

УДК 662.997

**Лаврик Александра Викторовна**  
инженер,  
Институт горного дела ДВО РАН,  
680000, г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51  
e-mail: [alexalavrikxx@gmail.com](mailto:alexalavrikxx@gmail.com)

**Литвинова Наталья Михайловна**  
кандидат технических наук,  
ведущий научный сотрудник,  
Институт горного дела ДВО РАН  
e-mail: [nauka22@yandex.ru](mailto:nauka22@yandex.ru)

**Лаврик Наталья Анатольевна**  
старший научный сотрудник,  
Институт горного дела ДВО РАН  
e-mail: [lavrik@igd.khv.ru](mailto:lavrik@igd.khv.ru)

**Бубнова Марина Борисовна**  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник,  
Институт горного дела ДВО РАН  
e-mail: [138\\_marina@mail.ru](mailto:138_marina@mail.ru)

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗОМАНГАНЦЕВОЙ РУДЫ

##### Аннотация:

*В связи с истощением минерально-сырьевой базы и снижением качества перерабатываемых руд актуальность поиска альтернативных источников благородных металлов становится более очевидной. Железорудные месторождения являются одним из важнейших потенциальных нетрадиционных источников благородных металлов. Присутствие благородных металлов отмечается в железорудных месторождениях практически всех главнейших промышленно-генетических типов. В то же время существует проблема, связанная с аналитическими исследованиями исходных руд и продуктов их обогащения. Большое разнообразие геохимических свойств и форм нахождения золота и платины, а также неравномерное распределение металлов и их соединений в рудах практически не позволяют установить полное его содержание всеми существующими аналитическими методами. Каждый из методов способен выявить одну или несколько из многочисленных форм нахождения благородных металлов и зафиксировать лишь относительную геохимическую аномальность. В связи с этим разные методы анализа зачастую дают несопоставимые результаты, поэтому необходим комплексный подход с учетом различных форм нахождения благородных металлов в рудах.*

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

DOI: 10.25635/2313-1586.2019.02.107

**Lavryk Aleksandra V.**  
Engineer,  
Institute of Mining, FEB RAS,  
680000, Khabarovsk, 51 Turgeneva Str.  
email: [alexalavrikxx@gmail.com](mailto:alexalavrikxx@gmail.com)

**Litvinova Natalia M.**  
Candidate of Engineering Sciences,  
Leading Researcher,  
Institute of Mining, FEB RAS  
email: [nauka22@yandex.ru](mailto:nauka22@yandex.ru)

**Lavrik Natalya A.**  
Senior Researcher,  
Institute of Mining, FEB RAS  
email: [lavrik@igd.khv.ru](mailto:lavrik@igd.khv.ru)

**Bubnova Marina B.**  
Candidate of Engineering Sciences,  
Senior Researcher,  
Institute of Mining, FAB RAS  
email: [138\\_marina@mail.ru](mailto:138_marina@mail.ru)

#### STUDY OF THE MATERIAL IRON MANGANESE ORE COMPOSITION

##### Abstract:

*Due to the depletion of the mineral resource base and the decline in the quality of processed ores, the relevance of the search for alternative sources of precious metals becomes more obvious. Iron ore deposits are among the most important potential non-traditional sources of precious metals. The presence of precious metals is observed in iron ore deposits of almost all major industrial genetic types. At the same time, there is a problem with analytical studies of base ores and products of their enrichment. Large variety of geochemical properties and forms of gold and platinum, as well as uneven distribution of metals and their compounds in the ores practically do not allow to determine its full content by all existing analytical methods. Each of the methods is able to identify one or more of the numerous forms for finding the precious metals and to record only relative geochemical anomalies. Therefore, different methods of analysis often produce incomparable results, so an integrated approach is needed, taking into account the different forms for finding the precious metals in the ores.*

*Key words: iron manganese ores, gold, platinum, granulometric characteristics, precious metal mineralization, electron-microscopic research, gravitational enrichment, mineral intergrowths*

## Введение

Железорудные месторождения являются одним из важнейших потенциальных нетрадиционных источников благородных металлов. 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 [1 – 13].

