начиналась, 1936 г. В классах крупности менее 0.5 мм распространение имеют округлые щетковидные зерна. При нажиме они распадаются на мельчайшие чешуйки и размазываются по предметному стеклу. Такой морфологический вид встречается чаще всего в хвостах ШОУ, насыщенных сульфидами – пиритом и арсенопиритом. Практически во всех пробах обнаружены комочки амальгамы серого цвета. При прокаливании в тигле таких агрегатов выделяется золото ярко-желтого цвета с размером частиц 0.5–1.0 мм. Аналогичные изменения золота описаны в дражных отвалах Исковского прииска на Урале [4, 5]. В статье проанализированы образцы тонкодисперсного техногенного золота, менее 0.071 мкм, из хвостохранилищ некоторых россыпей Приамурья. На рисунке 2 представлены растровые микроскопические изображения, характеризующие микроструктуру поверхности золотин, формы и бугорчатый рельеф нанозолота, формы амальгамированного золота. Электронно-микроскопические исследования образцов проведены в Центре коллективного пользования ИТиГ ДВО РАН на растровом электронном микроскопе «LEO EVO 40HV» (Карл Цейс, Германия), оснащенном энергодисперсионным анализатором «INCA-ENERGY». Съемка исследуемых объектов осуществлена с использованием детектора вторичных электронов (SE-детектор), позволяющего получать информацию о топографии техногенных золотин. Дополнительно к детектору вторичных электронов (SE-детектор) использовался детектор обратно рассеянных электронов (QBS-детектор). С помощью QBS-детектора фазы с более высоким средним атомным числом при получении изображений отражаются в контрасте более ярко по сравнению с фазами с меньшим атомным числом. Поскольку разность атомных весов матрицы и включений исследуемых техногенных золотин велика, получалось более контрастное изображение, позволяющее визуально выявлять включения. Для проведения локального качественного и количественного химического анализа образцов применялся энергодисперсионный спектрометр (EDX) «INCA-ENERGY». Чувствительность метода составляет ~ 0.1 %. Диаметр электронного пучка ~ 20–30 нм, глубина проникновения ~ 1 мкм, применявшееся ускоряющее напряжение – 20.00 kV, ток пучка – 100 пА,

