

УДК 549.271.3+549.283

**Лаврик Александра Викторовна**  
младший научный сотрудник,  
аспирант,  
Институт горного дела  
Дальневосточного отделения РАН,  
680000, г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51  
e-mail: [alexalavrikxx@gmail.com](mailto:alexalavrikxx@gmail.com)

**Лаврик Наталья Анатольевна**  
старший научный сотрудник,  
Институт горного дела  
Дальневосточного отделения РАН

**Рассказова Анна Вадимовна**  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник,  
Институт горного дела  
Дальневосточного отделения РАН

**Литвинова Наталья Михайловна**  
кандидат технических наук,  
ведущий научный сотрудник,  
Институт горного дела  
Дальневосточного отделения РАН

**Конарева Татьяна Геннадьевна**  
научный сотрудник,  
Институт горного дела  
Дальневосточного отделения РАН

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЕЛЬКЕН И ОЦЕНКА ЕЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ**

##### *Аннотация:*

Представлен первый этап исследований благородно-металльной минерализации золоторудного месторождения Делькен (Нижнеамурского рудного района), расположенного в Хабаровском крае. Рудоносная структура Делькенская прослеживается на 8 км в северо-восточном направлении; контролируется Лимурчанским разломом регионального значения. Площадь месторождения сложена триасовыми и юрскими осадочными толщами: кремнистыми породами, алевролитами, песчаниками, с прослоями гравелитов и конгломератов. Осадочные толщи прорываются многочисленными разнообразными по составу дайкообразными телами и дайками среднего и кислого состава мелового возраста. Характерны зоны прожилкового и метасоматического окварцевания. Рудовмещающими структурами являются зоны дробления и интенсивной трещиноватости пород, метасоматически измененные, с интенсивным тонкопрожилковым окварцеванием. Приведены результаты исследований золота в кварц-полевошпатовых метасоматитах по диоритам, показавших наибольшее содержание золота по данным химического анализа. Дана геологическая характеристика месторождения. Содержание ценного компонента в тонких классах крупности – 16 г/т (-0,071+0,04) и 46 г/т (-0,004+0,0). Сокращенным минералогическим анализом установлена размерность видимых частиц золота до 1,5 мм сложной морфологии. Дана ха-

DOI: 10.25635/2313-1586.2020.02.017

**Lavrik Alexandra V.**  
Junior Researcher,  
Graduate Student,  
Mining Institute, Far-East Branch of RAS,  
680000 Khabarovsk,  
51 Turgeneva Str.  
e-mail: [alexalavrikxx@gmail.com](mailto:alexalavrikxx@gmail.com)

**Lavrik Natalya A.**  
Senior Researcher,  
Mining Institute, Far-East Branch of RAS

**Rasskazova Anna V.**  
Candidate of Technical Science,  
Senior Researcher,  
Mining Institute, Far-East Branch of RAS

**Litvinova Natalya M.**  
Candidate of Technical Sciences,  
Leading Researcher,  
Mining Institute, Far-East Branch of RAS

