

УДК 622.271.1:622.342.1

Алексеева Екатерина Владимировна
младший научный сотрудник,
Хабаровский федеральный
исследовательский центр
Дальневосточного отделения РАН,
680000, г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51
e-mail: Alekseeva_igd@mail.ru.

**МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ
ТЕХНОГЕННОГО ЗОЛОТА
ИЗ ОТВАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ
И ПРИЧИНЫ ЕГО ПОТЕРЬ
ПРИ ПЕРВИЧНОЙ ОТРАБОТКЕ
РОССЫПЕЙ СОЛОВЬЕВСКОГО
ЗОЛОТОНОСНОГО УЗЛА**

Аннотация:

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. В работе приведены результаты исследования золота из техногенных образований Соловьевского золотоносного узла (Верхнее Приамурье), выявлены его морфологические изменения в условиях отвальных комплексов, определены содержания металла с применением шурфового опробования, а также установлены причины потерь золота при первичной добыче. Исследованы морфотипы техногенного золота на растровом электронном микроскопе «JEOL JSM-6000 PLUS» с целью определения скульптур поверхности, элементного состава золотин и включений в них. Приведенные данные электронной микроскопии диагностируют наличие в образцах золота платины до 21 %, а также серебра около 2 %. Даны рекомендации для снижения потерь мелкого и тонкого золота при обогащении песков на промывочных приборах шлюзового типа.

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

DOI: 10.25635/2313-1586.2021.01.035

Alekseeva Ekaterina V.
Junior Researcher,
Khabarovsk Federal Research Center,
Far Eastern Branch of RAS,
680000, Khabarovsk,
51 Turgeneva Str.
e-mail: Alekseeva_igd@mail.ru.

**MORPHOLOGICAL CHANGES
OF TECHNOGENIC GOLD FROM DUMP
COMPLEXES AND CAUSES OF ITS LOSSES
DURING PRIMARY MINING
OF PLACERS OF THE SOLOVYEVSKY
GOLD-BEARING UNIT**

Abstract:

The effective development of technogenic alluvial gold deposits requires research aimed at establishing the causes of gold losses during the primary mining of a placer, as well as studying the properties of gold after its long staying in dumps. The paper presents the results of the study of gold from the technogenic formations of the Solovyevsky gold-bearing cluster (Upper Amur region), reveals its morphological changes in dump complexes, shows the metal content using pit sampling, and establishes the causes of gold losses during primary mining. The morphotypes of technogenic gold were studied using the scanning electron microscope "JEOL JSM-6000 PLUS" in order to determine the surface sculptures, the elemental composition of gold particles and of their inclusions. The given data of electron microscopy diagnose the presence of platinum in gold samples up to 21 percent, as well as silver about 2 percent. The paper contains recommendations for reducing the loss of fine-grained and fine-dispersed gold during the beneficiation of sands on sluice-type washing devices.

Key words: technogenic gold, dump complexes, pit sampling, gold content, gold morphotypes, gold porosity, gold aggregates, particle size distribution, hydraulic size, platinum, silver

Введение

В техногенных образованиях золотосодержащих россыпей локализован большой потенциал основного металла и ряда ценных попутных компонентов. Однако значительная концентрация золота в отвальных комплексах определяет их перспективы, но не решает проблему при повторном его извлечении с применением технологических схем, использующихся при первичной разработке россыпи. В этой связи выявление особенностей морфотипов техногенного золота, изменение скульптуры поверхности в процессе длительного нахождения в отвальных комплексах, диагностирование элемен-

тов-примесей в образцах, определение гранулометрического состава и содержания металла при опробовании эфелей – это необходимые условия установления причин потери золота в процессе обогащения и при дальнейшей оценке его ресурсов [1 – 8].

Методика исследований

С целью разработки рекомендаций по эффективному освоению техногенных объектов Институтом горного дела ДВО РАН проведены исследования морфологии, гранулометрии и содержания 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., обрабатывалась в течение 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 кластогенного 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, толстотаблитчатого).