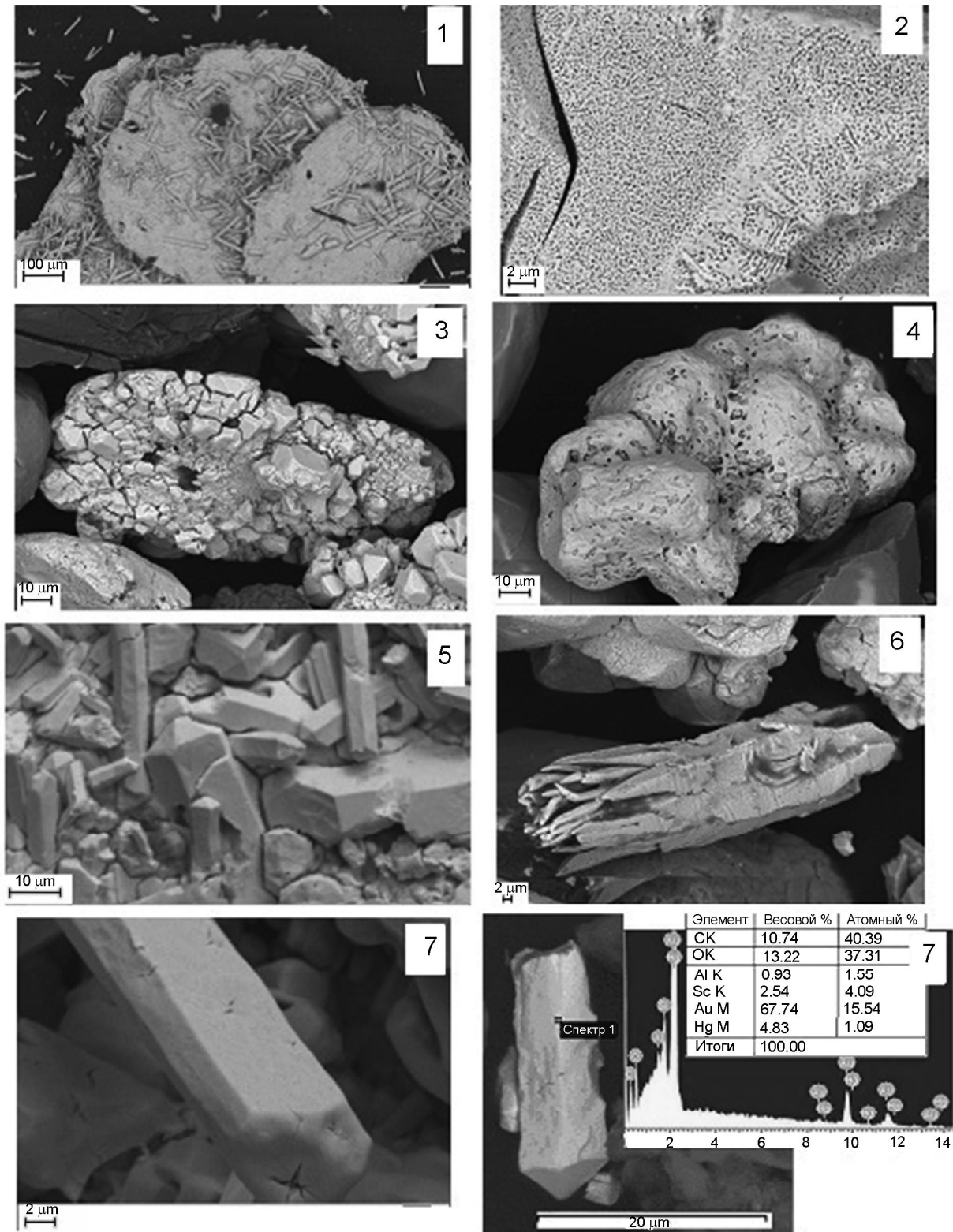


Рис. 2. Растровые микроскопические изображения тонкодисперсного золота из техногенных образований золотосодержащих россыпей.

1 – налипания игольчатых форм дисперсного золота; 2 – мозаичное строение поверхности тонкопластинчатого золота; 3 – фрагменты выхода пустотного пространства на поверхности частиц золота; 4 – бугорчатый нанорельеф тонкодисперсного золота; 5 – гексагональные игольчатые формы ультрадисперсного золота; 6 – микроскульптура поверхности слоистого золота; 7 – гексагональные формы амальгамированного золота техногенного происхождения.

образцы исследовались без предварительного напыления углеродом.

Поверхность золота является важным поисковым индикатором при прогнозировании и поисках месторождений. Особенности поверхности золота заметно влияют на степень его концентрирования, гидравлическую крупность и миграционную способность. По этим причинам при оценке технологических свойств и обогатимости золота следует проводить электронно-микроскопическое изучение поверхности частиц [5], (рис. 2).

Изучение морфологии золота валовой пробы целикового участка Джалиндинской россыпи показало высокую степень изменений техногенного золота в «лежалых отвалах». Золото из целика представлено идеально окатанными пластинками овальной формы с приплюснутыми краями. Поверхность золотин шагреновая, матовая без примазок и налета гидроксидов железа, цвет золотистый, степень окатанности снижается с уменьшением крупности. Существенные различия морфологии золота целикового участка и полученного из проб эфельных отвалов заключаются в следующем: появлении агрегатного состояния частиц – комковидные и сферические образования; выщелачивании с появлением новых щетковидных форм; образовании плотных покрытий (рубашек) из гидроксидов железа и марганца; появлении в поверхностном рельефе золотин каверн, выемок, пустот, новообразований.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Таким образом, в приведенной морфологической характеристике золота из техногенных россыпей Приамурья существует определенное сходство, и одновременно имеются отличительные признаки. Все техногенные образования: эфельные отвалы, хвосты промприборов и шлихо-обогажительных установок содержат в основном пластинчатое (уплотненное), чешуйчатое, дендритовидное золото с деформированной поверхностью частиц. Выявлены также морфологические отличия. В техногенных россыпях Верхнего Приамурья золото высокой степени окатанности с незначительным содержанием сростков с другими минералами, крупность зерен – $1.0+0.2$ мм, иногда до 2.0 мм. В техногенных отвалах Среднего Приамурья количество сростков с золотом возрастает, кроме наиболее распространенных сростков с кварцем, гидроксидами железа, появляются включения граната, слюд, глинистых частиц, хлорита, что связано с высокой степенью глинистости россыпей Среднего Приамурья. Гранулометрическая величина золотин в большей степени соответствует мелкому золоту $-0.5+0.1$ мм (от 25 до

