

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОГЕННОГО ЗОЛОТА ОТВАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ СОЛОВЬЕВСКОГО ЗОЛОТОНОСНОГО УЗЛА

В.С. Алексеев<sup>1</sup>, Т.С. Банщикова<sup>1</sup>, Е.В. Алексеева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН, Хабаровск, Россия,  
e-mail: alekseev.igd.khv@mail.ru

**Аннотация:** По оценкам специалистов потенциал ресурсов техногенных россыпных месторождений достаточно велик. В золотодобывающих районах скопились значительные объемы золотосодержащего материала отвального комплекса — миллиарды кубических метров галечных, эфельных отвалов, торфов и перебуторов. Средние содержания золота в отвальном комплексе являются в основном кондиционными по современным экономическим требованиям и даже могут быть сопоставимы с содержанием в целиковых россыпях, поэтому они могут быть использованы для повторной отработки. Эффективное освоение техногенных россыпных месторождений золота требует проведения исследований, направленных на установление причин потерь золота при первичной отработке россыпи, а также изучения изменения свойств золота в процессе его длительного нахождения в отвалах. Приведены результаты исследования золота из техногенных образований Соловьевского золотоносного узла, выявлены его морфологические изменения в условиях отвальных комплексов, определены содержания металла с применением шурфового опробования, установлены причины потерь при первичной добыче. Приведенные данные электронной микроскопии диагностируют наличие платины в образцах золота. Даны рекомендации для снижения потерь мелкого и тонкого золота при обогащении песков на промывочных приборах шлюзового типа. Изучение морфологии техногенного золота позволяет определить перспективы его добычи с применением инновационных технологий для гравитационного обогащения с учетом изменений гидравлической крупности в узком интервале массы золотин.

**Ключевые слова:** техногенное золото, отвальные комплексы, шурфовое опробование, содержание золота, морфотипы золота, пористость золота, агрегаты золота, гранулометрический состав, гидравлическая крупность, платина, серебро.

**Для цитирования:** Алексеев В. С., Банщикова Т. С., Алексеева Е. В. Особенности техногенного золота отвальных комплексов Соловьевского золотоносного узла // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 7. – С. 134–145. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_7\_0\_134.

### Features of gold in mining waste in the territory of the Solovievsky ore cluster

V.S. Alekseev<sup>1</sup>, T.S. Bانشchikova<sup>1</sup>, E.V. Alekseeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Mining Institute, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia,  
e-mail: alekseev.igd.khv@mail.ru

---

**Abstract:** By estimates, potential resources of manmade placers are sufficiently large. Gold producing regions have accumulated considerable gold-bearing mining waste in amount of billion cubic meters in dredge and sluice tailing dumps, bog mucks and at confluences of streams. The gold content of waste mostly agrees with the modern economic standards and is even comparable with the gold content of natural placers. For this reason, gold mining waste is suitable for secondary gold extraction. Efficient development of gold-bearing manmade placers requires studying the causes of gold loss in primary placer mining as well as analyzing the change in properties of gold during its long-term storage in stock piles. The analysis of gold in manmade placers in the territory of the Solovievsky ore cluster is presented, the morphological changes of gold in dumps are revealed, the gold contents are determined from assaying via prospecting holes, and the causes of gold loss in primary mining are told. The electron scanning microscopy detects platinum in gold samples. The recommendations on reduction in loss of fine and very fine gold in sluicing are given. The morphological analysis of gold in waste shows prospects for gold extraction from waste using innovative technologies in gravity concentration with regard to variation in hydraulic size within a narrow range of mass of gold grains.

**Key words:** gold in mining waste, tailings dumps, prospecting hole assaying, gold content, gold morphotypes, gold porosity, gold aggregates, grain size composition, hydraulic size, platinum, silver.

**For citation:** Alekseev V. S., Banshchikova T. S., Alekseeva E. V. Features of gold in mining waste in the territory of the Solovievsky ore cluster. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(7):134-145. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_7\_0\_135.

---

## Введение

В условиях резкого снижения запасов россыпного золота перспективы его добычи могут быть связаны с вовлечением в переработку техногенных россыпей. По мере совершенствования техники, технологий разработки и обогащения песков роль техногенных объектов в ближайшие годы будет возрастать. Чаще всего запасы техногенных образований вовлекаются в отработку попутно, без предварительной оценки их продуктивности. Полной характеристики этих объектов как сырьевой базы добычи золота с точки зрения содержаний и морфологии металла нет. В этой связи выявление особенностей морфотипов техногенного золота, изменение скульптуры поверхности в процессе длительного нахождения в отвальных комплексах, диагностирование элементов-примесей

в образцах, определение гранулометрического состава и содержания металла при опробовании эфелей является необходимыми условиями установления причин потерь золота в процессе обогащения и в дальнейшей оценке его ресурсов [1 – 7].

## Методика исследований

С целью разработки рекомендаций по эффективному освоению техногенных объектов Институтом горного дела ДВО РАН проведены исследования морфологии, гранулометрии и содержаний золота, а также причин его потерь на шлюзах в лежалых эфельных отвалах россыпей р. Джалинда и р. Инагли, находящихся на территории Соловьевского рудно-россыпного узла (Верхнее Приамурье). Месторождение р. Джалинда на Дальнем Востоке открыто в 1866 г.,

с 1929 г. начался этап его дражной отработки. Общая протяженность россыпи — 40 км. Россыпь р. Б. Инагли введена в эксплуатацию в 1965 г., отработывалась в течении 20 лет с дальнейшей промывкой техногенных отвалов.

