

## О «НЕГРАВИТАЦИОННЫХ» ЗЕРНАХ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ РУДАХ

Н.М. Литвинова<sup>1</sup>, Н.А. Лаврик<sup>1</sup>, А.В. Лаврик<sup>1</sup>, Т.Г. Конарева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН, Хабаровск, Россия,  
e-mail: nauka22@yandex.ru

**Аннотация:** Снижение качества перерабатываемых руд приводит к поиску альтернативных источников благородных металлов, постепенному вовлечению бедных руд и техногенных образований с мелким и дисперсным золотом. Наряду с этим актуальна проблема, связанная с получением достоверных результатов о содержании благородных металлов «негравитационной» крупности и разработкой эффективных способов их извлечения. Железорудные месторождения являются одним из важнейших потенциальных нетрадиционных источников благородных металлов. Присутствие благородных металлов отмечается в железорудных месторождениях практически всех главнейших промышленно-генетических типов. Представлены результаты исследования благороднометалльной минерализации в хвостах гравитационного обогащения различных типов железомарганцевых руд и вмещающих пород месторождения Поперечное (Южный Хинган) на основе использования разработанной авторами методики, основанной на минералого-геохимической и геологической оценке, выделении монофракций благородных металлов, определении содержания тонкодисперсного золота на основе атомно-абсорбционного метода, детализации состава и структуры благороднометалльных образований. Электронно-микроскопическими исследованиями установлено наличие платины в магнетитовом типе руды размерностью от 50 до 110 мкм. Золото выявлено во всех типах руд и вмещающих породах — от 30 до 200 мкм, содержит примесь серебра и включения породообразующих минералов. Содержание золота в хвостах гравитации от 0,46 до 1,31 г/т. По результатам проведенных работ обоснована целесообразность проведения технологических исследований по извлечению золота методом выщелачивания с применением механоактивации материала с подбором реагентного режима для руд с различным вещественным составом.

**Ключевые слова:** железомарганцевые руды, золото, платина, гранулометрическая характеристика, благороднометалльная минерализация, электронно-микроскопическое исследование, гравитационное обогащение, минеральные сростки.

**Для цитирования:** Литвинова Н. М., Лаврик Н. А., Лаврик А. В., Конарева Т. Г. О «негравитационных» зернах благородных металлов в железомарганцевых рудах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 7. – С. 174–184. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-07-0-174-184.

### Noble metal grains not under control of gravity in Iron-and-manganese ore

N.M. Litvinova<sup>1</sup>, N.A. Lavrik<sup>1</sup>, A.V. Lavrik<sup>1</sup>, T.G. Konareva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Mining Institute, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia,  
e-mail: nauka22@yandex.ru

**Abstract:** Ore quality deterioration necessitates finding of alternative sources of noble metals and dictates extraction of low-grade ore and processing of waste materials with fine and dispersed gold.

At the same time, it is of the current concern to obtain reliable data on content of noble metals of non-gravitational size and to develop efficient techniques to extract them. Iron ore deposits are one of the critical potential unconventional sources of noble metals. Noble metals are present nearly in all commercial genetic types of iron ore. The article describes the research data on noble metal content in tailings of gravity separation of various-type iron-and-manganese ore and enclosing rocks in the Poperechnoe field (South Khingan) using the authors' procedure based on mineralogical geochemical and geological assessment, detection of monofractions of noble metals, determination of finely dispersed gold content by the atomic absorption method, as well as detailing of composition and structure of noble metal formations. The electron-microscopic analysis finds platinum in magnetite-type ore with coarseness from 50 to 110  $\mu\text{m}$ . Gold is found in all types of ore and in enclosing rocks; gold particles are from 30 to 200  $\mu\text{m}$  in size, and contain admixture of silver and rock-forming mineral inclusions. Gold content of gravity separation tailings is from 0.46 to 1.31 g/t. From the accomplished research, it is decided to be efficient to carry out in-process test on gold recovery by leaching with mechanical activation and selection of reagent regime for ore of various material constitution.

**Key words:** iron-and-manganese ore, gold, platinum, grain-size composition, noble metal mineralization, electron microscopic analysis, gravity separation, mineral aggregates.

**For citation:** Litvinova N. M., Lavrik N. A., Lavrik A. V., Konareva T. G. Noble metal grains not under control of gravity in Iron-and-manganese ore. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(7):174-184. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-07-0-174-184.

## Введение

Истощение минерально-сырьевой базы и снижение качества перерабатываемых руд приводит к поиску альтернативных источников благородных металлов, постепенному вовлечению бедных руд и техногенных образований с мелким и дисперсным золотом. Наряду с поиском нетрадиционных источников актуальна проблема, связанная с получением достоверных результатов о содержании благородных металлов «негравитационной» крупности и разработкой эффективных способов их извлечения. Анализ отечественных и зарубежных исследований по выявлению закономерностей геохимических связей золота, платиноидов и железа в рудообразующих процессах достаточно полно освещает природу исключительно широкого присутствия в железорудных месторождениях мира попутного золото- и золото-платинометалльного оруденения.