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 г., 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 из проб проводилась по следующей схеме: отсев по классу 3,0 мм; обогащение класса -3,0 мм на центробежно-вибрационном концентрате ЦВК-200; взвешивание и классификация полученного концентрата по фракциям: -3,0+1,5 мм; -1,5+0,5 мм; -0,5+0,25 мм; -0,25+0,1 мм; -0,1 мм; доводка материала каждого класса до шлихового золота на комплексе 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/см³. Просмотр шлихового золота под бинокулярным микроскопом проводился с описанием морфологических типов техногенного золота, гранулометрических характеристик, изменений в процессе длительного хранения в отвальном комплексе и 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 - 15kV, зондирующий ток - 7,475 nA, увеличение от 20 до 3000 раз.

Результаты и их обсуждение

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 частицы 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. 1, а). Края золотин неровные рваные, заклепанные, поверхность ямчато-бугристая, шагреновая, 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.

Просмотренные на растровом микроскопе «JEOL» образцы, кроме конгломератов, имеют особый тип микроструктуры поверхности – коррозионных пор, трещин, интерстиций, заполненных в основном глинистым материалом. На рис. 1 представлены электронно-микроскопические изображения морфотипов золота, просмотрено более 80 спектров.

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 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 частицами (см. рис. 1, 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. 1, в). Эффект агрегирования объясняется наличием пленок ртути, применявшейся ранее как собиратель на шлюзах глубокого наполнения. В пробах из отвалов россыпи р. Джалинда ранних периодов отработки (1930 – 1936 гг.) присутствует пластинчатое золото, поверхность которого изобилует новообразованиями в виде мельчайших (менее 50 микрон) зерен насыщенного желтого цвета с красноватым оттенком (см. рис. 1, г).

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 просмотренных 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 (данные 62-х спектров).