Исследование морфологии золота валовой пробы целикового участка Джалиндинской россыпи показало, что золото отличается высокой степенью износа в зоне гипергенеза, практически не установлено первичных форм, нет сростков. Золото представлено идеально окатанными тонкими пластинками овальной формы, края частично загнуты, заклепаны. Поверхность золотин шагреновая, матовая, без налетов побежалости и следов покрытий, цвет золотистый. Окатанность снижается с уменьшением крупности зерен. Такая морфология свидетельствует о значительном отрыве данного участка россыпи от коренного источника и продолжительной миграции уже освободившегося из кластогенно-

го материала металла и длительной его шлифовке в массе рыхлых отложений. Золото с такими показателями обладает высокой степенью плавучести вследствие низкой гидравлической крупности, которая более чем в два раза ниже, чем у изометричного (комковидного, толсто-таблитчатого).

В качестве исследуемого материала использовались пробы эфелей, полученных при шурфовом и бороздовом опробовании. По отвалам россыпи р. Джалинда, представленным отвальным комплексом дражной разработки в период с 1936 по 1978 гг., было заложено 7 шурфов; по отвалам р. Б. Инагли, представленным эфельными фракциями отработки 1968 г., — шурф и 3 траншеи. Из техногенных образований россыпи р. Джалинда обработано 70 проб и 34 пробы из эфелей россыпи р. Б. Инагли; объем каждой пробы — 20 л.

Извлечение золота производилось по схеме, показанной на рис. 1. Доводка

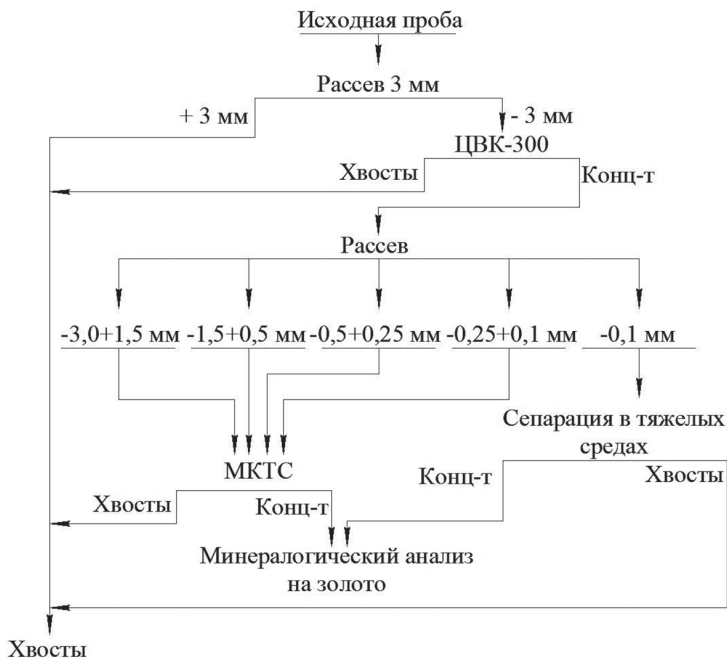


Рис. 1. Схема обогащения проб  
Fig. 1. The scheme of enrichment

каждого класса концентрата ЦВК-300 до шлихового золота производилась с применением комплекса МКТС (ООО «Грант», г. Наро-Фоминск), включающего магнитный, электромагнитный и магнитно-жидкостный сепараторы. Концентрат фракции менее 0,1 мм обрабатывался в тяжелой жидкости плотностью 4,5 г/см<sup>3</sup>. Просмотр шлихового золота под бинокулярным микроскопом проводился с описанием морфологических типов техногенного золота, гранулометрических характеристик, изменений в процессе длительного хранения в отвальном комплексе и с отбором золотин.

Морфотипы техногенного золота исследованы на электронном микроскопе с целью определения скульптур поверхности, элементного состава золотин и включений в них. В работе использовался растровый микроскоп «JEOL» с энергодисперсионным анализатором JSM-6000 PLUS, ускоряющее напряжение — 15кВ, зондирующий ток — 7,475 нА, увеличение от 20 до 3000 раз.

### Результаты и их обсуждения

Минеральный состав техногенных образований россыпей р. Джалинда и р. Б. Инагли схожи. Выход шлихового концентрата от объема пробы в 20 л составил в среднем 4,0% по пробам отвалов р. Джалинда и 12,1% по пробам россыпи р. Б. Инагли. Магнитные минералы в концентратах представлены магнетитом, титаномагнетитом, хромитом; их массовая доля составляет 5—6%. Доля электромагнитных минералов, таких как ильменит, гематит, лимонит, гранат, рутил, слюды, — 40—44%. Немагнитная фракция тяжелого шлиха состоит из золота, киновари, циркона, пирита, галенита, сфена, шеелита, эпидота, танталониобатов.