**Konareva Tatyana G.**  
Researcher  
Mining Institute, Far-East Branch of RAS

#### **STUDY OF COMPLEX GOLD-BEARING ORE OF DELKEN DEPOSIT AND ASSESSMENT OF ITS TECHNOLOGICAL PROPERTIES**

##### *Abstract:*

The article is concerned with the first stage of research on the precious metal mineralization of the Delken gold ore deposit (Nizhneamursk ore district), located in the Khabarovsk Territory. Delken ore body system is stretched for 8 kilometers in the north-east direction and is controlled by Limurchan snap of regional meaning. The deposit area is composed of Triassic and Jurassic sedimentary deposits: siliceous rocks, siltstones, sandstones, with interlayers of gravelites and conglomerates. Sedimentary strata erupt with numerous diverse in composition dyke-shaped bodies and dykes of middle and acidic composition of Cretaceous period. Streaky and metasomatic silicification zones are characteristically. Ore-bearing structures are crushing and intense fracturing zones of rocks, metasomatically altered, with intense fine-grained silicification. The results of studies of gold in quartz-feldspar metasomatites on diorites, which showed the highest gold content according to chemical analysis, are presented. We show the geological characteristics of the field. The content of gold in the fine particle size classes is - 16 g/t (-0,071+0,04) and 46 g/t (-0,004+0,0). A reduced mineralogical analysis established the dimension of visible gold particles up to 1.5 mm. They have a complex morphology. The paper contains characteristics of a valuable component in each size fraction. All gold particles are joints with quartz. The main composition is gold with an admixture of silver (up to 10% by weight) and lead (up to 15% by weight)

рактика ценного компонента в каждом классе крупности. Все золото находится в сростках с кварцем или с включением кварца. Основной состав – золото с примесью серебра (до 10 % по массе) и свинца (до 15 % по массе) во всех классах крупности. Содержание примесей варьируется в пределах 2 – 3 %. Тесное срастание золота с кварцем в процессе дробления не обеспечит полного высвобождения золотинок, а также наличие золота сложной морфологии предопределяет появление мелких пластинчатых фрагментов, которые плохо поддаются гравитационному обогащению. Наличие тонкодисперсного золота определяет целесообразность проведения технологических исследований методом выщелачивания. Учитывая вещественные, морфологические особенности золота и факторы упорности при разработке технологической схемы обогащения необходимо применять комплекс методов.

*Ключевые слова:* месторождение Делькен, золото, кварц-полевошпатовые метасоматиты по диоритам, химический анализ, шлик, электронная микроскопия, технологические исследования

*in all size classes. The content of impurities varies in the range of 2-3%. The close intergrowth of gold with quartz during the crushing process will not ensure the complete release of gold. Gold joints with quartz are difficult liberated, characterized by tabular morphology. Tabular gold tends to float and is not particularly amenable to gravity processing. Due to the presence of finely dispersed gold, technological studies using leaching method are necessary. Considering the characteristics of gold, it is necessary in the development of technology to apply a complex of mineral processing methods.*

*Keywords:* Delken deposit, gold, quartz-feldspar metasomatites according to diorites, chemical analysis, concentrate, electron microscopy, technological studies

## Введение

Последовательное изучение месторождений полезных ископаемых Хабаровского края показывает, что большинство золоторудных объектов зачастую содержат платиноиды, серебро, висмут, сурьму, медь и другие ценные элементы [1 – 3]. Например, месторождение Делькен помимо золота содержит сурьму; Учаминское золотоколчеданное – редкоземельные элементы; Хаканджинское золото-серебряное – марганец; сростки киновари с золотом встречаются в рудах месторождения Белая Гора. Но большая часть комплексных месторождений недостаточно изучена даже на предмет основного металла.

На государственном уровне важнейшей задачей ставится разработка комплекса промышленных и информационных технологий, направленных на достижение максимального извлечения запасов благородных металлов [4, 5].

Одним из примеров такого перспективного месторождения может служить золоторудное месторождение Делькен, недостаточно изученное к настоящему моменту. В ассоциации с золотом в минерализованных зонах в пределах Делькенской рудоносной структуры отмечаются мышьяк, сурьма, вольфрам и свинец, для которых требуется количественная оценка и определение минералов-носителей.

На начальном этапе исследований работа посвящена изучению золотой минерализации в различных гидротермально и метасоматически измененных породах месторождения Делькен с целью проведения дальнейших технологических исследований.

### *Краткая геологическая характеристика месторождения*

Золоторудное месторождение Делькен расположено в Хабаровском крае на территории Нижнеамурского рудного района в пределах Лимурчанской золотоносной площади, охватывающей бассейны рек Пильда и Лимури, левых притоков реки Амур.

Геологическая характеристика месторождения дана в работах В.Г. Крюкова [6, 7].