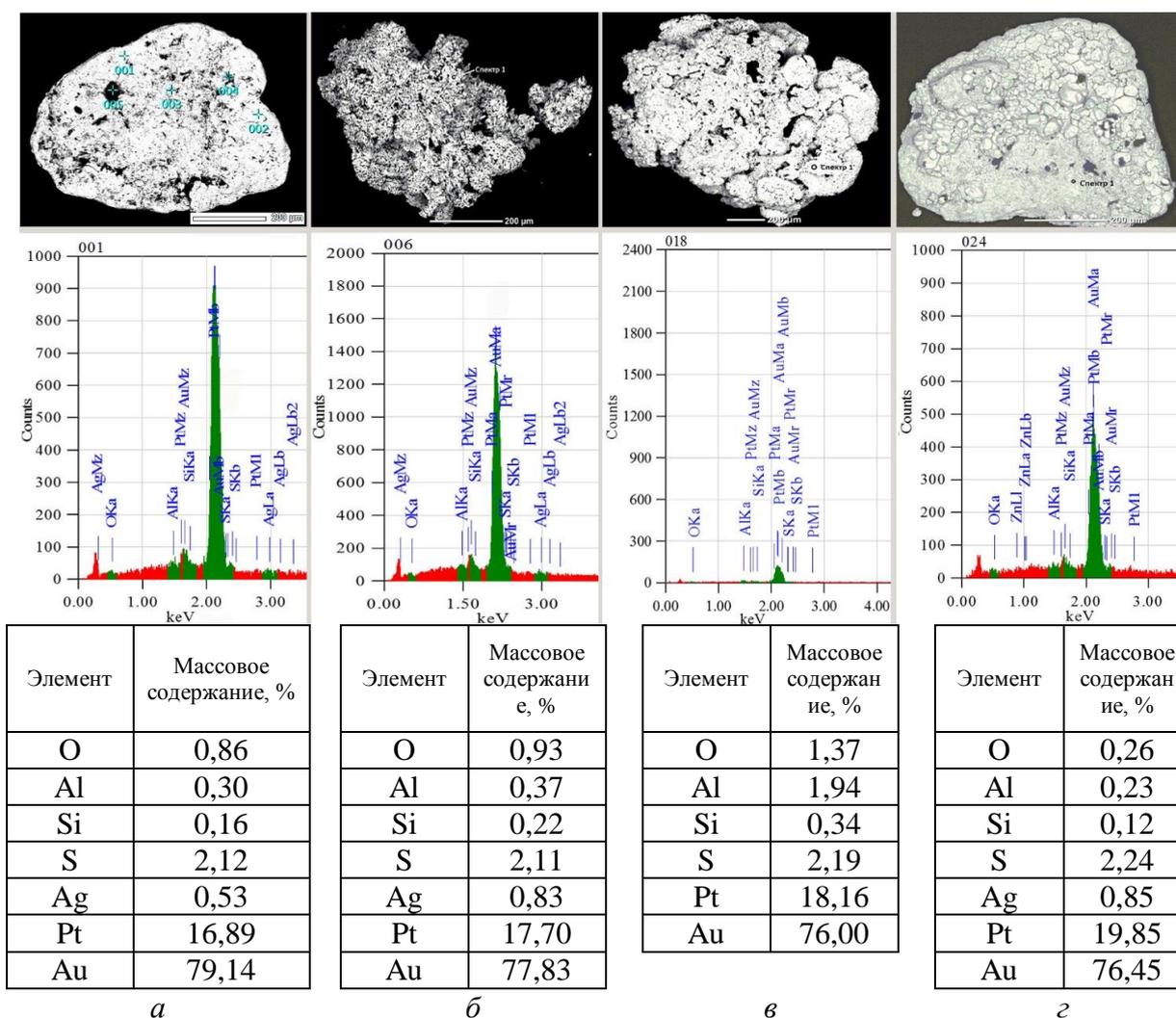


Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение частиц золота:

a – пластинчатое золото; *б* – пористое золото; *в* – конгломераты золота; *г* – зернистое золото

Техногенное золото россыпи р. 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 слаборыхлой. 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 в 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 золотоплатиновой 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 [9 – 11], установлена повышенная платиноносность самородного золота россыпей р. Гарган и ручья Антони-

новский (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 шлихообогатительных установок (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/м³. 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 и 1961 г.).

В отвальном комплексе россыпи р. Б. Инагли при шурфовом опробовании установлено, что содержание золота колеблется от 0,19 до 4,95 г/м³, составляя в среднем 1,94 г/м³ (данные 10-ти 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/м³, среднее содержание – 2,46 г/м³.

Таблица 1

Результаты поинтервального опробования эфельных отвалов по годам отработки россыпи р. Джалинда

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 ³						
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

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 придают 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. Гидравлическая крупность определяется путем замера скорости осаждения минерального зерна в дистиллированной воде в градуированной вертикальной трубе при $t = 23^\circ$. Экспериментальные исследования проводились для золота россыпей Якутии (р. Б. Куранах) И.И. Ковлековым и др. [12]. Определению гидравлической крупности были подвергнуты золотины пористого и чешуйчатого строения, наиболее распространенные в техногенных образованиях. Интервал достижения рассчитывался по следующей формуле:

$$L = \frac{1,8 \cdot v_0 \cdot p}{(p-1) \cdot g},$$

где v_0 – конечная скорость; м/с; p – плотность золота, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с².

Анализ зависимости гидравлической крупности от морфотипа на примере техногенного золота россыпи Куранах показал, что увеличение скорости осаждения обусловлено степенями изометричности в следующей последовательности: изометричное (комковидное); таблитчатое; изометричное пористое; тонкопластинчатое, чешуйчатое. В результате эксперимента по определению гидравлической крупности образцы золота были рассортированы по уплощенности на изометрично-таблитчатый и пластинчато-чешуйчатый 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 золотинок 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.

При обогащении концентратов на ШОУ можно применять их обработку галогенсодержащим реагентом, тем самым увеличивая гидрофильные свойства тонкопластинчатого, пористого, а также золота с различными пленками и покрытиями, не позволяя металлу быть смытым в хвосты. Применение поверхностно-активных веществ (ПАВ) в условиях гравитационного обогащения (гравитационный стол, лоток) снижает влияние поверхностного напряжения воды, и частицы золота с высоким коэффициентом уплощения оседают в концентрат [13 – 15].