Железорудные месторождения являются одним из важнейших потенциальных нетрадиционных источников благородных металлов [1–3]. По далеко не-

полным данным суммарная попутная добыча лишь золота из железорудных формаций в зарубежных странах составила в конце XX столетия свыше 930 т [4].

Присутствие благородных металлов отмечается в железорудных месторождениях практически всех главнейших промышленно-генетических типов: магматических, контактово-метасоматических, осадочно-метаморфогенных и в корях выветривания. Платиноносность железорудных формаций изучена крайне недостаточно [5].

Так, например, платиноиды и золото в железных рудах установлены на Гусевогорском, Качканарском, Велиховском (Урал), Тебинбулакском (Узбекистан) и др. месторождениях магнетитовой малотитанистой формации [6].

Золотосодержащие и золото-платиноидные контактово-метасоматические месторождения железных руд известны на Урале, Кавказе, в Средней Азии и Казахстане, на Алтае, в Забайкалье, на Алданском щите, за рубежом — на Филиппинах, в Австралии, США и др. странах. В США золото-платиноносные магнетито-

вые тела месторождений горнорудного района Биг Коттонвуд в округе Солт Лейк штата Юта и в округе Оурей штата Колорадо обеспечили суммарную добычу золота в несколько десятков тонн.

Среди выделенных типов в перспективном развитии минерально-сырьевой базы благородных металлов представляют крупные и уникальные в различной мере метаморфизованные железорудные месторождения железистых кварцитов, связанные с докембрийской железисто-кремнистой и кремнисто-метабазитовой формациями древних платформ и щитов на всех континентах мира, обеспечивающих 57% зарубежной и 58% — отечественной добычи железа. Важнейшим, но мало исследованным компонентом золотоносных железистых кварцитов являются элементы платиновой группы, содержание которых в ряде случаев достигает промышленных концентраций как в самих рудах, так и продуктах их обогащения. Примерами таких месторождений за рубежом могут служить: Маунт-Магнет, Ленкфильд, Айрон-Кинг, Йилгарн, Калгурли, Морнин-Стар, Гладдиатор и др. (Австралия); Морру-Велью, Сао-Бенто, Кауе, Сьерра-Пелада, Байя и др. (Бразилия), Ривера (Уругвай), Юинди (Заир), Сентрал-Патрикия, Пикл-Кроу, Мак-Лид-Кокшатт (Канада), Гейта (Танзания), Вандерер, Шервуд Стар, Савива (Южная Родезия).

На юге Дальнего Востока к подобному типу железорудных формаций относится Южно-Хинганский рудный узел, в котором наиболее подготовленным является железомарганцевое месторождение Поперечное. На месторождении выделяются своеобразные эксплозивно-флюидальные породы (флюидолиты), вмещающие Fe-Mn рудную залежь с благороднометаллической минерализацией [9, 10].

Рудовмещающими породами являются известняки, доломиты и сланцы Хинганской толщи (верхний протерозой) и

известняки лондоковской свиты (нижний кембрий). Осадочные породы прорваны массивом гранитоидов биробиджанского комплекса, а также дайками диабазов.

В настоящее время научные исследования по разработке и совершенствованию существующих методов анализа благороднометаллического минерального сырья проводятся весьма активно [12—15].

В статье представлены результаты исследования благороднометаллической минерализации железомарганцевых руд месторождения Поперечное (Южный Хинган) на основе разработанной авторами методики, основанной на минералогическом и геохимическом анализе, выделении монофракций благородных металлов, определении содержания тонкодисперсного золота на основе методики количественного химического анализа с использованием атомно-абсорбционного метода, детализации состава и структуры благороднометаллических образований.

### **Методы исследований**

Объект исследования — хвосты гравитационного обогащения железомарганцевых руд месторождения Поперечное Южно-Хинганского рудного узла.

Цель исследований — выявление благороднометаллической минерализации в хвостах гравитационного обогащения различных типов железомарганцевой руды и вмещающей породы с разработкой технологических решений по извлечению золота.

Пробоподготовка осуществлялась с использованием современного оборудования Fritsch (щечковая дробилка Пульверизетте, дисковая мельница Пульверизетте, ультразвуковая ванна для очистки сит Лаборетте, вибрационный грохот Анализетте).

Пробы из различных типов руд и вмещающих пород дробились до 1 мм и ма-

териал, без применения магнитной сепарации, подвергался гравитационному обогащению. Шлихи подвергались сокращенному минералогическому анализу на монофракции благородных металлов с применением микроскопов Ste mi 2000, Stereo Discovery V8 фирмы ZEISS. Химический анализ хвостов гравитационного обогащения выполнялся методом атомно-абсорбционной спектрометрии (абсорбционный спектрофотометр AAC-7000).

Сканирующее электронно-микроскопическое исследование состава зерен платины и золота из различных типов руд и измененных пород проводилось на микроскопе «JEOL» (Япония), оснащенный энергодисперсионным рентгеновским анализатором «JCM-6000 PLUS» (ИГД ДВО РАН). Для количественной оценки содержания углерода — анализатор общего углерода TOC-V (SHIMADZU). Для качест-

венного анализа исходных материалов и продуктов обогащения — рентгенофлуоресцентный анализатор Mobilab X-50. Для спектрального анализа исходных материалов и продуктов обогащения, оценки промежуточных этапов технологических испытаний использовался атомно-эмиссионный многоканальный спектрометр «Гранд».