Рудоносная структура Делькенская прослеживается на 8 км в северо-восточном направлении до Лимурчанского массива на северо-западе. С восточной и юго-восточной стороны контролируется Лимурчанским разломом регионального значения. В северо-восточной части этой структуры, в верхнем течении одноименного ручья,

правого притока р. Лимурчан выявлены участки Буровой и Водораздельный, которые составляют месторождение Делькен.

Площадь месторождения сложена триасовыми и юрскими осадочными породами, представленными кремнистыми и кремнисто-глинистыми породами, алевролитами, переслаиваемыми алевролитами и песчаниками, с прослоями и линзами гравелитов, конгломератов. Отложения смяты в крутые, в основном изоклиналильные складки северо-восточного простирания с преимущественными падениями крыльев на северо-запад.

Осадочные отложения прорываются многочисленными разнообразными по составу дайкообразными телами и дайками среднего и кислого состава мелового возраста и пересечены зонами прожилкового и метасоматического окварцевания. Ширина зон измененных пород варьирует в основном в пределах 300 – 700 м, изредка достигая 1400 м.

Рудовмещающими на территории Делькенской золоторудной площади являются зоны дробления и интенсивной трещиноватости пород, параллельные основной оси Лимурчанского разлома и сложенные гидротермально измененными прожилково-окварцованными и метасоматически измененными породами.

Прожилковое окварцевание по характеру проявления представлено двумя разновидностями: тонкопрожилковым окварцеванием площадного типа и интенсивным, более локальным прожилковым, прожилково-сетчатым окварцеванием.

Метасоматически измененные осадочные породы представлены кварц-серицитовыми, серицит-кварцевыми, серицит-кварц-адуляровыми, кварцевыми, кварц-серицит-лимонитовыми метасоматитами. Гранодиорит-порфиры, кварцевые диорит-порфириты, лампрофиры и диорит-порфириты в зонах интенсивного метасоматоза серицитизированы, альбитизированы, карбонатизированы, хлоритизированы, окварцованы, превращены в альбит-кварц-серицит-карбонатные, кварц-карбонат-серицитовые метасоматиты. По минеральному составу метасоматиты близки березит-лиственитовому типу.

Стержневые зоны метасоматитов являются минерализованными (рудными) зонами, вмещающими золотое оруденение. Они залегают в виде линейно-вытянутых в северо-восточном или субмеридиональном направлении тел мощностью от 3 – 5 м до 70 м, протяженностью от нескольких десятков до сотен метров.

Ресурсы золота на месторождении Делькен составляют 12 т. Распределение золота неравномерное, его содержание колеблется от 0,006 до 3 г/т.

#### *Фактический материал и методы исследований*

На начальном этапе исследований был отобран керновый материал (инженерно-геологическая скважина № 3, интервал 120 – 140 м) из кварц-полевошпатовых метасоматитов по диоритам месторождения Делькен, показавших наибольшее содержание золота по результатам химического анализа. Материал дробился на классы: -0,1+0,5; -0,5+0,2; -0,2+0,1; -0,1+0,071; -0,071+0,04; -0,04+0,0. Далее классы (-0,1+0,5; -0,5+0,2; -0,2+0,1; -0,1+0,071) на концентрационном столе подвергались гравитационному обогащению. Шлих был получен путем фракционирования головок стола в бромформе.

Пробоподготовка осуществлялась с использованием современного оборудования Fritsch (щековая дробилка Пульверизетте 1; вибрационный грохот Анализетте 3; дельтель проб Лаборетте 27; ультразвуковая ванна для чистки сит Лаборетте 17).

Далее проводился сокращенный минералогический анализ шлихов на монофракции благородных металлов. Качественный минералогический анализ проб и сокращенный минералогический анализ на благородные металлы проводился с использованием бинокляров и микроскопов Stemi 2000, Stereo Discovery V8, фирмы ZEISS.