58.8 %). Одновременно снижается уровень окатанности частиц. Техногенные образования россыпей Нижнего Приамурья отличаются наличием золота комковидных, угловатых, ребристых форм с низкой степенью окатанности; в эфельных отвалах и хвостах ШОУ, накапливается наибольшее количество золота размерностью менее 0.2 мм: до 47–56 % от общего содержания.

Проанализированы образцы золота из восьми техногенных россыпей, определен элементный состав в локально-ограниченных областях отдельно взятых золотин методом электронной микроскопии с энергодисперсионной приставкой. На рис. 3 приведены изображения частиц золота с выявленными элементами-примесями. Для техногенного золота россыпи р. Джалинда характерны включения серебра, тантало-ниобатов, ртути и меди; золото россыпей р. Иликан, р. Верхний Сунгучан, р. Инагли содержит железо, титан, алюминий, кальций, кремний и олово; в техногенных образованиях участка Гайфон, р. Агды (Софийский прииск) количество элементов-примесей в золоте минимально: алюминий, кальций, железо; на участке Болотистый и карьере Херпучинского прииска в золоте выявлены включения серебра и железа.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ ТЕХНОГЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ

Комплексное освоение техногенных россыпей может изменить ситуацию. Попутно с золотом можно получать чистые магнетитовые, титансодержащие, циркониевые, олово- и вольфрамсодержащие концентраты, дополнительно извлекать минералы платиновой группы. Эти продукты по объему значительно уступают крупным рудным месторождениям. Однако полученные при обогащении на гидроэлеваторных приборах и при доводке на ШОУ концентраты содержат до 80–90 % чистых минералов, которые на данном этапе нужно учитывать и складировать с целью дальнейшей переработки.

Проблема повторного обогащения лежалых отвалов во многом зависит от создания и внедрения новых технологий переработки горной массы техногенных объектов россыпей. Комплексное извлечение полезных компонентов из техногенных образований требует изменения технологических схем переработки золотосодержащих песков на месторождениях, где используются гидромеханизированные способы их промывки, а также разработки новых технологий при доводке первичных концентратов. Сотрудниками ИГД ДВО РАН разработана технология извлечения мелкого тонкопластинчатого, чешуйчатого золота,