### Результаты исследований

В настоящей работе приведены результаты исследований содержания зерен благородных металлов в хвостах гравитационного обогащения разных типов руд и вмещающих пород.

На рис. 1–5 представлены фотографии преобладающих минеральных сростков в хвостах гравитационного обогащения железомарганцевой руды и вмещающей породе (Stereo Discovery V8, фирмы ZEISS).

Таблица 1

#### Результаты электронно-микроскопических исследований хвостов гравитационного обогащения

Table 1. The results of electron microscopic research of tails of gravitational enrichment

№	Тип руды / породы	Основной состав благородных металлов	Размер зерен благородных металлов, мкм
1	Известняки	Золото с серебром с включениями доломита и пироксенов; золото с включениями галенита, свинца и породообразующих минералов	70–75
2	Магнетитовая руда	Золото без примесей; золото с примесью серебра в сростании с магномагнетитом, кварцем и пироксенами; золото с хлоритоидом; золото с примесью серебра, кадмия и алюминия; золото с включениями кварца и парообразующими минералами; золото с примесью серебра и алюминия	40–200
		Платина с примесью железа, циркония и фосфора; платина с примесью железа, циркония и фтора; платина с примесью железа и циркония	50–110
3	Известняки доломитизированные	Золото с примесью серебра; золото в сростании с породообразующими минералами	30–50
4	Гематит-магнетитовая руда	Золото с примесями серебра, железа и свинца	50
5	Углистые сланцы	Золото с включениями породообразующих минералов; золото с примесью серебра	70–80

По результатам электронно-микроскопических исследований хвостов гравитационного обогащения в различных типах железомарганцевой руды и вмещающей породе идентифицировано тонкодисперсное золото, в магнетитовом

типе установлено также наличие платины (табл. 1). Детализация состава зерен благородных металлов в магнетитовом типе руды позволила установить в золоте примесь серебра до 20%, в зернах платины Fe до 3%, циркония до 17%.

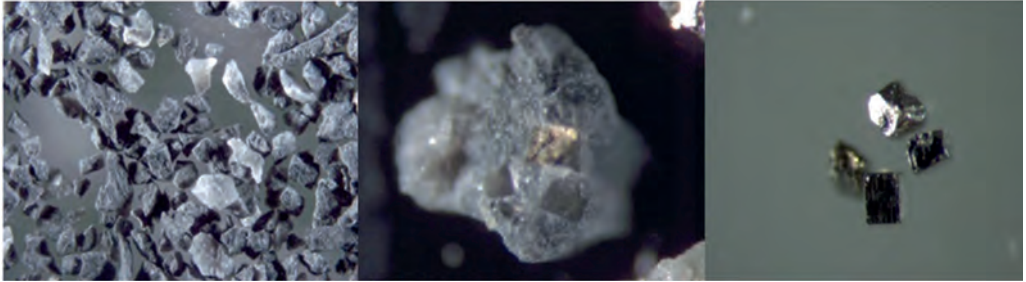


Рис. 1. Проба 1 представлена известняками. В породе единично встречаются зерна кварца, а также сростки карбонатов с кварцем, пиритом и халькопиритом

Fig. 1. Sample 1 is a limestone. Quartz grains and carbonate intergrowths with quartz, pyrite and chalcopyrite are rarely found in the rock

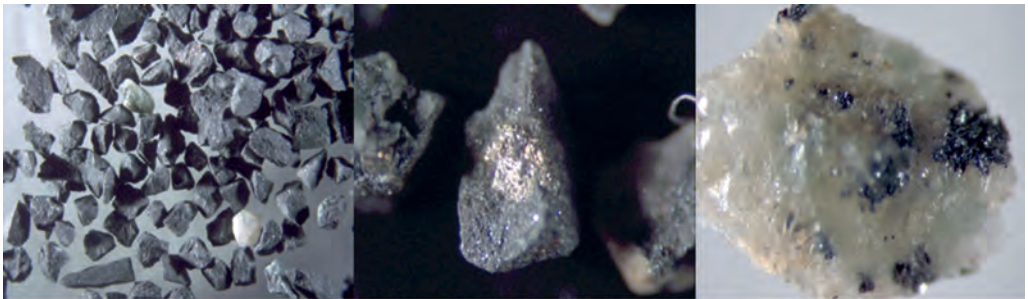


Рис. 2. Проба 2 представлена магнетитовым типом руды. Преобладает магнетит и магномагнетит, отмечаются редкие зерна кварца, включения пирита и халькопирита в виде кристаллов, при электронно-микроскопическом исследовании отмечается галенит

Fig. 2. Sample 2 is a magnetite. Magnetite and magnet magnetite prevail, rare quartz grains, pyrite and chalcopyrite inclusions in the form of crystals are noted, and galena is noted in electron microscopic studies