Объект исследования – месторождение Поперечное Южно-Хинганского рудного узла.

Предмет исследования – железомарганцевая руда месторождения Поперечное ЕАО.

Целью исследования является выявление благородных металлов в продуктах гравитационного обогащения железомарганцевой руды.

### *Материалы и методы исследований*

Южно-Хинганский рудный узел, занимающий площадь около 400 км<sup>2</sup>, находится в Еврейской автономной области. Рудоносная структура прослеживается в субмеридиональном направлении на 54 км при ширине 6 – 8 км. Наиболее подготовленным для освоения является участок (месторождение) Поперечное. Протяженность основного рудного тела составляет 2400 м при средней мощности 3,2 м и содержании марганца 20,4 %. Промышленное значение закреплялось за браунитовыми и гаусманит-родохрозитовыми рудами.

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.

Из кернового материала были сформированы пробы по определенным типам руд для проведения сокращенного минералогического анализа на монофракции благородных металлов. Пробоподготовка кернов осуществлялась с использованием современного оборудования Fritsch (щековая дробилка Пульверизетте 1, дисковая мельница Пульверизетте 13, ультразвуковая ванна для чистки сит Лаборетте 17, вибрационный грохот Анализетте 3). После дробления до 1 мм материал подвергался гравитационному обогащению. Анализ гравитационного концентрата выполнялся с использованием микроскопа Stemi 2000 C (Германия, ZEISS). 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». Определение содержания благородных металлов в хвостах гравитационного обогащения проводилось методом атомно-абсорбционной спектроскопии (абсорбционный спектрофотометр ААС-7000).

### *Результаты исследований*

При выполнении исследований по выявлению благороднометалльной железомарганцевой руды был проведен сокращенный минералогический анализ кернового материала различных скважин. Результаты сокращенного минералогического анализа<sup>1</sup> шлихов гравитационного обогащения железомарганцевых руд на благородные металлы приведены на рис. 1.

<sup>1</sup> Данные сокращенного минералогического анализа; методики: НСОММИ-162, НСОММИ – 21; аналитик В.Ф. Степанова; ИГД ДВО РАН

По данным сокращенного минералогического анализа можно отметить достаточно высокое содержание платины в магнетитовых рудах, золота – в гематит-магнетитовых рудах. Результаты исследований состава благородных металлов «гравитационной крупности» приведены в работе [15].