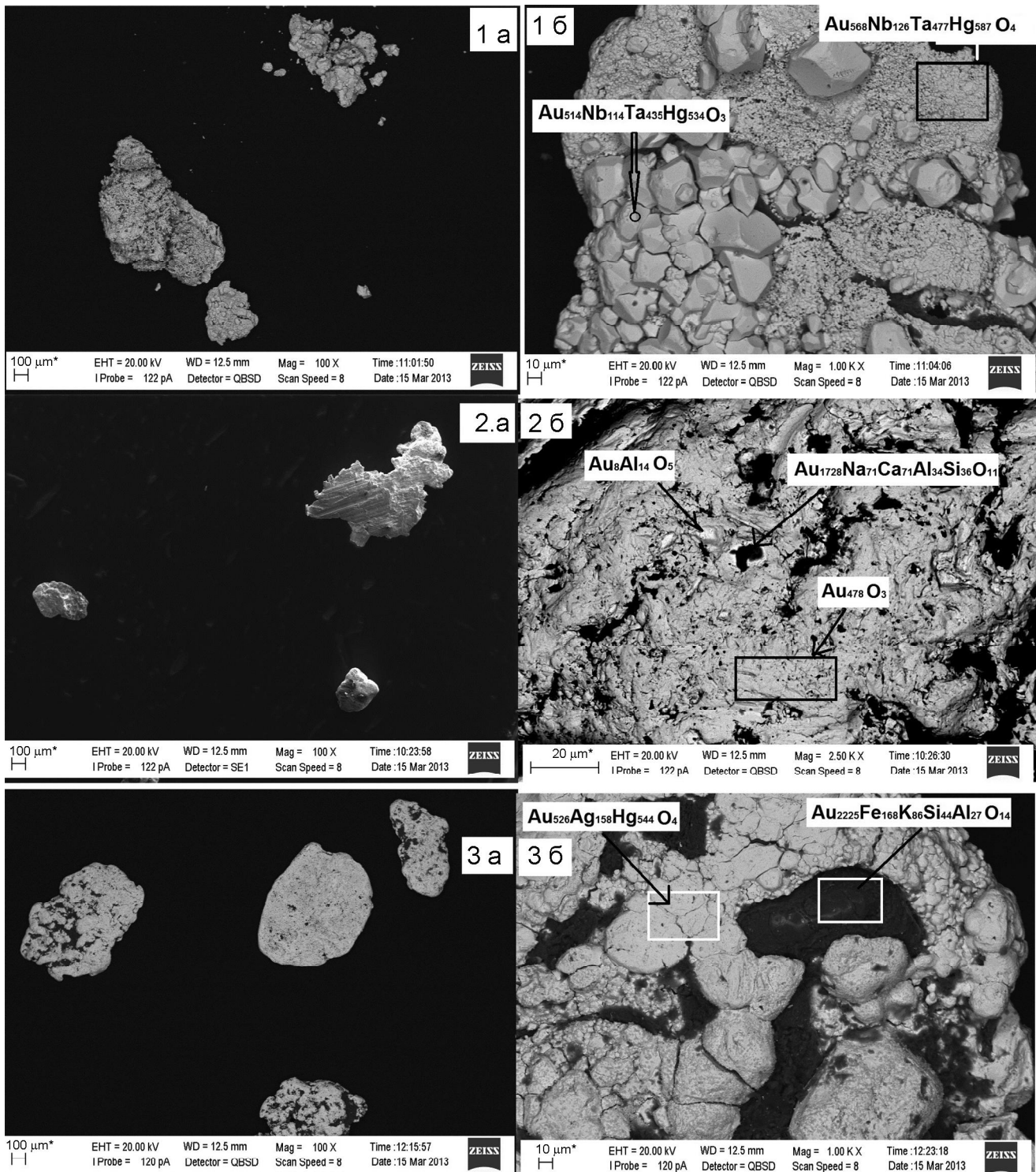


Рис. 3. Изображение частиц золота из техногенных образований, выполненное на растровом электронном микроскопе (а) и элементный анализ включений в локально-ограниченных областях отдельных золотин (б).

1 – россыпь р. Джалинда; 2 – участок Иликан; 3 – прииск Херпучинский; 4 – участок Гайфон; 5 – руч. Болотистый.