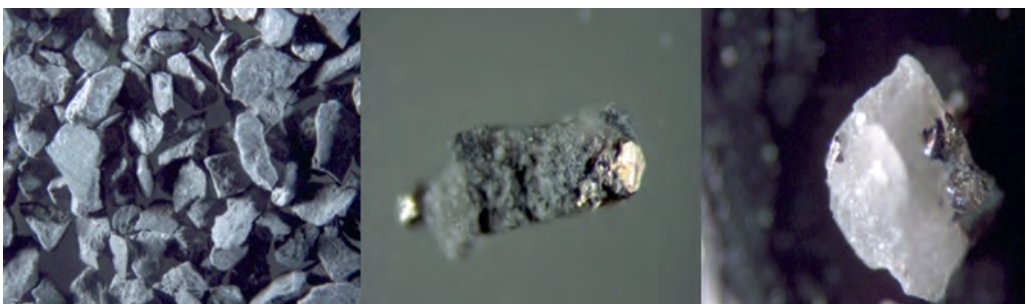


Рис. 3. Проба 3 представлена доломитизированными серыми известняками. Встречаются зерна кварца, включения пирита, единично — тенорита (CuO)

Fig. 3. Sample 3 is a dolomitized gray limestone. Quartz grains, inclusions of pyrite, single — tenorite (CuO) are found

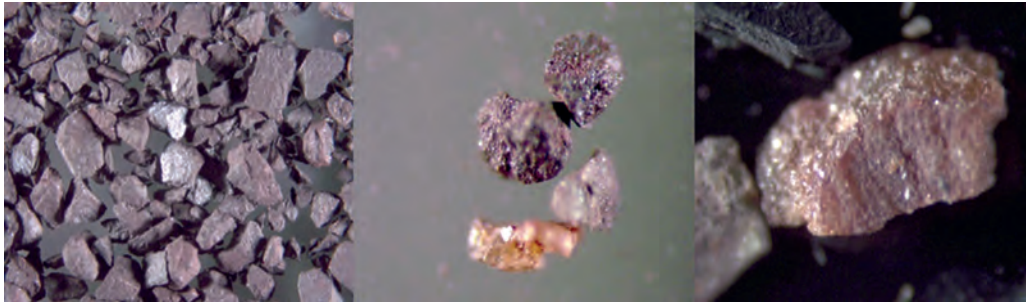


Рис. 4. Проба 4 представлена гематит-магнетитовым типом руд. Основная масса пробы — гематит, магнетит, редко кварц и включения пирита

Fig. 4. Sample 4 is a hematite-magnetite type of ore. The bulk of the sample is hematite, magnetite, rarely quartz and pyrite inclusions

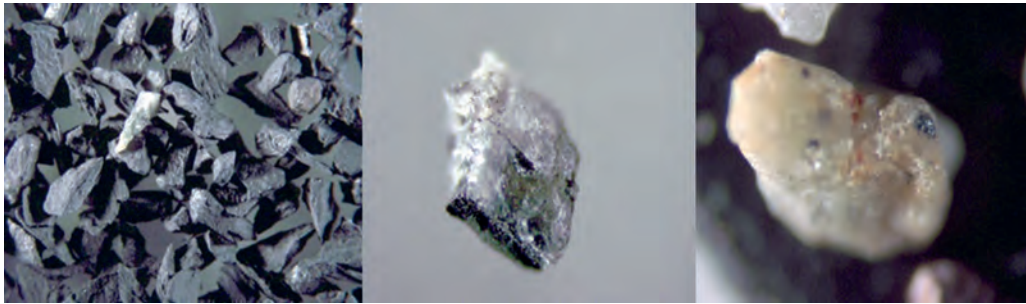


Рис. 5. Проба 5 представлена углистыми сланцами. Отмечается кварц с вкрапленностью галенита

Fig. 5. Sample 5 is a carbonaceous shales. Quartz is noted with glenite impregnation

На рис. 6 представлены микрофотографии зерен платины, обнаруженные в пробе магнетитового типа руды. Зерна платины: с примесью железа, циркония и фосфора (60 мкм); с примесью железа и циркония (50 мкм); с примесью железа и циркония (90–110 мкм)

Также в данном типе руды отмечены зёрна золота: с примесью серебра, кадмия и алюминия; с включениями кварца (20 мкм) и парообразующими минералами (80 мкм); с примесью серебра и алюминия (90 мкм); с примесью серебра и алюминия, включениями по-

Таблица 2

**Содержание благородных металлов в хвостах гравитационного обогащения руды месторождения Поперечного\***

**Content of noble metals in the tailings of the gravitational enrichment of ore from the Poperechnoe deposit\***

№	Тип руды, породы	Содержание, золота г/т
1	Известняки	0,46
2	Магнетитовый тип	0,89
3	Доломитизированные известняки	1,31
4	Гематит-магнетитовый	0,72
5	Углистые сланцы	0,54

\* Данные химического анализа; методика (НСАМ-131-С) количественного анализа на золото в горных породах, рудах и продуктах их переработки пламенным атомно-абсорбционным методом после экстракции изоамиловым спиртом.