Детальное изучение выделенных зерен благородных металлов и тонкодисперсных частиц ценного компонента проводилось на сканирующем электронном микроскопе «JEOL» (Япония), оснащенный энергодисперсионным анализатором «JCM-6000

PLUS». Ускоряющее напряжение 15 kV; зондирующий ток 7,475 nA; увеличение до 3000.

Для количественной оценки содержания золота в исходных материалах применялся атомно-абсорбционный спектрофотометр ААС-7000, ААС – 6200.

#### *Результаты исследований*

В настоящей работе отражены результаты одного из этапов исследований – выявление золота в кварц-полевошпатовых метасоматитах по диоритам месторождения Делькен.

Химический анализ тонкого класса исходных проб показал высокое содержание золота. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

#### **Результаты химического анализа на золото исходной пробы**

Класс крупности, мм	Au г/т
-0,071 +0,04	16
-0,04+0,0	46

В результате химического анализа наибольшее содержание золота в классе - 0,04+0,0 мм – 46 г/т, что говорит о высоком содержании тонкодисперсного золота в руде.

При выполнении исследований по выявлению благороднометалльной минерализации сокращенным минералогическим анализом шлихов гравитационного обогащения во всех исследуемых классах крупности (-0,1+0,5; -0,5+0,2; -0,2+0,1; -0,1+0,071) выявлены видимые зерна золота, определены размерность и формы зерен. На рис. 1. представлена фотография зерен золота и сростков кварца с золотом. В табл. 2 представлено описание видимых зерен золота по классам.

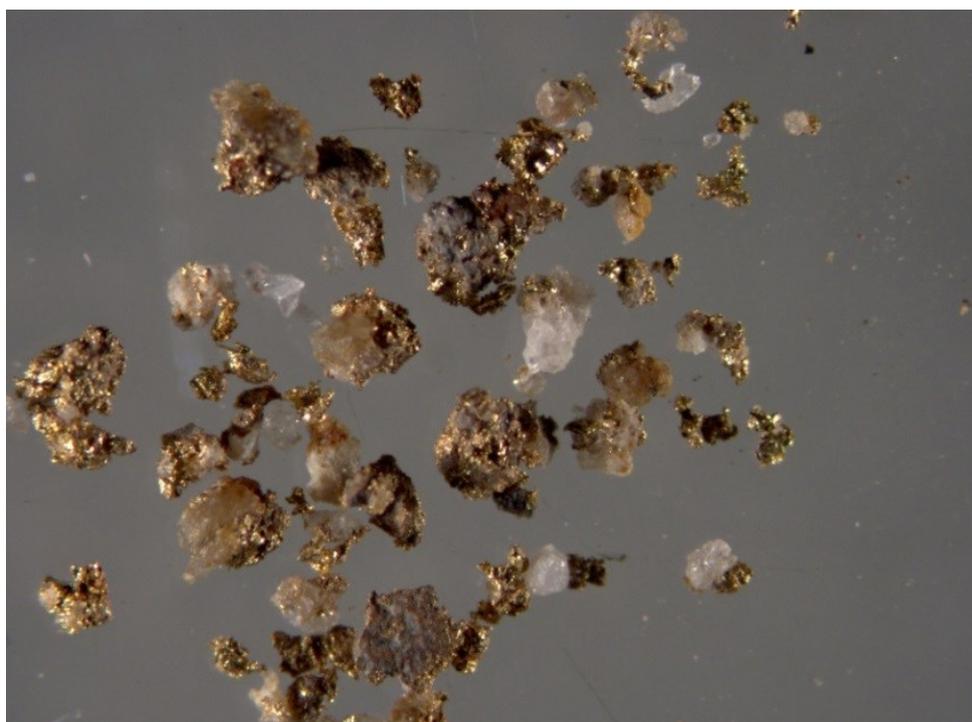


Рис. 1 – Фотография зерен золота и сростки кварца с золотом (0,08 – 1,5 мм)