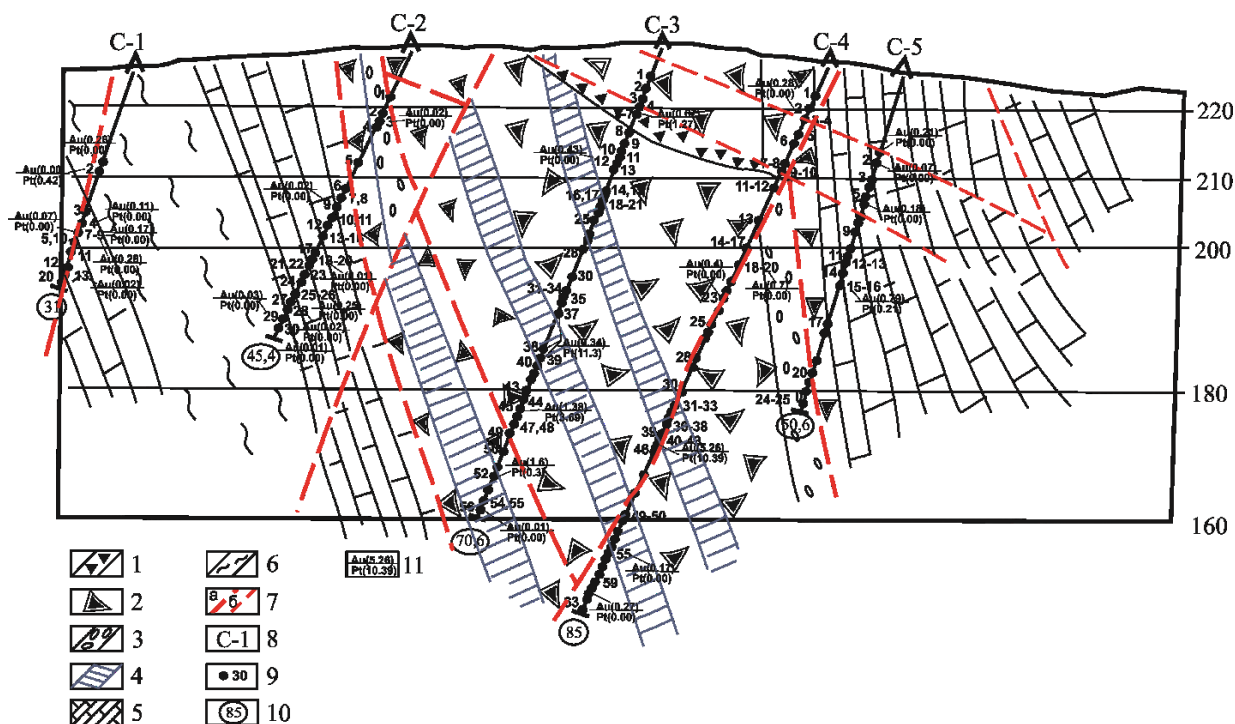


Рис. 1 – Геологический разрез по скважинам 1 – 5:

- 1 – псаммитовые брекчии; 2 – пелитовые и агломератовые брекчии;
- 3 – псефитовые брекчии; 4 – кварциты с марганцевой минерализацией (рудные тела);
- 5 – известняки и доломиты; 6 – пелитоморфные известняки; 7 – разрывные нарушения;
- 8 – скважина и ее номер; 9 – точка отбора образцов и их номер;
- 10 – глубина скважины на забое,
- 11 – содержание в числителе – золота, в знаменателе – платины

На следующем этапе работ были изучены хвосты гравитационного обогащения. В представленной работе даны результаты исследований на примере kernового материала следующих типов руд и вмещающих пород:

1. Проба 4-20 (известняки). В породе единично встречаются зерна кварца, а также сростки карбонатов с кварцем, пиритом и халькопиритом.
2. Проба 3-45 (магнетитовый тип руды). Преобладает магнетит и магномагнетит, отмечаются редкие зерна кварца, включения пирита и халькопирита в виде кристаллов, при электронно-микроскопическом исследовании отмечается галенит.
3. Проба 3-06 (доломитизированные серые известняки). Встречаются зерна кварца, включения пирита, единично – тенорита (CuO).
4. Проба 3-52 (гематит-магнетитовый тип руды). Основная масса пробы – гематит, магнетит, редко кварц и включения пирита.
5. Проба 5-15 (углистые сланцы). Отмечается кварц с вкрапленностью галенита.

В табл. 1 приведены результаты химического анализа хвостов гравитационного обогащения различных типов железомарганцевой руды.

Таблица 1

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

Тип руды, породы	Содержание Au, г/т
Известняки (4-20)	0,46
Магнетитовый тип (3-45)	0,89
Доломитизированные известняки (3-06)	1,31
Углистые сланцы (5-15)	0,54
Гематит-магнетитовый тип (3-52)	0,72

По результатам химического анализа установлено достаточно высокое содержание химически связанного золота во всех типах руд, что предопределяет проведение технологических исследований по извлечению золота. В ИГД ДВО РАН проводятся исследования по обогащению труднообогатимых руд и россыпей с использованием активационного выщелачивания и механоактивации минеральной массы. С целью подбора реагентного режима для выщелачивания различного типа руды и вмещающей породы проводились детальные исследования их вещественного состава, выявление форм нахождения частиц ценного компонента, изучение гранулометрических характеристик материалов. В табл. 2 представлена ситовая характеристика хвостов промывки железомарганцевой руды.