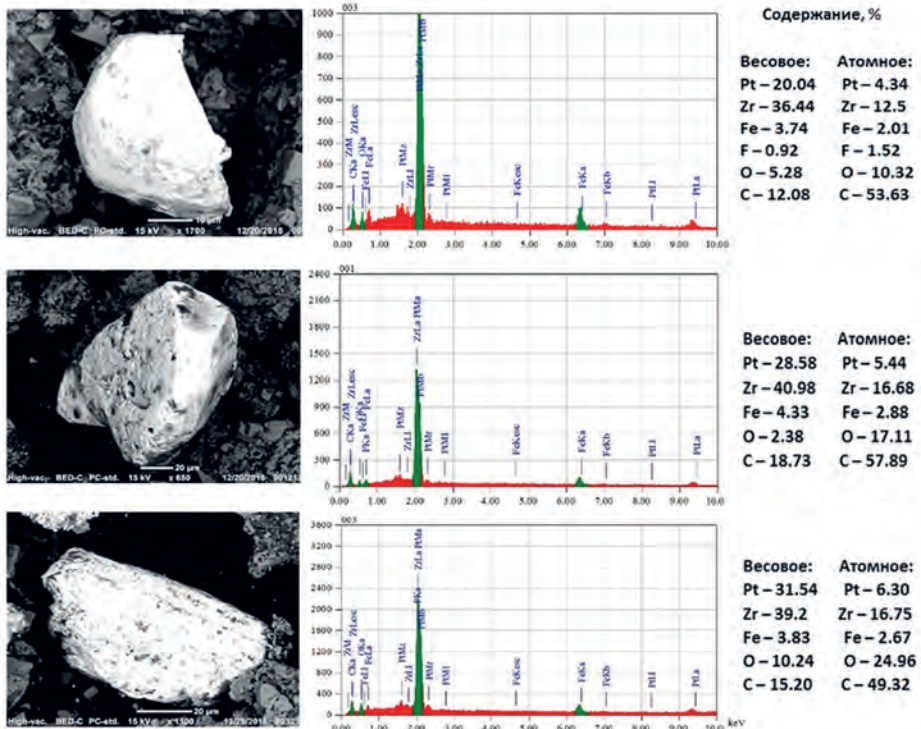


Рис. 6. Микрофотографии зерен платины (проба 2, магнетитовый тип руды)  
 Fig. 6. Micrographs of platinum grains (sample 2, magnetite type of ore)

родообразующих минералов (100 мкм) (рис. 7).

По результатам химического анализа установлено достаточно высокое содержание золота в хвостах гравитационного обогащения во всех исследуемых материалах (табл. 2).

В табл. 3 представлена ситовая характеристика хвостов промывки железо-

марганцевой руды с распределением золота по фракциям.

Экспресс-анализ гранулометрической характеристики материала класса  $-0,2+0$  мм с использованием лазерного дифракционного анализатора позволил установить содержание в каждом типе руды фракции  $-100+0$  мкм: известняки – 68%, магнетитовая руда – 38%; из-

Таблица 3

**Ситовая характеристика хвостов промывки железомарганцевой руды с распределением золота по фракциям**  
**Sieve characteristics of iron-manganese ore washing tailings with the distribution of gold fractions**

Класс крупности, мм	Выход класса (%) / Распределение золота (%)				
	известняки	магнетитовая руда	известняки доломитизированные	гематит-магнетитовая руда	углистые сланцы
-1+0,5	50,46 / 4,6	58,37 / 0	57,10 / 0	54,81 / 0	40,97 / 0
-0,5+0,2	28,71 / 3,4	28,15 / 0	24,36 / 11,8	29,35 / 0	29,74 / 6,2
-0,2+0,1	20,83 / 92,0	13,48 / 100	18,54 / 88,2	15,84 / 100	29,29 / 93,8