Таблица 2

## Характеристика зерен золота

Класс, мм	Размерность	Описание
-1+0,5	до 1,5 мм	Преобладают сростки кварца с золотом (размер золота до 0,5 мм), единично – 1,1 мм. Зерна неправильной формы, в виде стружек, изогнутых пластин с рваными краями, встречается рассеянная вкрапленность мкм размерности.
-0,5+0,2	до 1,1 мм	Отдельные зерна золота и сростки кварца с золотом. Зерна неправильной формы, в виде хлопьев, скрученных пластинок с рваными краями, вытянутые, дендритовидные. Единичные зерна золота имеют включения кварца и породообразующих минералов.
-0,2+0,1	до 0,5 мм	Отдельные зерна золота и сростки кварца с золотом. Зерна неправильной формы, в виде хлопьев, скрученных пластинок с рваными краями, вытянутые, дендритовидные. Единичные зерна золота имеют включения кварца и редко – породообразующих минералов.
-0,1+0,071	до 0,2 мм	Отдельные зерна золота и сростки кварца с золотом. Зерна неправильной формы, в виде хлопьев, скрученных пластинок с рваными краями, вытянутые, дендритовидные. Отдельные зерна золота имеют включения кварца и редко- породообразующих минералов.

Так как в исследуемом материале обнаружена размерность видимых частиц золота до 1,5 мм, необходимо проведение гравитационных тестов на определение гравитационной обогатимости золота [8].

По результатам сокращенного минералогического анализа установлено, что все золото исследуемой пробы находится в кварце.

Вещественная характеристика сырья является определяющим фактором извлечения благородных металлов при выщелачивании. Кварц характеризуется низкой пористостью и проницаемостью для растворов выщелачивания, что осложняет процесс выщелачивания [9]. Вкрапленность золота в кварц является осложняющим фактором при гидрометаллургической переработке руды также по причине адсорбции золотоцианистых комплексов на поверхности кварца [10].

На рис. 2 с использованием электронного сканирующего микроскопа представлена карта характера распределения золота в кварце. По карте химических элементов видно, что золото формируется неравномерными образованиями, тонкими вкраплениями (до 5 мкм) и прожилками. Размеры зерен, особенности форм и состав золота являются важными факторами при разработке технологии обогащения.

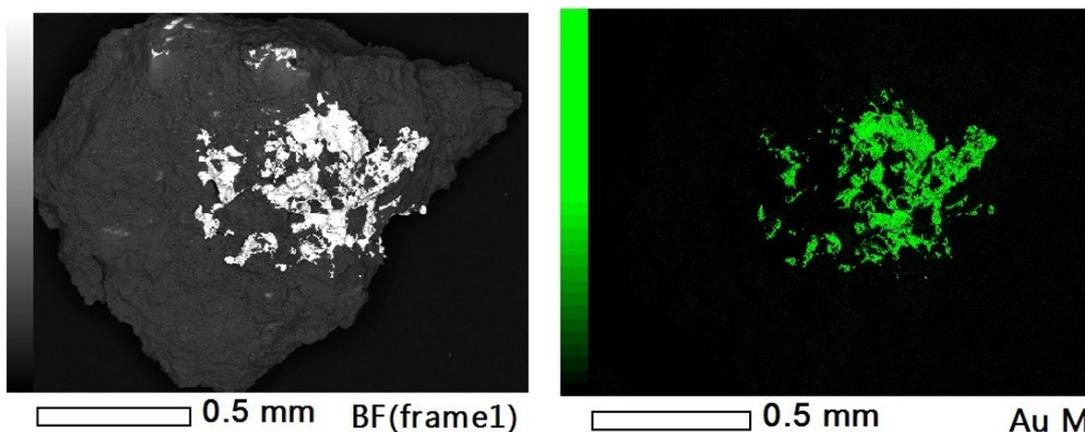


Рис. 2 – Распределение золота в кварце  
(карта химических элементов с электронного сканирующего микроскопа)

С использованием электронного сканирующего микроскопа установлено содержание зерен золота. На рис. 3 представлена фотография сростка кварца с золотом.