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

а) изменением поверхностного рельефа золотинок (высокая пористость, мелкие трещины, образование шаровидных зерен);

б) 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;

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

г) образованием плотных покрытий из гидроксидов 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 содержаний золота для оценки их продуктивности; определение причин потерь металла при первичной отработке 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., 2017. Ресурсный потенциал техногенных золотороссыпных месторождений и стратегия их масштабного освоения. *Маркшейдерия и недропользование*, № 5, С. 21 - 29.
2. Мирзаханов Г.С., Литвинцев В.С., 2018. Состояние и проблемы освоения техногенных россыпных месторождений благородных металлов в Дальневосточном регионе. *Горный журнал*, № 10, С. 25 - 30.
3. Серый Р.С., Алексеев В.С., Сас П.П., 2015. Оценка эффективности работы шлюзовых промывочных приборов при отработке месторождений с мелким и пластинчатым золотом. *Золото и технологии*, № 1, С. 104 - 107.
4. Серый Р.С., Алексеев В.С., Сас П.П., 2017. Анализ работы шлюзовых промывочных приборов при отработке россыпных месторождений золота. *Цветные металлы*, № 2., С. 31 - 35.
5. Wierchowicz J., Mikulski S. Z., Gąsiński A., 2018. Nanoforms of Gold from Abandoned Placer Deposits of Wądroże Wielkie (Lower Silesia, Poland). *Ore Geology Reviews*, Vol. 101, pp. 211 - 220.
6. Kerr G., Malloch K., Lilly K., Craw D., 2017. Diagenetic Alteration of a Mesozoic Fluvial Gold Placer Deposit, Southern New Zealand. *Ore Geology Reviews*, Vol. 83, pp. 14 - 29.
7. Massaro L., Theije M., 2018. 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*, Vol. 204, pp. 618 - 635.
8. Ferring D., Hausermann H., Effah E., 2016. Heterogeneity of Small-Scale Gold Mining in Ghana. *The Extractive Industries and Society*, Vol. 3, pp. 171 - 184.
9. Моисеенко В.Г., Степанов В.А., Эйриш Л.В., Мельников А.В., 2004. *Платиноносность Дальнего Востока*. Владивосток: Дальнаука, 176 с.
10. Моисеенко В.Г., Сафронов П.П., Степанов В.А., 2000. О платиновой минерализации Верхнего Приамурья. *Геологические исследования в Амурской области*. Благовещенск: Изд-во ком. природ. ресурсов Амурск. обл., С. 71 - 73.
11. Молчанов В.П., Моисеенко В.Г., Хомич В.Г., 2005. Минералы благородных металлов россыпей Фадеевского узла (Приморье) как индикаторы формационной принадлежности коренных источников. *Доклады академии наук*, Т. 402, № 5, С. 661 - 664.

12. Ковлеков И.И., 2002. *Техногенное золото Якутии*. Москва: Изд-во МГГУ, 302 с.
13. Алексеев В.С., Банщикова Т.С., 2018. Применение нетрадиционных технологий для извлечения золота из техногенных образований россыпей Приамурья. *Горный журнал*, № 10, С. 52 - 57.
14. Alekseev V.S., Bانشchikova T.S., 2018. Rebellious gold extraction from gravity concentrates and placer tailings by chemical reagents. *Journal of Mining Science*, Т. 53, № 4, Р. 756 - 761.
15. Алексеев В.С., Банщикова Т.С., 2017. Извлечение упорных форм золота из гравитационных концентратов и хвостов обогащения россыпей с применением химических реагентов. *Физико-технические проблемы разработки месторождений полезных ископаемых*, № 4, С. 159 - 164.