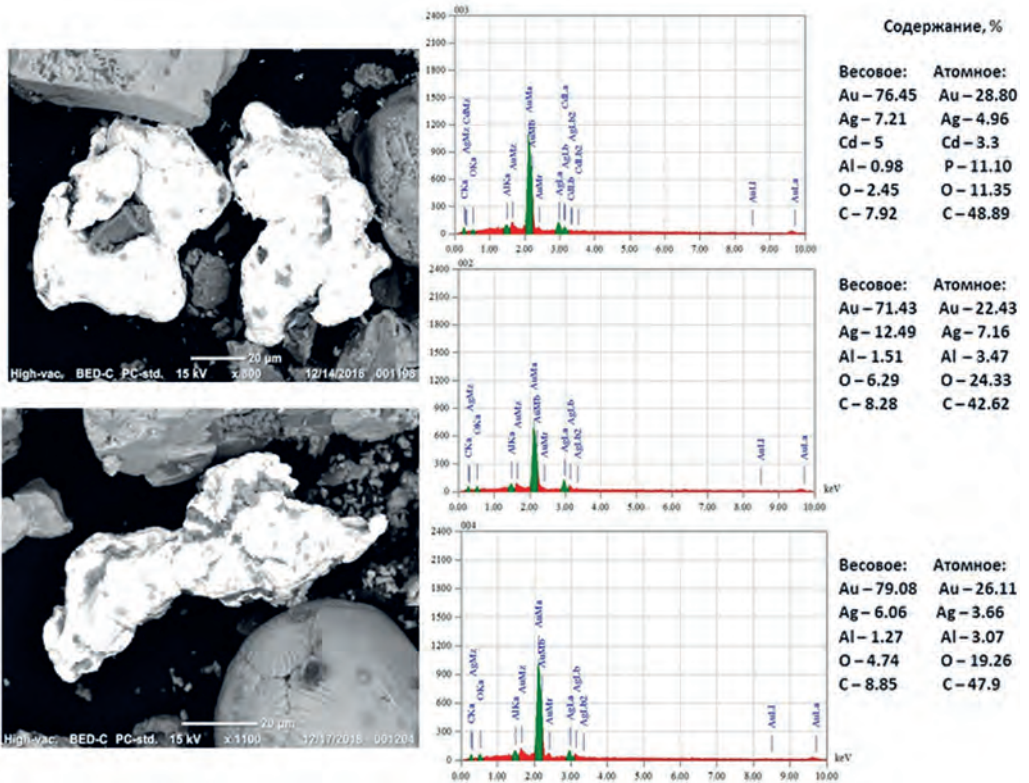


Рис. 7. Микрофотографии зерен золота (проба 2, магнетитовый тип руды)  
 Fig. 7. Micrographs of gold grains (sample 2, magnetite type of ore)

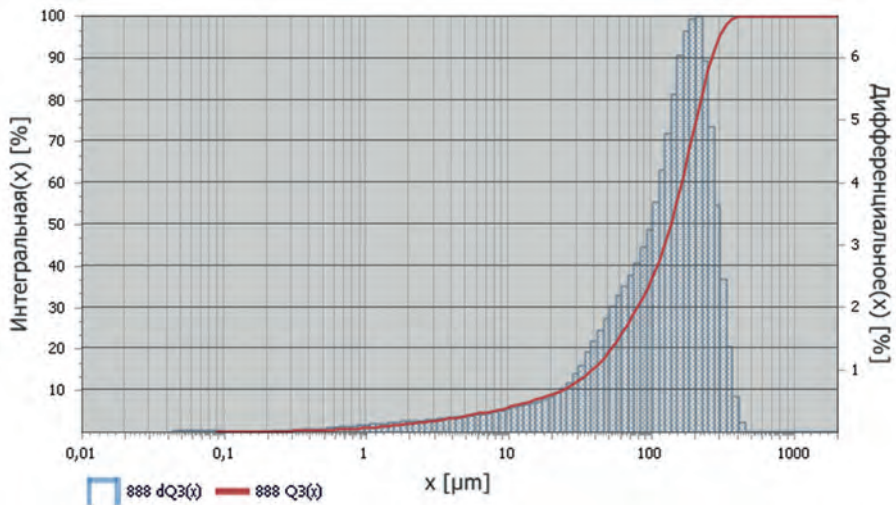


Рис. 8. Гранулометрическая характеристика руды магнетитового типа, класс крупности  $-0,2+0$  мм  
 Fig. 8. Granulometric characteristic of magnetite type ore, particle size  $-0.2+0$  mm



Таблица 4

**Содержание углерода, мышьяка, меди, свинца, серы в хвостах гравитационного обогащения руды месторождения Поперечного**  
**Carbon content in the tailings of the gravitational enrichment of ore from the Poperechnoe deposit\***

№	Тип руды, породы	Показатель							
		Содержание углерода, %			As, г/т	Cu, г/т	Pb, г/т	Fe, %	S, %
		C <sub>общ</sub>	C <sub>неорг</sub>	C <sub>орг</sub>					
1	Известняки	4,17	3,87	0,3	<10	30	13	4,2	0
2	Магнетитовый тип	1,04	0,75	0,29	25	18	8	34	0
3	Доломитизированные известняки	2,38	2,07	0,31	<10	30	10	5	0
4	Гематит-магнетитовый	0,47	0,09	0,38	25	18	13	40	0
5	Углистые сланцы	4,65	0	4,65	40	100	40	4	1,6

вестняки доломитизированные — 60%; гематит-магнетитовая руда — 60%; углистые сланцы — 52%. На рис. 9 представлена гранулометрическая характеристика материала магнетитового типа руды класса крупности — 0,2+0 мм.

Полученная гистограмма показывает, что содержание фракции ниже 100 мкм в классе крупности -0,2+0 мм магнетитового типа руды составляет 38%. В свою очередь, электронно-микроскопические исследования дают представление о размерности зерен благородных металлов — основной размер зерен благородных металлов во всех разновидностях исследуемого материала 50—100 мкм.

В табл. 4 представлены результаты по определению углерода, мышьяка, меди, свинца, серы в исследуемых пробах. Содержание углерода определялось высокотемпературным каталитическим методом ИК-детектирования с использованием анализатора углерода. Качественная оценка на железо и серу проводилась рентгенофлуоресцентным методом. Мышьяк, медь и свинец определялись атомно-эмиссионным методом (спектрометр «Гранд»).