Таблица 2

**Ситовая характеристика хвостов промывки железомарганцевой руды**

Класс крупности	4-20 Известняки	3-45 Магнетитовая руда	3-06 Известняки доломитизиров.	5-15 Углистые сланцы	3-52 Гематит- магнетитовая руда
+1	35,5	44,5	45	32	39
-1+0,5	16,5	17	14	14	17,5
0,5+0,2	31,5	29	25,5	31	30
-0,2+0,0	15,5	9	13,5	22	13,5
Итого	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Использование экспресс-анализа гранулометрических характеристик с использованием лазерного дифракционного анализатора позволило выявить содержание в каждом типе руды тонких шламовых фракций (меньше 10 мкм): 5-15 – 8 %; 3-06 – 18 %; 3-52 – 11 %; 3-45 – 5 %; 4-20 – 12%.

Электронно-микроскопическими исследованиями проведено детальное изучение состава зерен золота в хвостах гравитационного обогащения различных типов железомарганцевой руды. На рис. 2 – 6 представлены результаты исследований зерен золота из различных типов руд и вмещающей породы.

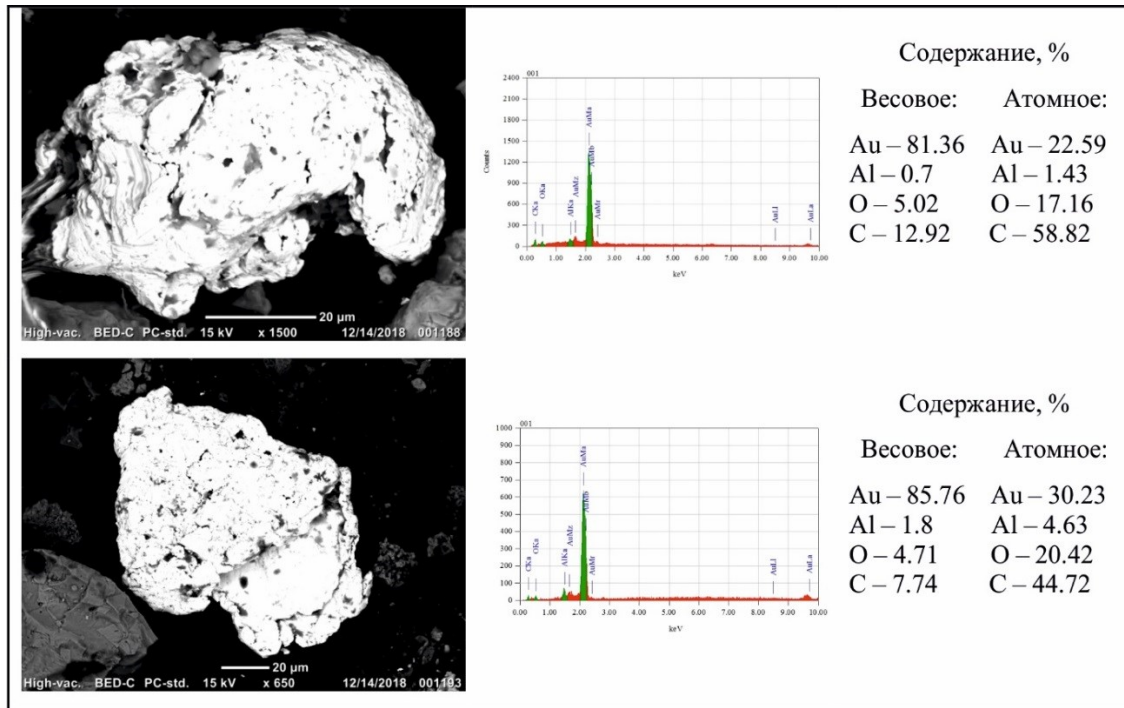


Рис. 2 – Зерна золота во вмещающей породе (известняки, 4-20) при электронно-микроскопическом исследовании: зерна золота комковатой формы с примесью алюминия (70 и 150 мкм), с включениями доломита и пироксенов (5 %) до 5 мкм