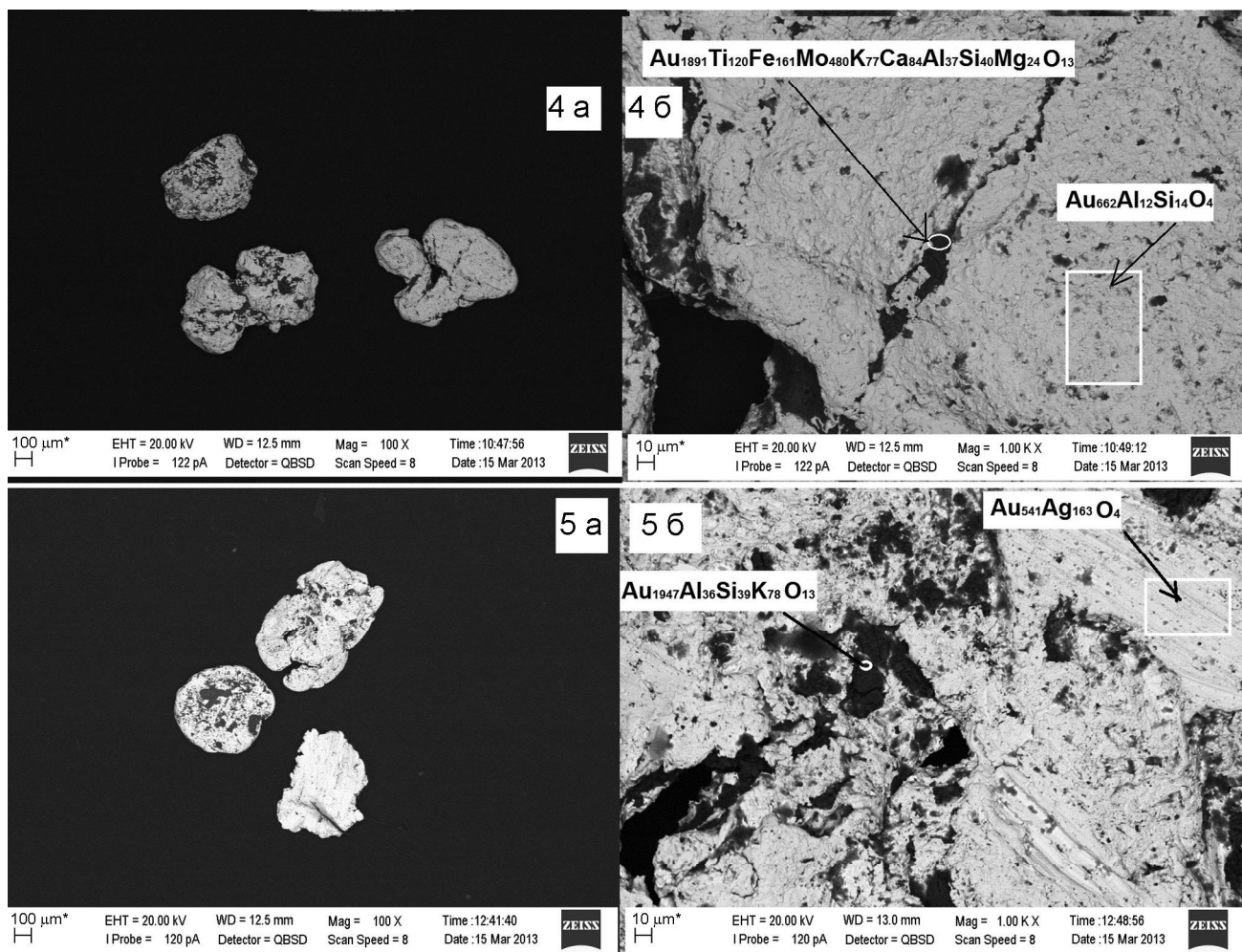


Рис. 3. (Продолжение).

основанная на применении поверхностно-активных реагентов, усиливающих гидрофильные свойства золота в условиях гравитационного обогащения [6, 10]. Вместе с тем, с появлением новой техники, все большее внимание уделяется исследованиям, связанным с воздействием физических полей на минеральное сырье с целью комплексного извлечения полезных компонентов. Особенно это касается оптических методов управления энергетическими потоками, в том числе и лазерных. С появлением мощных оптоволоконных источников лазерного излучения с КПД до 30 % появились новые возможности исследования поведения дисперсных минеральных сред в поле чистой энергии лазерного излучения. Активно разрабатывается технология лазерной агломерации, позволяющая концентрировать золото с размерностью частиц 40 мкм и менее [1, 7, 8].

Количественный анализ содержаний субмикронного (0.1–1 мкм) и тонкодисперсного (1–10 мкм) золо-

та в высокоглинистых песках до и после лазерной обработки, проведенный масс-спектрометрическим методом с индуктивно связанной плазмой ICP-MS ELAN DRC II и ICP-MS ELAN-9000 фирмы Perkin Elmer (США), выявил концентрирование золота на алюмосиликатных спеках до 80 %, что показано на рис. 4.