References

1. Litvintsev V.S., Alekseev V.S., Kradenykh I.A., 2017. *Resursnyi potentsial tekhnogennykh zolotorossypnykh mestorozhdenii i strategiya ikh masshtabnogo osvoeniya* [Resource potential of technogenic gold deposits and the strategy of their large-scale development]. *Marksheideriya i nedropol'zovanie*, № 5, pp. 21 - 29.
2. Mirzekhanov G.S., Litvintsev V.S., 2018. *Sostoyanie i problemy osvoeniya tekhnogennykh rossypnykh mestorozhdenii blagorodnykh metallov v Dal'nevostochnom regione* [State and problems of development of technogenic placer deposits of precious metals in the Far Eastern region]. *Gornyi zhurnal*, № 10, pp. 25 - 30.
3. Seryi R.S., Alekseev V.S., Sas P.P., 2015. *Otsenka effektivnosti raboty shlyuzovykh promyvochnykh priborov pri otrabotke mestorozhdenii s melkim i plastinchatym zolotom* [Efficiency evaluation of sluice flushing devices during development of deposits with fine and plate gold]. *Zoloto i tekhnologii*, № 1, pp. 104 - 107.
4. Seryi R.S., Alekseev V.S., Sas P.P., 2017. *Analiz raboty shlyuzovykh promyvochnykh priborov pri otrabotke rossypnykh mestorozhdenii zolota* [Analysis of operation of sluice flushing devices during development of placer gold deposits]. *Tsvetnye metally*, № 2., pp. 31 - 35.
5. Wierchowicz J., Mikulski S. Z., Gąsiński A., 2018. Nanofoms of Gold from Abandoned Placer Deposits of Wądroże Wielkie (Lower Silesia, Poland). *Ore Geology Reviews*, Vol. 101, pp. 211 - 220.
6. Kerr G., Malloch K., Lilly K., Craw D., 2017. Diagenetic Alteration of a Mesozoic Fluvial Gold Placer Deposit, Southern New Zealand. *Ore Geology Reviews*, Vol. 83, pp. 14 - 29.
7. Massaro L., Theije M., 2018. 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*, Vol. 204, pp. 618 - 635.
8. Ferring D., Hausermann H., Effah E., 2016. Heterogeneity of Small-Scale Gold Mining in Ghana. *The Extractive Industries and Society*, Vol. 3, pp. 171 - 184.
9. Moiseenko V.G., Stepanov V.A., Eirish L.V., Mel'nikov A.V., 2004. *Platinosnost' Dal'nego Vostoka* [Platiniferousity of the Far East of Russia]. Vladivostok: Dal'nauka, 176 p.
10. Moiseenko V.G., Safronov P.P., Stepanov V.A., 2000. *O platinovoi mineralizatsii Verkhnego Priamur'ya. Geologicheskie issledovaniya v Amurskoi oblasti* [On the platinum mineralization of the Upper Amur region]. Blagoveshchensk: Publ. kom. prirod. resursov Amursk. obl., pp. 71 - 73.
11. Molchanov V.P., Moiseenko V.G., Khomich V.G., 2005. *Mineraly blagorodnykh metallov rossypei Fadeevskogo uzla (Primor'e) kak indikator formatsonnoi prinadlezhnosti korennykh istochnikov* [Minerals of precious metals from placers of the Fadeyevsky unit

(Primorye) as indicators of the formation affiliation of ore bodies]. *Doklady akademii nauk*, Vol. 402, № 5, pp. 661 - 664.

12. Kovlekov I.I., 2002. *Tekhnogennoe zoloto Yakutii* [Technogenic gold of Yakutia]. Moscow: Publ. MGGU, 302 p.

13. Alekseev V.S., Banshchikova T.S., 2018. *Primenenie netraditsionnykh tekhnologii dlya izvlecheniya zolota iz tekhnogennykh obrazovaniy rossypei Priamur'ya* [Adaptation of unconventional technologies for gold extraction from technogenic formations of placers of the Amur region]. *Gornyi zhurnal*, № 10, pp. 52 - 57.

14. Alekseev V.S., Banshchikova T.S., 2018. Rebellious gold extraction from gravity concentrates and placer tailings by chemical reagents. *Journal of Mining Science*, Vol. 53, № 4, pp. 756 - 761.

15. Alekseev V.S., Banshchikova T.S., 2017. *Izvlechenie upornykh form zolota iz gravitatsionnykh kontsentratsiy i khvostov obogashcheniya rossypei s primeneniem khimicheskikh reagentov* [Extraction of refractory forms of gold from gravity concentrates and tailings of placer enrichment using chemical reagents]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh*, № 4, pp. 159 - 164.