По результатам проведенных химических анализов обоснована целесообразность проведения технологических исследований по извлечению золота ме-

тодом агитационного выщелачивания. Использование стандартных условий при агитационном выщелачивании данных проб с использованием цианидных растворов не привело к достаточно высокому выходу золота в продуктивный раствор. Особенно это проявилось на материале углистых сланцев, характеризующихся высокой сорбционной активностью углестого вещества.

В настоящее время проводятся экспериментальные исследования и их теоретическое обоснование по агитационному выщелачиванию на основе применения механоактивации материала с активированными растворами, результаты исследований будут опубликованы в следующих работах.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено наличие благородных металлов в хвостах гравитационного обогащения железомарганцевой руды месторождения Поперечное Южно-Хинганского рудного узла.

Электронно-микроскопическими исследованиями определена платина в магнетитовом типе руд от 50 до 110 мкм и золото во всех типах руд и вмещающих пород (размерностью от 30 до 200 мкм). Золото содержит примесь серебра и включения порообразующих минералов. Содержание золота от 0,46 до 1,31 г/т.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шер С.Д. Металлогения золота (Сев. Америка, Австралия и Океания). — М.: Недра, 1972. — 159 с.
2. Шер С.Д. Металлогения золота (Евразия, Африка, Ю. Америка). — М.: Недра, 1974. — 256 с.
3. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Чередникова О.И. Металлогения платиноидов крупных регионов России. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2001. — 302 с.
4. Чернышов Н.М., Молотков С.П., Резникова О.Г. Золото-платиноносность главнейших типов железорудных формаций мира (информационно-аналитический обзор) // Вестник Воронежского государственного университета. Геология. — 2003. — № 2. — С. 137–162.
5. Guo L. N., Liu S. S., Hou L., Wang J. T., Shi M. F., Zhang Q. M., Nie F., Yang Y. F., Peng Z. M. Fluid Inclusion and H-O Isotope Geochemistry of the Phapon Gold Deposit, NW Laos: Implications for Fluid Source and Ore Genesis // Journal of earth science, 2019, Vol. 30, pp. 80–94.
6. Белевцев Г.И. и др. Железисто-кремнистые формации докембрия. — Киев: Наукова Думка, 1992. — 236 с.
7. Жирнов А.М. К вопросу комплексного использования железных руд Кимкано-Костеньгинского рудного узла и Южно-Хинганского марганцево-железородного поля в Еврейской автономной области // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2009. — № 12 (5). — С. 115–120.
8. Жирнов А.М., Горошко М.В., Моисеенко Н.В. Южно-Хинганский золото-железородный гигант в протерозойском грабене Буреинского кратона // Вестник СВНЦ ДВО РАН. — 2012. — № 2. — С. 2–10.
9. Крюков В.Г., Литвинова Н.М., Лаврик Н.А., Степанова В.Ф. Определение минеральных форм благородных металлов в железомарганцевых месторождениях Дальнего Востока России // Обогащение руд. — 2017. — № 4 (370). — С. 42–48.
10. Ханчук А.И., Рассказов И.Ю., Крюков В.Г., Литвинова Н.М., Саксин Б.Г. О находке промышленной платины в рудах Южно-Хинганского месторождения марганца // Доклады Академии наук. — 2016. — № 6 (470). — С. 1–3.
11. Невструев В.Г., Литвинова Н.М., Бердников Н.В., Степанова В.Ф. Типоморфизм и генезис платиноидов в породах и рудах железо-марганцевого месторождения поперечное (Малый Хинган, Россия) // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — № S21. — С. 486–492.
12. Ненахова Е.В., Сахно В.Г., Калашников Ю.Д., Ненахов В.М. Самосборка нанодисперсных форм платиноидов как метод их извлечения на примере золотосеребряных руд милоградовского проявления (Приморский Край) // Вестник ВГУ. Геология. — 2018. — № 4. — С. 102–106.
13. Wu Z. W., Sun X. M., Xu H. F., Konishi H., Wang Y., Wang C., Dai Y. Z., Deng X. G., Yu M. Occurrences and distribution of «invisible» precious metals in sulfide deposits from the Edmond hydrothermal field, Central Indian Ridge // Ore geology reviews, 2016, Vol. 79, pp. 105–132.
14. Morishita Y., Shimada N., Shimada K. Invisible gold in arsenian pyrite from the high-grade Hishikari gold deposit, Japan: Significance of variation and distribution of Au/As ratios in pyrite // Ore geology reviews, 2018, Vol. 98, pp. 79–93.
15. Cheng H. X., Zhao C. D., Liu Y. H., Zhang Q., Yang K., Liu F., Li K., Peng M., Li M. Geochemical exploration for platinum-group element deposits in Miyi County, Sichuan Province, Southwestern China // Geochemistry-exploration environment analysis, 2015, Vol. 30 (1), pp. 39–53. **ГИАБ**

## REFERENCES

1. Sher S. D. Metallogeniya zolota (Sev. Amerika, Avstraliya i Okeaniya) [Metallogeny of gold (North America, Australia and Oceania)], Moscow, Nedra, 1972, 159 p.
2. Sher S. D. Metallogeniya zolota (Evraziya, Afrika, Yu. Amerika) [Metallogeny of gold (Eurasia, Africa, South America)], Moscow, Nedra, 1974, 256 p.
3. Dodin D. A., Chernyshov N. M., Cherednikova O. I. Metallogeniya platinoïdov krupnykh regionov Rossii [Metallogeny of platinoids of large regions of Russia], Moscow, ZAO «Geoinformmark», 2001, 302 p.
4. Chernyshov N. M., Molotkov S. P., Reznikova O. G. Gold-platinum-bearing of the main types of iron ore formations of the world (information and analytical review). Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Geologiya. 2003, no 2, pp. 137–162. [In Russ].