В эфельных отвалах россыпи р. Джалинда наиболее распространены части-

цы золота размером 1,5—0,5 мм и 0,5—0,2 мм, составляющие основную долю свободного металла — 36,9 и 30,1% соответственно. В техногенных образованиях россыпи р. Б. Инагли ситовый состав золота имеет следующие значения: 1,5—0,5 мм — 42,6%, 0,5—0,2 мм — 23,7%, менее 0,1 мм — 13,5%.

Золото в эфельных отвалах россыпи р. Джалинда представлено несколькими морфологическими видами. Наибольшее распределение имеют пластинчатые индивиды с коэффициентом уплощения  $K_y = 4 \div 10$ , а также пластинчато-чешуйчатое золото с  $K_y > 10$  (рис. 2, а). Края золотин неровные рваные, заклепанные, поверхность ямчато-бугристая, шагреневая, пористая, реже зернистая со следами скольжения, с примазками гидроокислов железа и присыпками мелкокристаллического кварца, серицита; поры и небольшие трещины заполнены глинистым материалом. Техногенное золото россыпи р. Б. Инагли по коэффициенту уплощения ближе к изометричному ( $K_y = 1 \div 5$ ). В основном это комковидные, таблитчатые зерна (субрудный тип), представляющие собой сростки золота с кварцем, имеющие множество интерстиций, заполненных серицитом, кварцем, лимонитом и глинистым материалом.

В условиях длительного хранения техногенных образований под воздействием атмосферных осадков, перепада температур, влияния гуминовых кислот и попадания пемзованной ртути в отвалы при первичном обогащении песков происходят изменения внешнего облика и внутренней структуры частиц золота. В классах крупности 3,0—1,5 мм и 1,0—0,5 мм преобладают неоднородные формы в виде округлых зерен, имеющих высокопористую структуру. Пустоты (поры) частично заполнены тонкокристаллическим кварцем и серицитом, но чаще всего глинистыми ча-

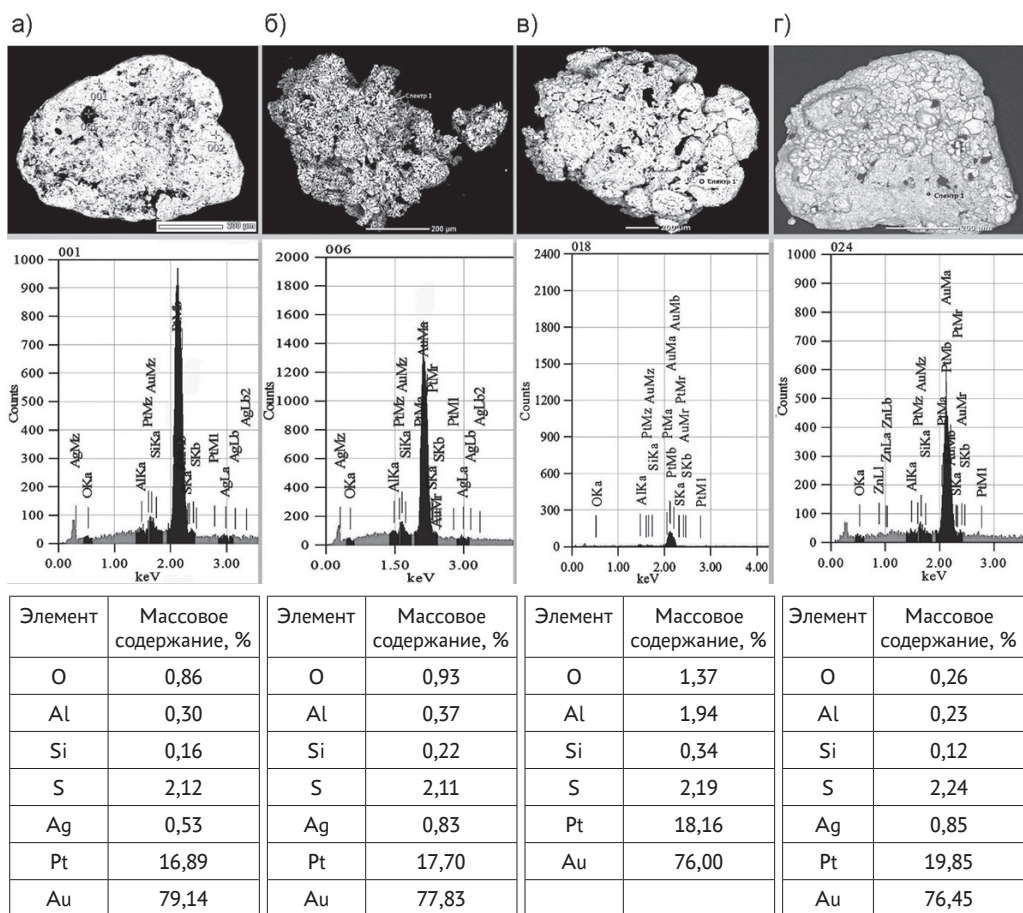


Рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение частиц золота: пластинчатое золото (а); пористое золото (б); конгломераты золота (в); зернистое золото (г)

Fig. 2. Electron microscopic image of gold particles: platy gold (a); porous gold (b); gold conglomerates (v); grain gold (g)

стицами (рис. 2, б). Такие индивиды присутствуют во всех анализируемых пробах эфелей россыпи р. Джалинды. Отличительной особенностью является нахождение в отвалах конгломератов, представленных «слипшимися» частицами золота в виде тончайших овальных пластинок и чешуек (рис. 2, в). Эффект агрегирования объясняется наличием пленок ртути, применявшейся ранее как собиратель на шлюзах глубокого наполнения. В пробах из отвалов россыпи р. Джалинда ранних периодов обработки (1930 – 1936 гг.) присутству-

ет пластинчатое золото, поверхность которого изобилует новообразованиями в виде мельчайших (менее 50 мкм) зерен насыщенного желтого цвета с красноватым оттенком (рис. 2, з).