Установлены количественные характеристики оптимального режима лазерной агломерации: мощность работы источника лазерного излучения ЛС-600 составила 90–120 Вт; интенсивность лазерного воздействия – не более 10^3 Вт/см², время экспозиции в непрерывном режиме работы лазерного оптоволоконного устройства в динамических условиях обработки дисперсной минеральной среды – до 1 секунды.

Практическая значимость проводимых исследований заключается в разработке непрерывной точной технологии доизвлечения субмикронных и ультрадисперсных частиц золота на основе силовой лазерной оптоволоконной техники [7]. Схема непре-

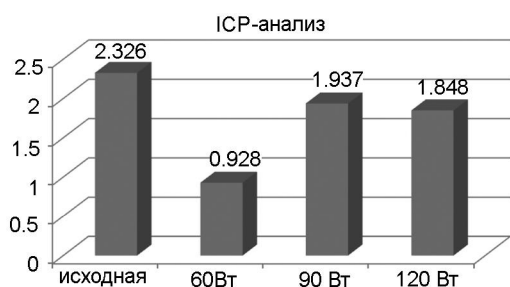


Рис. 4. Диаграмма ИСП-анализа с индуктивно-связанной плазмой: содержание субмикронного и ультрадисперсного золота в высокоглинистых образцах (г/т) исходных и после лазерной обработки при различных мощностях воздействия.

Применен оптоволоконный иттербиевый источник лазерного излучения ЛС-600.

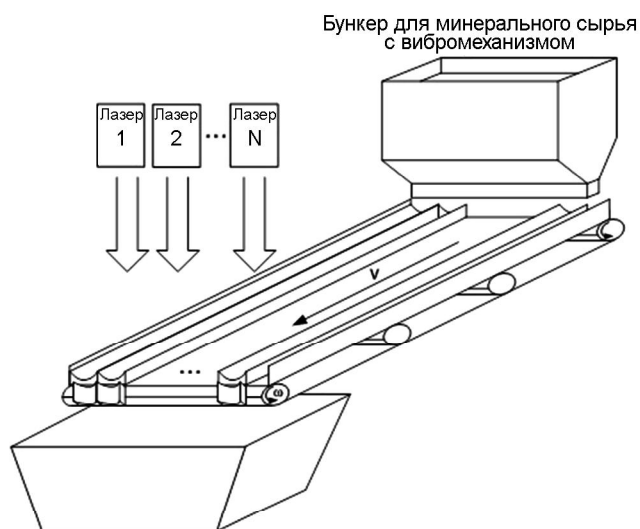


Рис. 5. Схема непрерывной поточной технологии доизвлечения субмикронных и ультрадисперсных частиц золота на основе силовой лазерной оптоволоконной техники.

рывной поточной технологии доизвлечения субмикронных и ультрадисперсных частиц золота на основе силовой лазерной оптоволоконной техники изображена на рис. 5. Необходимо отметить, что современные лазерные источники чистой энергии излучения, имеющие КПД до 30 %, вполне могут интегрироваться в технологические процессы переработки техногенного золотосодержащего минерального сырья.

В ИГД ДВО РАН выполнены исследования, позволяющие усовершенствовать технологические процессы на промывочных приборах и драгах, направленные на выделение фракций с магнитными и электромагнитными свойствами, что позволяет дополнительно концентрировать ряд ценных компонентов.

ВЫВОДЫ

Исследованы морфологические характеристики, гранулометрический состав и процессы изменений золота в условиях отвального комплекса техногенных образований золотосодержащих россыпей Приамурья, приводящие к укрупнению, измельчению зерен и уменьшению их плотности. Результаты исследования имеют практическое значение для анализа и управления процессами распределения металла в техногенных фациях, для создания новых технологий промышленного извлечения золота.

Усовершенствована технология переработки горной массы песков россыпей, позволяющая комплексность извлечения полезных компонентов.