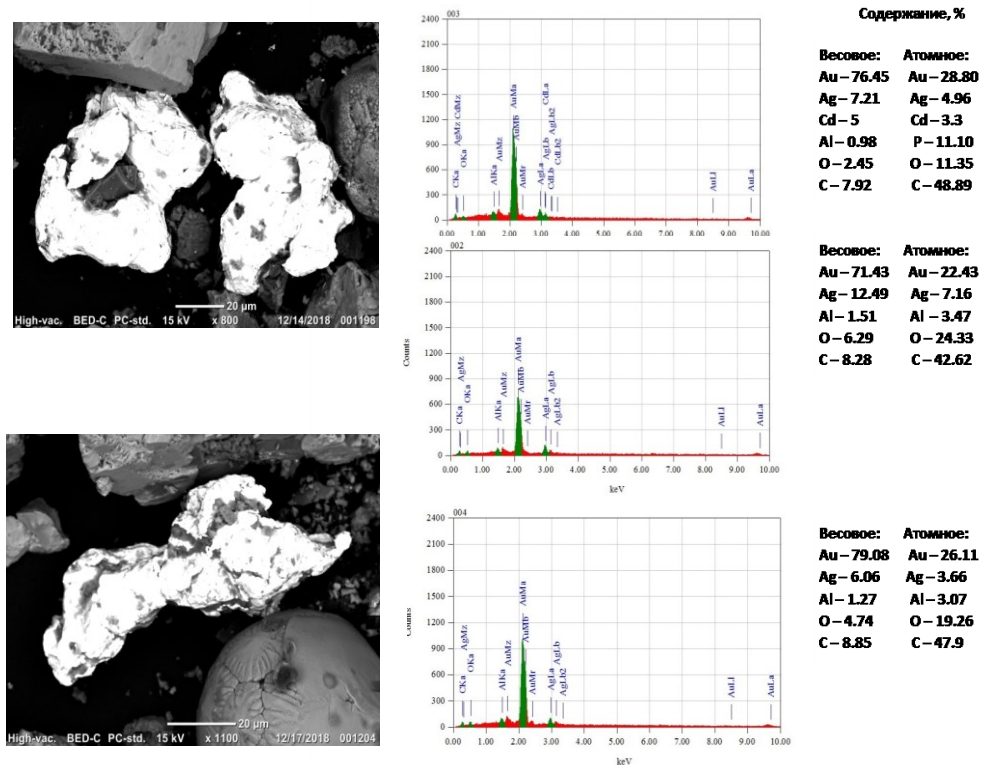


Рис. 3 – Зерна золота по результатам электронно-микроскопического исследования (проба 3-45): с примесью серебра, кадмия и алюминия; с включениями кварца (20 мкм) и породообразующими минералами (80 мкм)