Просмотренные на растровом микроскопе «JEOL» образцы, кроме конгломератов, имеют особый тип микроструктуры поверхности — коррозионных пор, трещин, интерстиций, заполненных в основном глинистым материалом. На рис. 2 представлены электронно-микроскопические изображения морфотипов золота, просмотрено более 80 спектров.

По результатам электронной микроскопии образцов россыпи р. Джалинда количество золота (в масс.%) в пластинчато-чешуйчатом морфотипе колеблется от 58,4 до 79,14, в шаровидном с высокой степенью пористости — от 67,46 до 77,83, в конгломератах — от 68,87 до 76,0. Во всех рассмотренных образцах в генезисе с золотом определяется (в масс.%) платина — от 11,41 до 23,4, серебро — от 0,53 до 2,66, осмий (в конгломератах) — от 1,85 до 3,19; в виде примесей диагностируется свинец, сера, алюминий, кремний (данный 62 спектров).

Техногенное золото россыпи реки Б. Инагли представлено, в основном, в виде таблитчатых индивидов с ярко зернистой поверхностью. При увеличении 500х установлен диапазон размерности зерен от 10 до 20 мкм в поперечнике, форма округлая, упаковка от плотной до слабо рыхлой. Содержание золота (масс.%) от 73,25 до 76,45, платины — от 19,76 до 21,36, серебра — от 0,85 до 1,72 (17 спектров). Встречены единичные знаки пластинчатого золота с налипанием на поверхности игольчатых форм металла. Содержание золота в пластинке 65,51 и 49,02 масс.%, в иголках — 19,62 и 13,43 масс.% (данные 2-х спектров). Отличие элементного состава техногенного золота россыпи р. Б. Инагли от таковой россыпи р. Джалинда заключается в отсутствии осмия, свинца и присутствии цинка в микронных частицах, образующих зернистую поверхность.

Особенностью элементного состава техногенного золота является наличие платины в исследуемых образцах. В комплексе диагностируются золото, платина, серебро, в единичных случаях осмий (конгломераты).

Наличие в самородном золоте россыпей платины чаще интерпретируются изоморфными соотношениями золото-

платиновой фазы (природные сплавы), реже обнаруживаются выделения платины в минеральной форме. В образцах золота из техногенных образований россыпей р. Джалинда и р. Б. Инагли платиносодержащих минералов не обнаружено. Наличие платины в самородном золоте россыпных месторождений Дальнего Востока отмечалось многими исследователями. По данным [8—10] установлена повышенная платиноносность самородного золота россыпей р. Гарган и ручья Антониновский (6 и 28 г/т). В золотоносной россыпи Гарь-1 (Верхнее Приамурье), в самородке золота весом 5735 г с небольшой (9% от общего веса примесью кварца) содержание платины составило 24 г/т. Шлиховое золото Фадеевского россыпного узла (Приморский край) содержит платину в виде сплавов Pt-Fe (доминирующая фаза) и Os-Ir-Ru. При обогащении трех тонн вторичных хвостов ШОУ (Соловьевский прииск) на обогатительном комплексе ИГД ДВО РАН получено шлиховое золото, содержащее 85% чистого металла, в котором химическим методом анализа наряду с золотом определена платина: в навеске 10 г количество платины составило 9,0 мг. При просмотре шлихового золота под биноклем платина в минеральной форме не обнаружена.

В табл. 1 приведены результаты поинтервального опробования эфельных отвалов по годам отработки россыпи р. Джалинда. Содержание золота из семи пройденных шурфов неоднозначно, разброс значений от 0,7 до 8,24 г/м<sup>3</sup>. В отвалах превалирует доля мелкого золота (менее 0,5 мм), исключение составляют эфельные отвалы 1978 г. отработки, где содержание в классах 3,0—0,5 мм в два раза выше, чем в мелких фракциях. Максимальным по содержанию металла являются шурфы № 5 и № 2 (эфеля 1930 г. и 1961 г.).

**Результаты поинтервального опробования эфельных отвалов по годам отработки россыпи р. Джалинда**  
**Interval assaying data of sluice tailings dumps by years of placer mining at the Dzhalinga River**