5. Guo L.N., Liu S.S., Hou L., Wang J.T., Shi M.F., Zhang Q.M., Nie F., Yang Y.F., Peng Z.M. Fluid Inclusion and H-O Isotope Geochemistry of the Phapon Gold Deposit, NW Laos: Implications for Fluid Source and Ore Genesis. *Journal of earth science*, 2019, Vol. 30, pp. 80–94.

6. Belevtsev G.I. *Zhelezisto-kremnistye formatsii dokembriya* [Precambrian ferrous siliceous formations], Kiev, Naukova Dumka, 1992, 236 p.

7. Zhirnov A.M. On the issue of the integrated use of iron ores of the Kimkano-Kostenginsky ore cluster and the South Khingansky manganese-iron ore field in the Jewish Autonomous Region. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2009, no 12 (5), pp. 115–120. [In Russ].

8. Zhirnov A.M., Goroshko M.V., Moiseenko N.V. The South Khingan gold-iron ore giant in the proterozoic graben of the Bureinsky Craton. *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra DVO RAN*. 2012, no 2, pp. 2–10. [In Russ].

9. Kryukov V.G., Litvinova N.M., Lavrik N.A., Stepanova V.F. Determination of mineral forms of noble metals in iron-manganese deposits of the Russian Far East. *Obogashchenie rud*. 2017, no 4 (370), pp. 42–48. [In Russ].

10. Hanchuk A.I., Rasskazov I.Yu., Kryukov V.G., Litvinova N.M., Saksin B.G. On the discovery of industrial platinum in the ores of the South Khingan manganese deposit *Doklady Akademii nauk*. 2016, no 6 (470), pp. 1–3. [In Russ].

11. Nevstruev V.G., Litvinova N.M., Berdnikov N.V., Stepanova V.F. Typomorphism and genesis of platinoids in rocks and ores of the iron-manganese deposit Poperechnoe (Maly Khingan, Russia). *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2016, no S21, pp. 486–492. [In Russ].

12. Nenahova E.V., Sahno V.G., Kalashnikov Yu.D., Nenahov V.M. Self-assembly of nanodispersed platinoid forms as a method of their extraction using the example of gold-silver ores of the Milograd manifestation (Primorsky Krai). *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Geologiya*. 2018, no 4, pp. 102–106. [In Russ].

13. Wu Z.W., Sun X.M., Xu H.F., Konishi H., Wang Y., Wang C., Dai Y.Z., Deng X.G., Yu M. Occurrences and distribution of «invisible» precious metals in sulfide deposits from the Edmond hydrothermal field, Central Indian Ridge. *Ore geology reviews*, 2016, Vol. 79, pp. 105–132.

14. Morishita Y., Shimada N., Shimada K. Invisible gold in arsenian pyrite from the high-grade Hishikari gold deposit, Japan: Significance of variation and distribution of Au/As ratios in pyrite. *Ore geology reviews*, 2018, Vol. 98, pp. 79–93.

15. Cheng H.X., Zhao C.D., Liu Y.H., Zhang Q., Yang K., Liu F., Li K., Peng M., Li M. Geochemical exploration for platinum-group element deposits in Miyi County, Sichuan Province, Southwestern China. *Geochemistry-exploration environment analysis*, 2015, Vol. 30 (1), pp. 39–53.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Литвинова Наталья Михайловна<sup>1</sup> — канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: nauka22@yandex.ru,  
Лаврик Наталья Анатольевна<sup>1</sup> — старший научный сотрудник, e-mail: lavril@igd.khv.ru,

Лаврик Александра Викторовна<sup>1</sup> — инженер, e-mail: alexalavrikxx@gmail.com,  
Конарева Татьяна Геннадьевна<sup>1</sup> — научный сотрудник, e-mail: konar\_tat@mail.ru,

<sup>1</sup> Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН.

**Для контактов:** Литвинова Н.М., e-mail: nauka22@yandex.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

N.M. Litvinova<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, e-mail: nauka22@yandex.ru,

N.A. Lavrik<sup>1</sup>, Senior Researcher, e-mail: lavril@igd.khv.ru,

A.V. Lavrik<sup>1</sup>, Engineer, e-mail: alexalavrikxx@gmail.com,

T.G. Konareva<sup>1</sup>, Researcher, e-mail: konar\_tat@mail.ru,

<sup>1</sup> Mining Institute, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, 680000, Khabarovsk, Russia.

**Corresponding author:** N.M. Litvinova, e-mail: nauka22@yandex.ru.