Статья подготовлена при поддержке гранта Российской фонда фундаментальных исследований № 13-05-00586.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леоненко Н.А., Ванина Е.А., Веселова Е.М., Капустина Г.Г. Разработка научных основ извлечения субмикронных форм золота из техногенного сырья // Экол. химия. 2013. Т. 22, № 3. С. 162–168.
2. Мамаев Ю.А., Литвинцев В.С., Пономарчук Г.П., Альков С.П. Особенности освоения крупных техногенных россыпных месторождений с учетом морфологических характеристик золота // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2004. № 4. С. 47–51.
3. Мамаев Ю.А., Литвинцев В.С., Пономарчук Г.П. Техногенные россыпи благородных металлов Дальневосточного региона России и их рациональное освоение. М.: Изд-во «Горная книга», 2010. 309 с.
4. Наумов В.А. Минерогения, техногенез и перспективы комплексного освоения золотоносного аллювия: Автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. Пермь, 2010. 42. с.
5. Осовецкий, Б.М. Наноскульптура поверхности золота. Пермь: Гос. Нац. Исследовательский ун-т, 2012. 232 с.
6. Пат. 2235796 Российская Федерация, МПК7 С 22 В 11/00, В 03 В 1/00. Способ извлечения мелкого золота / Мамаев Ю.А., Литвинцев В. С., Пономарчук Г.П., Банщикова Т.С., Шокина Л.И.; заявитель и патентообладатель Институт горного дела ДВО РАН. № 2003103817; заявл. 10.02.2003; опубл. 10.09.2004. Бюл. № 25.
7. Пат. 2413779 Российская Федерация, МПК С 22 В 11/02, В 22 F 1/00. Способ извлечения дисперсного золота из золотосодержащего высокоглинистого минерального сырья / Леоненко Н.А., Кузьменко А.П., Силютин И.В., Рассказов И.Ю., Секисов Г.В., Гурман М.А., Капустина Г.Г., Швец Н.Л.; заявитель и патентообладатель Институт горного дела ДВО РАН, Тихоокеанский государственный ун-т. № 2010113683/02; заявл. 07.04.10; опубл. 10.03.11. Бюл. № 7.
8. Пат. 242517 Российская Федерация, МПК E21C 41/00 B03 7/00. Способ освоения месторождений руд самородных металлов / Секисов Г.В., Авдеев П.Б., Рассказов И.Ю., Леоненко Н.А.; заявитель и патентообладатель Институт горного дела ДВО РАН. № 2009149111/03, заявл. 28.12.2009; опубл. 27.07.2011 Бюл. № 21.

9. Петровская Н.А. Самородное золото (общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса). М.: Наука, 1973. 347 с.
10. Сорокин А.П., Ван-Ван-Е А.П., Глотов В.Д., Белоусова Д.В., Ковтонюк Г.П., Мамаев Ю.А., Сорокин А.А., Васильев И.А., Литвинцев В.С., Пельцман И.С. Атлас основных золотороссыпных месторождений юга Дальнего Востока и их горно-геологические модели / Ред. А.П. Сорокин. Изд. Владивосток; Благовещенск; Хабаровск: ДВО РАН, 2000. 334 с.
11. Litvintsev V.S., Banshchikova T.S., Leonenko N.A., Alexseev V.A. Effective methods for gold recovery from mining wastes at placers // J. Mining Sci. 2012. V. 48. P. 198–202.
12. Шило Н.А. Учение о россыпях. Теория россыпеобразующих рудных формаций и россыпей. Изд. 2-ое, перераб. и доп. Владивосток: Дальнаука, 2002.

Рекомендована к печати И.Ю. Рассказовым

V.S. Litvintsev, N.A. Leonenko, T.S. Banshchikova

Typomorphic gold specifications in the anthropogenic placer from Priamurye in terms of innovation technology

The study of morphology, grain composition and processes of gold alteration under conditions of dumping complex which lead to coarsening and grain refinement was made with the example of anthropogenic placers of Priamurie. The characteristics of anthropogenic gold presented in the paper are major requisites for analysis and control of processes of metal distribution in anthropogenic facies and creation of new industrial gold extraction methods.

Key words: anthropogenic placers, alluvial facies, morphology, granulometry, gold deformation, accessory mineral, extraction methods, Priamurye.