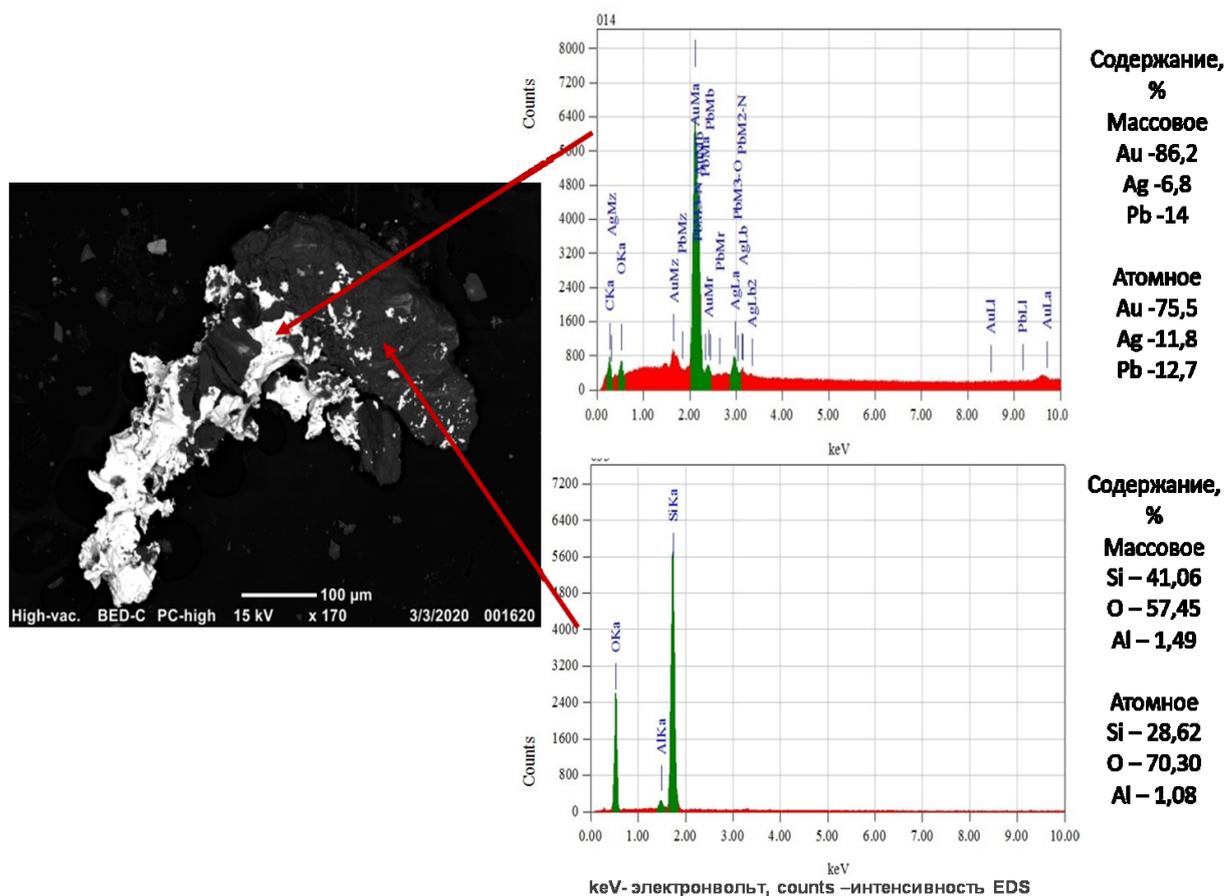


Рис. 3 – Фотография с электронного микроскопа - сросток кварца с золотом (содержание элементов в золоте представлено в пересчете на металлы)

Все золото с примесью серебра (до 10 % по массе), чистое золото не встречается. Большая часть также с примесью свинца (до 15 % по массе). Содержание серебра и свинца вариативно, но в пределах 2 – 3 %. Также встречается золото с примесью арсена, серебра и алюминия, единично с примесью серебра (5 %) и кадмия (5 %).