Интервал опробования, см	Год отработки, номер шурфа						
	1970, шурф № 1	1961, шурф № 2	1978, шурф № 3	1973, шурф № 4	1930, шурф № 5	1936, шурф № 6	1969, шурф № 7
	Среднее содержание золота, г/м <sup>3</sup>						
0 – 20	0,1	0,8	3,15	13,4	13,6	0,9	0,2
20 – 40	0,3	1,95	1,05	0,75	6,05	1,45	0,55
40 – 60	0,2	43,6	0,92	0,35	3,1	0,2	1,15
60 – 80	0,35	0,75	2,75	1,5	0,315	0,6	0,6
80 – 100	1,7	0,90	1,1	1,65	57,1	0,25	1,5
100 – 120	1,0	0,8	6,3	0,65	1,3	0,75	0,65
120 – 140	0,7	0,3	6,65	0,7	0,7	4,1	0,45
140 – 160	0,65	4,85	2,35	2,45	0,17	0,3	0,35
160 – 180	0,85	1,15	5,0	0,25	1,05	0,5	0,6
180 – 200	0,7	0,55	0,8	0,17	0,205	0,6	0,15
Среднее на шурф	0,7	5,6	3,0	2,2	8,24	0,97	0,7

В отвальном комплексе россыпи р. Б. Инагли при шурфовом опробовании установлено, что содержание золота колеблется от 0,19 до 4,95 г/м<sup>3</sup>, составляя в среднем 1,94 г/м<sup>3</sup> (данные 10 анализов). При этом количество металла убывает от верхних интервалов шурфа (0 – 20 см) к нижним (160 – 180 см). В бороздовых пробах техногенных образований (данные двух траншей) содержание золота варьирует от 0,35 до 7,56 г/м<sup>3</sup>, среднее содержание — 2,46 г/м<sup>3</sup>.

При освоении техногенных россыпных месторождений необходимо учитывать причины потерь металла при первичной разработке. Прежде всего, это размеры и морфологические особенности частиц золота, а также наличие гидрофобных пленок. Малые размеры частиц (0,5 мм и менее) в совокупности с уплощенной формой, с развитостью тонкопластинчатых и чешуйчатых индивидов придает им «летные» качества.

Пористая структура уменьшает плотность частиц золота. Золото в окисленных формах плохо поддается гравитационному обогащению и зачастую смывается в хвосты. Нахождение такого золота в течение долгого времени в отвалах приводит к уменьшению гидравлической крупности и к стиранию контрастности свойств для гравитационного обогащения.

Гидравлическая крупность золота является важным технологическим показателем для обоснования выбора гравитационного обогащения в жидкой среде. Анализ зависимости гидравлической крупности от морфотипа золота приведен в работе И.И. Ковлекова на примере техногенного золота россыпи р. Куранах (Якутия) [11].

Гидравлическая крупность определяется путем замера скорости осаждения частиц в дистиллированной воде. Установлено, что уменьшение скорости

осаждения обусловлено степенью изометричности золота в следующем порядке: изометричное (комковидное); таблитчатое; изометрично пористое; тонкоплатинчатое, чашуйчатое. В результате эксперимента по определению гидравлической крупности образцы золота были рассортированы по уплощенности на изометрично-таблитчатый и пластинчато-чашуйчатый морфотипы. Средний максимальный размер изометрично-пластинчатых зерен составил 0,58 мм при средней массе 0,175 мг. Экземпляры пластинчато-чешуйчатого морфотипа по размеру крупнее — 0,66 мм, но вес их меньше — 0,162 мг.

Серия анализов гидравлической крупности техногенного золота показала следующее:

- для золота, независимо от морфотипа, характерны высокие градиенты изменения гидравлической крупности в узком интервале значений массы золотин от 0 до 3 мг;
- установлена низкая гидравлическая крупность у чешуйчатого золота — она в 2,6 раза ниже, чем у изометричного;
- близость золота пластинчато-чешуйчатого типа по величине гидравлической крупности к зернам магнетита и пирита подтверждает его упорность к извлечению гравитационными методами.

Для извлечения россыпного золота разработаны и испытаны технологии выщелачивания [12–14], отсадочные машины, центробежные концентраторы, винтовые сепараторы, позволяющие повысить извлечение драгоценных металлов, классом крупности менее 0,2 мм, но по-прежнему в России и за рубежом основная доля драгоценных металлов извлекается на промывочных приборах, оснащенных шлюзами [2, 15–20]. Для снижения потерь золота на шлюзах следует учесть некоторые изменения в технологических схемах обогащения, как на промывочных приборах, так и в до-

водке концентратов на шлюхообогажительных установках (ШОУ).

Сотрудниками Института горного дела ДВО РАН накоплен богатый опыт по модернизации шлюзовых промывочных приборов для конкретных горно-геологических условий, в том числе для обогащения песков техногенных россыпей [21–23]. Шлюзовые промприборы способны извлекать мелкое и тонкое золото с минимальными потерями при соблюдении ряда условий.

Прежде всего, обеспечение соответствия производительности промприбора гранулометрическому составу песков. При промывке эфельных отвалов, которые зачастую содержат значительное количество песковой фракции (–2,0+ +0,1 мм), работа промприбора с паспортной производительностью может привести к перегрузке шлюзов и увеличению потерь. Во-вторых, качественная дезинтеграция песков, что обуславливает наличие эффективной системы орошения. В-третьих, обеспечение максимальной эффективности грохочения песков. Многостадийная классификация материала позволяет создать на шлюзах максимально благоприятные условия для обогащения конкретного класса крупности золота. Кроме того, узкая классификация за счет сокращения объема обогащаемых песков позволяет снизить удельную нагрузку на шлюзы. В-четвертых, обеспечение равномерности распределения нагрузки на шлюзах. Это достигается применением бункеров-питателей, установленных в питании каждого шлюза, оснащенных регулировочным устройством, способным изменять количество и Т:Ж подаваемого на шлюзы материала. Также необходимо использование улавливающих покрытий с максимально эффективным извлечением полезного компонента, позволяющих оперативно производить сполоск концентрата [24].