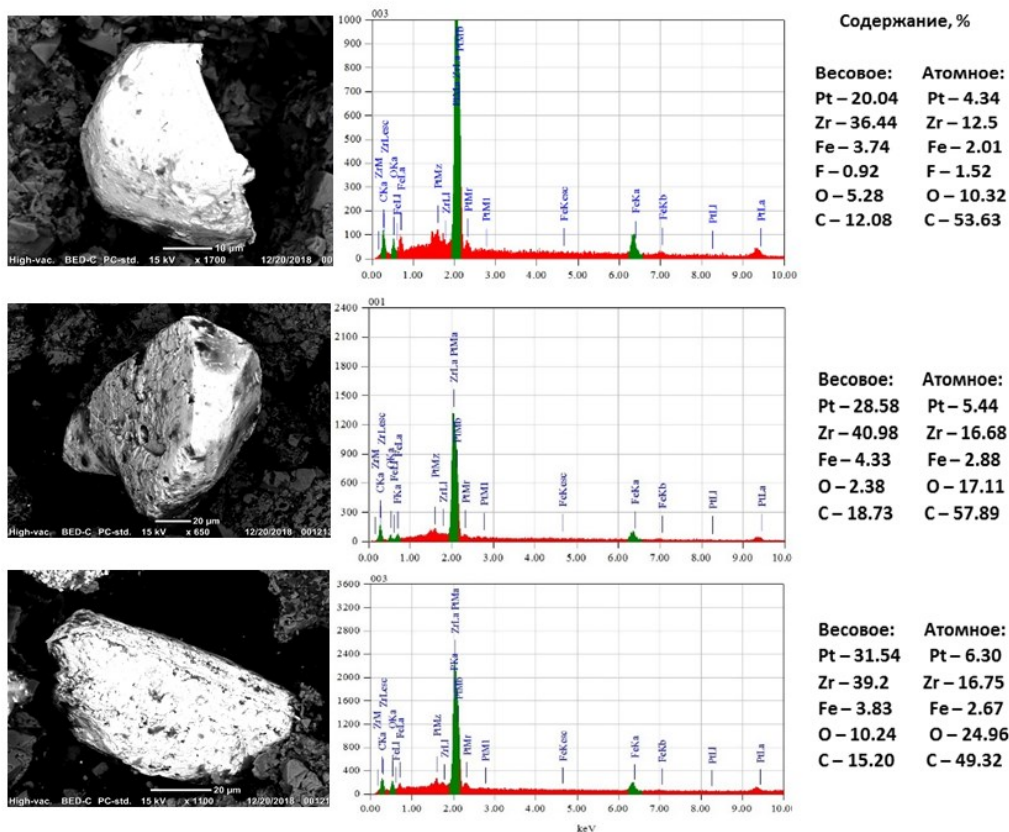


Рис. 4 – Зерна платины при электронно-микроскопическом исследовании (проба 3-45):  
 платина с примесью железа, циркония и фосфора (60 мкм);  
 с примесью железа, циркония и фтора (50 мкм);  
 с примесью железа и циркония (90-110 мкм)

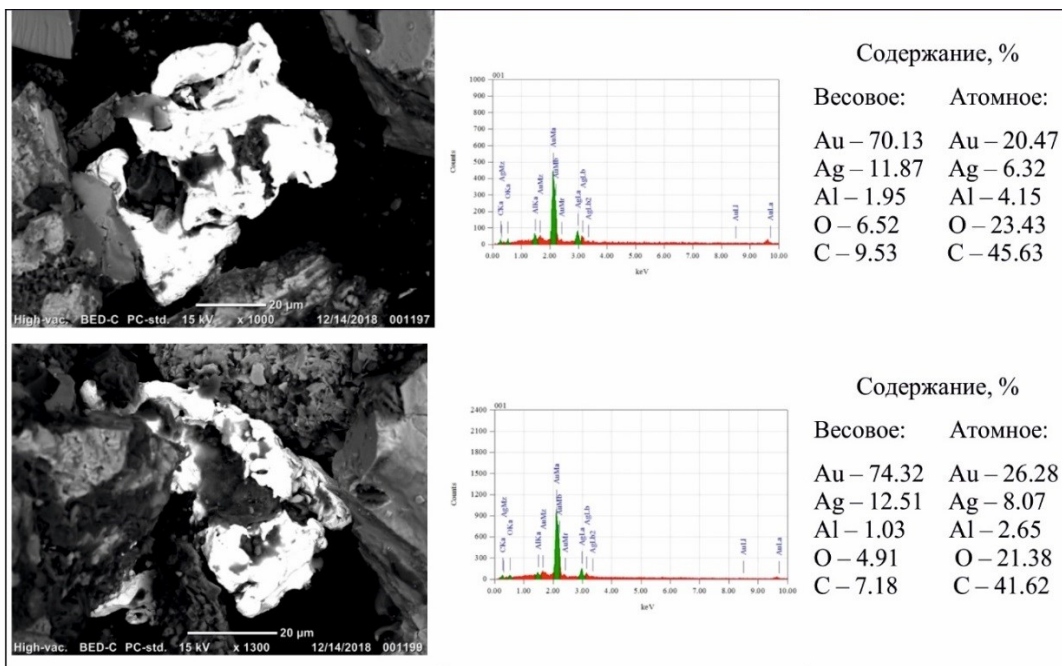


Рис. 5 – Зерна золота при электронно-микроскопическом исследовании (проба 5-15):  
 с примесью серебра и алюминия, включения – кварц (кристалл 7-12 мкм)  
 и породообразующие минералы до 10 % (60-80 мкм);  
 с примесью серебра и алюминия, с включениями доломита  
 и пироксенов (до 30 %), (80-100 мкм)