#### Выводы

- Золото в кварц-полевошпатовых метасоматитах по диоритам характеризуется тонким сростанием с кварцем. Размерность зерен золота до 1,5 мм, морфология выделений – сложная; при наличии крупных вкраплений благородного металла необходимо проведение гравитационных тестов для определения обогатимости. Все выделенные зерна золота содержат примеси серебра, в меньшей степени – свинца, редко – кадмия.
- Тесное сростание золота с кварцем в процессе измельчения не обеспечит полного высвобождения золотин.
- Наличие золота сложной морфологии предопределяет появление мелких пластинчатых фрагментов, которые плохо поддаются гравитационному обогащению.
- Наличие тонкодисперсного золота определяет целесообразность проведения технологических исследований методом выщелачивания.
- Учитывая вещественные, морфологические особенности золота и факторы упорности, при разработке технологической схемы обогащения необходимо применять комплекс методов.

## Литература

1. Онихимовский В.В. Полезные ископаемые Хабаровского края / В.В. Онихимовский, Ю.С. Беломестных // Научно-технический центр «Дальгеоцентр», Приамурское географическое общество. – Хабаровск: Комитет по геологии и использованию недр РФ, «Дальгеолком», 1996. – 484 с.
2. Архипов Г.И. Минеральные ресурсы горнорудной промышленности Дальнего Востока. Стратегическая оценка возможностей освоения / Г.И. Архипов. – Хабаровск: Институт горного дела ДВО РАН, – 2017. – 820 с.
3. Кузнецова Д.В. Актуальные вопросы Российской золотодобывающей отрасли в современных экономико-технологических условиях / Д.В. Кузнецова // Золотодобывающая промышленность. – 2019. – № 6 (96). – С. 10-13.
4. Стариков А.В. Комплексное освоение георесурсов недр – новая идеология в теории и практике разработки месторождений полезных ископаемых / А.В. Стариков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. – № 8. – С. 210 - 212
5. Комплексное освоение месторождений и глубокая переработка минерального сырья / К.Н. Трубецкой, В.А. Чантурия, Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльникова. – Москва: Наука, 2010. – 464 с.
6. Крюков, В.Г. Особенности рудолокализации на месторождении золота Делькен (Приамурье) / В.Г. Крюков // Тектоника, глубинное строение и минерагения Востока Азии: X Косыгинские чтения: материалы Всерос. конф. с междунар. участием, г. Хабаровск, 10-12 сентября 2019. - Хабаровск : ИТиГ им. Ю. А. Косыгина ДВО РАН, 2019. – С. 168 - 170.
7. Крюков В.Г. Вариабельность интерпретации геологических данных по золоторудным месторождениям и её результаты / В.Г. Крюков // Материалы Всероссийской научной конференции «Чтения памяти академика К.В. Симакова», 4-6 марта 2020 г., Магадан. – Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 2020. – С. 27 - 30.
8. Дементьев В.Е. Кучное выщелачивание золота и серебра / В.Е. Дементьев, Г.Я. Дружина, С.С. Гудков. – ОАО Иргиредмет, Иркутск, 2004. –352 с.
9. Celep O. Recovery of Silver From an Arsenical Silver Ore by Knelson Concentrator and Cyanide Leaching / Celep, O., Altinkaya, P., Yazici, E. Y. // 24th international Mining Congress of Turkey. – 2015. – p. 1194 - 1198.
10. Pengcheng, Li Adsorption of gold cyanide on quartz / Pengcheng Li, Dai Shujuan // colloids and surfaces a physicochemical and engineering aspects. – 2020. –Vol. 590 (№ 124514). – DOI: 10.1016/j.colsurfa.2020.124514