При обогащении концентратов на шлихо-обогажительных установках (ШОУ) можно применять их обработку галогенсодержащим реагентом, тем самым увеличивая гидрофильные свойства тонкопластинчатого, пористого золота, а также золота с различными пленками и покрытиями, не позволяя металлу быть смытым в хвосты. Технология применялась для извлечения золота из техногенных образований Приамурских россыпей [25]. Прирост золота с применением реагента отмечается на всех пяти приводимых объектах — от 41,6 до 242,4%, самый высокий положительный эффект достигается для класса — 0,1 мм.

Применение поверхностно-активных веществ (ПАВ) в условиях гравитационного обогащения (гравитационный стол, лоток) снижает влияние поверхностного напряжения воды, и частицы золота с высоким коэффициентом уплотнения оседают в концентрат. Способ опробован при доводке золотосодержащего концентрата из техногенных россыпей нижнего Приамурья. При доводке концентрата на лотке потери в виде плавающих на поверхности воды и не оседающих на дно лотка золотин для шлихов первой россыпи составили 30%, второй — 37%. При добавлении в зумпф смеси ПАВ и пеногасителя извлечение достигло 96% в первом эксперименте и более 94% — во втором [25].

### **Выводы**

Исследования техногенных образований россыпей р. Джалинда и р. Б. Инагли (Соловьевский золотоносный узел) позволили выявить морфологические изменения самородного золота в процессе длительного нахождения в эфельных отвалах. В отличие от металла целиковой россыпи р. Джалинда, техногенное золото характеризуется:

- изменением поверхностного рельефа золотин (высокая пористость, мел-

кие трещины, образование шаровидных зерен);

- появлением агрегатного состояния частиц очень мелкого (менее 0,1 мм) пластинчатого золота в виде конгломератов, образующихся в результате цементирования пластинок и чешуек пленками ртути, применяемой в процессе первичной добычи;

- появлением новообразований в виде мельчайших округлых зерен «нового» золота на поверхности золотин;

- образованием плотных покрытий из гидроокислов железа.

Просмотр образцов техногенного золота под электронным микроскопом на предмет элементного состава выявил присутствие платины, которая фиксировалась в большинстве спектров, при этом минералов платины не обнаружено. Наличие платины в техногенном золоте несомненно повышает его ценность в вопросах освоения техногенных золотороссыпных объектов.

Изучение характеристик техногенного золота позволяет определить перспективы его добычи. Для этого необходимы исследования по следующим направлениям:

- наиболее полное опробование техногенных образований с определением содержания золота для оценки их продуктивности;

- определение причин потерь металла при первичной обработке россыпей;

- применение инновационных технологий для гравитационного обогащения техногенных образований, содержащих золото определенных морфотипов, для которого характерны высокие изменения гидравлической крупности в узком интервале массы золотин.