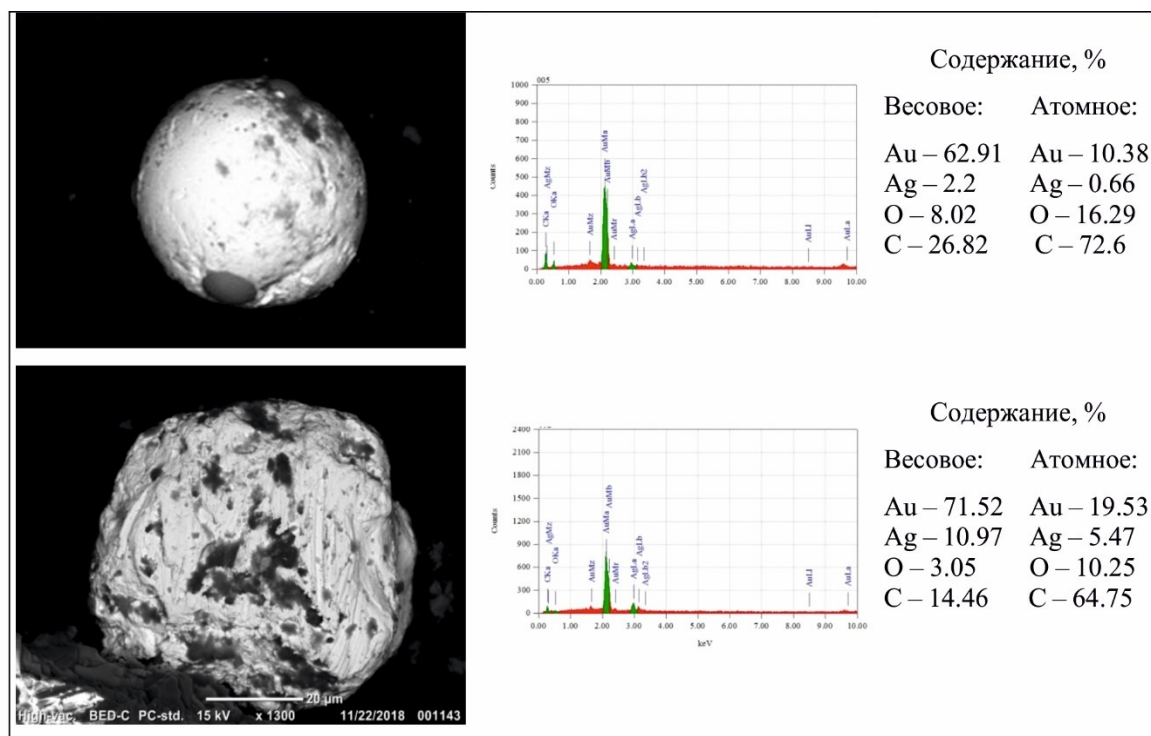


Рис. 6 – Зерна золота при электронно-микроскопическом исследовании (проба 3-52): золото сферической формы с примесью серебра, с включением магнетита (40 мкм); золото изометрической формы с примесью Ag (75 мкм) с включениями доломита и пироксенов (10 %) до 5 мкм

### Выводы

Таким образом, в результате сокращенного минералогического анализа железомарганцевой руды различных типов и вмещающих пород выявлено содержание золота в пробах от 0,67 до 1,38 г/т, платины от 0,22 до 3,69 г/т. Химический анализ материала хвостов гравитационного обогащения показал содержание «негравитационного» золота в пробах от 0,46 до 1,31 г/т. Тонкодисперсное золото во всех пробах содержит примесь серебра и породообразующих минералов. При электронно-микроскопическом исследовании зерен платины отмечаются примеси железа, циркония, фосфора и фтора.