Извлечение золота, его электронно-микроскопическое исследование и минералогический анализ выполнены на базе ЦКП «Центр исследования минерального сырья» ХФИЦ ДВО РАН.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Литвинцев В. С., Алексеев В. С., Краденых И. А. Ресурсный потенциал техногенных золотороссыпных месторождений и стратегия их масштабного освоения // Маркшейдерия и недропользование. — 2017. — № 5. — С. 21–29.
2. Мирзеханов Г. С., Литвинцев В. С. Состояние и проблемы освоения техногенных россыпных месторождений благородных металлов в Дальневосточном регионе // Горный журнал. — 2018. — № 10. С. — 25–30. DOI: 10.17580/gzh.2018.10.04
3. Pirajno F., Goryachev N. A. Gold Deposits and Gold Metallogeny of Far East Russia // Ore Geology Reviews. 2014. Vol. 59. Pp. 123–151.
4. Wierchowicz J., Mikulski S. Z., Gąsiński A. Nanoforms of Gold from Abandoned Placer Deposits of Wądroże Wielkie (Lower Silesia, Poland) // Ore Geology Reviews. 2018. Vol. 101. Pp. 211–220.
5. Kerr G., Malloch K., Lilly K., Craw D. Diagenetic alteration of a mesozoic fluvial gold placer deposit, Southern New Zealand // Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 83. Pp. 14–29.
6. Massaro L., Theije M. Understanding small-scale gold mining practices: An anthropological study on technological innovation in the Vale Do Rio Peixoto (Mato Grosso, Brazil) // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 204. Pp. 618–635.
7. Ferring D., Hausermann H., Effah E. Heterogeneity of small-scale gold mining in Ghana // The Extractive Industries and Society. 2016. Vol. 3. Pp. 171–184.
8. Моисеенко В. Г., Степанов В. А., Эйриш Л. В., Мельников А. В. Платиноносность Дальнего Востока. — Владивосток: Дальнаука, 2004. — 176 с.
9. Моисеенко В. Г., Сафронов П. П., Степанов В. А. О платиновой минерализации Верхнего Приамурья / Геологические исследования в Амурской области. — Благовещенск: Изд-во ком. природ. ресурсов Амурск. обл., 2000. — С. 71–73.
10. Молчанов В. П., Моисеенко В. Г., Хомич В. Г. Минералы благородных металлов россыпей Фадеевского узла (Приморье) как индикаторы формационной принадлежности коренных источников // Доклады академии наук. — 2005. — Т. 402. — № 5. — С. 661–664.
11. Ковлеков И. И. Техногенное золото Якутии. — М.: Изд-во МГГУ, 2002. — 302 с.
12. Секисов А. Г., Рассказова А. В., Литвинова Н. М., Кирильчук М. С. Комбинированное кучное выщелачивание сложноразвлекательных форм золота из техногенно-трансформированного минерального сырья // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 8. — С. 198–208. DOI 10.25018/0236-1493-2019-08-0-198-208.
13. Секисов А. Г., Рассказова А. В., Богомяков Р. В., Литвинова Н. М. Патент 2678344 Российская Федерация, МПК Е 21 В 43/28, Е 21 С 41/00. Способ комбинированной разработки месторождений золота из россыпей и техногенных минеральных образований. № 2018109621, заявл. 19.03.2018; опубл. 28.01.2019, Бюл. № 4.
14. Секисов А. Г., Рассказова А. В., Богомяков Р. В. Патент 2687715 Российская Федерация, МПК Е 21 В 43/28, Е 21 С 41/00. Способ комбинированной разработки россыпных месторождений. № 2018116970, заявл. 07.05.2018; опубл. 15.05.2019, Бюл. № 14.
15. Литвинцев В. С., Сас П. П. Рациональные параметры работы шлюзов и отсадочных машин промприбора «Аляска-35» // Обогащение руд. — 2016. — № 3. — С. 35–40. DOI: 10.17580/or.2016.03.06.
16. Литвинцев В. С. Основные направления стратегии освоения техногенных рудных и россыпных месторождений благородных металлов // Горный журнал. — 2013. — № 10. — С. 38–41.
17. Le Barge W. P., Nordling M. G. Yukon Placer Mining Industry 2007–2009. Whitehorse: Yukon Geological Survey, 2011. 151 p.
18. Van Loon S., Bond J. D. Yukon Placer Mining Industry Report 2010–2014. Whitehorse: Yukon Geological Survey, 2014. 230 p.
19. Tuokuu F., Idemudia U., Gruber J. S., Kayira J. Identifying and clarifying environmental policy best practices for mining industry — a systematic review // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 222. Pp. 922–933.

20. MacFarlane K. E., Nordling M. G. Yukon Exploration and Geology Overview 2013. Whitehorse: Yukon Geological Survey, 2014. 80 p.

21. Алексеев В. С., Серый П. С., Соболев А. А. Повышение извлечения мелкого золота на промывочном приборе шлюзового типа // Обогащение руд. — 2019. — № 5. — С. 13–18. DOI: 10.17580/or.2019.05.03.

22. Серый П. С., Таганов В. В., Гевало К. В. Снижение потерь драгоценных металлов на промывочных приборах за счет оптимизации работы шлюзов мелкого наполнения // Горный журнал. — 2018. — № 10. — С. 49–52. DOI: 10.17580/gzh.2018.10.09.

23. Серый П. С. Снижение потерь золота на шлюзовых промывочных приборах при отработке труднообогатимых россыпей // Маркшейдерия и недропользование. — 2014. — № 6. — С. 20–22.

24. Серый П. С. Патент 129428 Российская Федерация, МПК В 03 В 5/70. Дражный ковер. № 2012153326/03, заявл. 10.12.2012; опублик. 27.06.2013, Бюл. № 18.

25. Алексеев В. С., Банщикова Т. С. Применение нетрадиционных технологий для извлечения золота из техногенных образований россыпей Приамурья // Горный журнал. — 2018. — № 10. — С. 52–57. DOI: 10.17580/gzh.2018.10.10. **MIAB**

## REFERENCES

1. Litvintsev V. S., Alekseev V. S. Resource potential of technogenic gold deposits and strategy of their wide development. *Marksheyderiya i nedropol'zovaniye*. 2017, no 5, pp. 21–29. [In Russ].

2. Mirzekhanov G. S., Litvintsev V. S. Mining waste management at precious metal placers in the Russian Far East: State-of-the-art and problems. *Gornyi Zhurnal*. 2018, no 10, pp. 25–30. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2018.10.04

3. Pirajno F., Goryachev N. A. Gold Deposits and Gold Metallogeny of Far East Russia. *Ore Geology Reviews*. 2014. Vol. 59. Pp. 123–151.

4. Wierchowicz J., Mikulski S. Z., Gąsiński A. Nanofoms of Gold from Abandoned Placer Deposits of Wądroże Wielkie (Lower Silesia, Poland). *Ore Geology Reviews*. 2018. Vol. 101. Pp. 211–220.

5. Kerr G., Malloch K., Lilly K., Craw D. Diagenetic alteration of a mesozoic fluvial gold placer deposit, Southern New Zealand. *Ore Geology Reviews*. 2017. Vol. 83. Pp. 14–29.

6. Massaro L., Theije M. Understanding small-scale gold mining practices: An anthropological study on technological innovation in the Vale Do Rio Peixoto (Mato Grosso, Brazil). *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 204. Pp. 618–635.

7. Ferring D., Hausermann H., Effah E. Heterogeneity of small-scale gold mining in Ghana. *The Extractive Industries and Society*. 2016. Vol. 3. Pp. 171–184.

8. Moiseenko V. G., Stepanov V. A., Eyrish L. V., Mel'nikov A. V. *Platinonosnost' Dal'nego Vostoka* [Platinum Potential of the Far East], Vladivostok, Dal'nauka, 2004, 176 p.

9. Moiseenko V. G., Safronov P. P., Stepanov V. A. About Platinum Mineralization of Amur Region. *Geologicheskie issledovaniya v Amurskoy oblasti* [Geological research in the Amur region], Blagoveshchensk, 2000, pp. 71–73.

10. Molchanov V. P., Moiseenko V. G., Khomich V. G. Minerals Precious Metals from the Fadeevsky Node Placers (Primor'e) as Indicators of Formation Belonging of Original Sources. *Doklady akademii nauk*. 2005, vol. 402, no 5, pp. 661–664. [In Russ].

11. Kovlekov I. I. *Tekhnogennoe zoloto Yakutii* [Technogenic gold of Yakutia], Moscow, Izd-vo MGGU, 2002, 302 p.

12. Sekisov A. G., Rasskazova A. V., Litvinova N. M., Kirilchuk M. S. Integrated heap leaching of rebellious gold from altered mineral waste. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no 8, pp. 198–208. [In Russ]. DOI 10.25018/0236-1493-2019-08-0-198-208.

13. Sekisov A. G., Rasskazova A. V., Bogomyakov R. V., Litvinova N. M. *Patent RU 2678344, MPK E 21 V 43/28, E 21 S 41/00*. 28.01.2019.

14. Sekisov A. G., Rasskazova A. V., Bogomyakov R. V. *Patent RU 2687715, MPK E 21 V 43/28, E 21 S 41/00*. 15.05.2019.
15. Litvintsev V. S., Sas P. P. Rational parameters of the operation of locks and jiggling machines of the industrial device «Alaska-35». *Obogashchenie Rud.* 2016, no 3, pp. 35–40. [In Russ]. DOI: 10.17580/or.2016.03.06.
16. Litvintsev V. S. Basic directions of the strategy of mastering of anthropogenic ore and placer deposits of noble metals. *Gornyi Zhurnal.* 2013, no 10, pp. 38–41.
17. Le Barge W. P., Nordling M. G. *Yukon Placer Mining Industry 2007–2009*. Whitehorse: Yukon Geological Survey, 2011. 151 p.
18. Van Loon S., Bond J. D. *Yukon Placer Mining Industry Report 2010–2014*. Whitehorse: Yukon Geological Survey, 2014. 230 p.
19. Tuokuu F., Idemudia U., Gruber J. S., Kayira J. Identifying and clarifying environmental policy best practices for mining industry – a systematic review. *Journal of Cleaner Production.* 2019. Vol. 222. Pp. 922–933.
20. MacFarlane K. E., Nordling M. G. *Yukon Exploration and Geology Overview 2013*. Whitehorse: Yukon Geological Survey, 2014. 80 p.
21. Alekseyev V. S., Seryy R. S., Sobolev A. A. Increase of recovery of fine-grained gold on the sluice box. *Obogashchenie Rud.* 2019, no 5, pp. 13–18. [In Russ]. DOI: 10.17580/or.2019.05.03.
22. Seryy R. S., Taganov V. V., Gevalo K. V. Reduction in precious metal loss in washing machines by optimizing performance of gateways of fine filling. *Gornyi Zhurnal.* 2018, no 10, pp. 49–52. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2018.10.09.
23. Seryy R. S. Gold losses decrease in sluice washing devices during the development of difficult alluvial deposits. *Marksheyderiya i nedropol'zovaniye.* 2014, no 6, pp. 20–22. [In Russ].
24. Seryy R. S. *Patent RU 129428, MPK V 03 V 5/70*. 27.06.2013
25. Alekseev V. S., Banshchikova T. S. Non-conventional technologies for gold extraction from commercial placers of Priamurye. *Gornyi Zhurnal.* 2018, no 10, pp. 52–57. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2018.10.10.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Алексеев Владимир Сергеевич<sup>1</sup> — канд. техн. наук,  
ведущий научный сотрудник, e-mail: alekseev.igd.khv@mail.ru,  
Банщикова Тамара Сергеевна<sup>1</sup> — старший научный сотрудник,  
Алексеева Екатерина Владимировна<sup>1</sup> — младший научный сотрудник,  
<sup>1</sup> Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН.  
**Для контактов:** Алексеев В.С., e-mail: alekseev.igd.khv@mail.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.S. Alekseev<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher,  
e-mail: alekseev.igd.khv@mail.ru,  
T.S. Banshchikova<sup>1</sup>, Senior Researcher,  
E.V. Alekseeva<sup>1</sup>, Junior Researcher,  
<sup>1</sup> Mining Institute, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,  
680000, Khabarovsk, Russia.  
**Corresponding author:** V.S. Alekseev, e-mail: alekseev.igd.khv@mail.ru.

Получена редакцией 22.06.2020; получена после рецензии 08.07.2020; принята к печати 10.06.2021.  
Received by the editors 22.06.2020; received after the review 08.07.2020; accepted for printing 10.06.2021.