### Литература

1. Беневольский Б.И. Благородные металлы в комплексных рудах зарубежных месторождений / Б.И. Беневольский, Л.И. Зубатарёва, Н.В. Мишиева. – М.: ВИЭМС, 1991. – 47 с.
2. Коробейников А.Ф. Золото и платиновые металлы в медно–молибден–порфириновых месторождениях / А.Ф. Коробейников, А.И. Грабежев // Известия Томского политехнического университета. – 2003. – Т. 306, № 5. – С. 24 – 32.
3. Моисеенко В. Г. Нанозолото в древних известняках и доломитах октябрьского рудного поля (Приамурье) / В. Г. Моисеенко, И.В. Кузнецова // Доклады Академии наук. Геохимия. – 2014. – Т. 456, № 4. – С. 468 – 471.
4. Моисеенко Н.В. Минералы-спутники самородного золота в рудах Покровского месторождения / Н.В. Моисеенко, П.П. Сафронов, Е.Н. Воропаева // Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии: сб. тр. конф. – Благовещенск: ИГиП ДВО РАН, 2010. – С. 100 – 102.

5. Новгородова М.И. Нанокристаллы самородного золота и их срастания / М.И. Новгородова // Новые данные о минералах. – 2004. – Т. 39. – С. 83.
6. Викентьев И.В. Формы нахождения и условия концентрирования благородных металлов в колчеданных рудах Урала / И.В. Викентьев // Геология рудных месторождений. – 2006. – Т. 48, № 2. – С. 91 - 125.
7. Винокуров С. Ф. Определение ионной формы золота в колчеданных рудах / С.Ф.Винокуров, В.А. Сычкова, И.В. Викентьев // Геохимия. – 2010. – Т. 5. – С. 544 - 550.
8. Прокофьев В. Ю. Состав, условия формирования руд и генезис месторождения золота Талатуй, Восточное Забайкалье, Россия / В.Ю. Прокофьев // Геология рудных месторождений. – 2007. – Т. 49, № 1. – С. 37–76.
9. Tauson V. L. Contrasting Surficial Composition of Native Gold from Two Different Types of Gold Ore Deposits // Minerals. – 2017. – Vol. 7. – P. 142.
10. Genkin A. D. Gold-bearing arsenopyrite and its formation condition at the Olympiada and Veduga gold deposits , Yenisei range, Siberia // Geology of Ore Deposits. – 2002. – Vol. 44, № 1. – P. 52 – 68.
11. Genkin A. D. Gold-bearing arsenopyrite from gold deposits: internal structure of grains, composition, mechanism of growth, and gold state // Geology of Ore Deposits. – 2010. – Vol. 40, № 6. – P. 490.
12. Hunt J.P. L. Porphyry copper deposits // Economic Geology Monograph. – 1991. – Vol. 8. – P. 192 – 206.
13. Tarkian M., Eliopoulos D.G., Economoueliopoulos M. Mineralogy of precious metals in the skouries porphyry copper-deposit, northern Greece // Neuesjahrbuch fur mineralogie-monatshefte. – 1991. – Vol. 12. – P. 529 – 537.
14. Определение минеральных форм благородных металлов в железомарганцевых месторождениях Дальнего Востока России / В.Г. Крюков, Н.М. Литвинова, Н.А. Лаврик, В.Ф. Степанова // Обогащение руд . – 2017. – № 4 (370). – С. 42 - 48.
15. Природные и технологические типоморфные ассоциации микроэлементов в углеродистых породах Кимканского рудопроявления благородных металлов (Дальний Восток) / А.И. Ханчук, И.Ю. Рассказов, Т.Н. Александрова, В.С. Комарова // Тихоокеанская геология. – 201