

УДК 553.411.071:553.048(470.64)

DOI: 10.46698/VNC.2024.92.56.012

Оригинальная статья

## Геолого-экономическая оценка золотоносных руд черносланцевого типа на примере Малка-Муштинского рудного узла (Кабардино-Балкарская республика)

С.Г. Парада 

Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН,  
Россия, 362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а,  
e-mail: maurmar@yandex.ru

Статья поступила: 09.10.2024, доработана: 31.10.2024, принята к публикации: 02.11.2024

**Резюме: Актуальность работы.** Выявленные в последние годы на Северном Кавказе золотоносные руды черносланцевого типа характеризуются в большинстве случаев очень низкими содержаниями золота (менее 1,0 г/т). В связи с этим возникает актуальная задача оценки возможности вовлечения таких руд в разработку. **Материал и методы.** Материалом для настоящего исследования послужили результаты выполненных в 2007–2009 гг. ООО «Каббалкгеология» поисковых работ в пределах Малка-Муштинского рудного узла. Также использованы результаты геолого-экономического моделирования, полученные специалистами Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института (ЦНИГРИ) для Учкуланского и Безенгийского золоторудных полей Северного Кавказа. При проведении исследования использованы стандартные методы геолого-экономической оценки месторождений и геолого-экономического моделирования. **Результаты исследования.** Разработана геолого-экономическая модель золотого оруденения черносланцевого типа на примере Малка-Муштинского рудного узла Кабардино-Балкарской республики. Основными элементами этой модели являются геолого-структурные условия локализации и геолого-промышленный тип оруденения, масштабы проявления оруденения и морфология рудных тел, минеральный состав руд, минимальное среднее содержание золота в рудах, количество прогнозных ресурсов. Путем сопоставления ее с геолого-экономической моделью более изученного Учкуланского золоторудного поля (КЧР), установлена их принципиальная схожесть. Наиболее существенное влияние на величину браковочных кондиций оказывают расчетная цена единицы товарной продукции (в нашем случае 1 г золота) и ожидаемая себестоимость добычи и переработки 1 т руды. Последний параметр в части издержек производства имеет тесную корреляционную связь с годовой производительностью горно-обогатительного предприятия и, косвенно, — с запасами руды. Показано, что в настоящее время отработка таких руд экономически не целесообразна. Вместе с тем, результаты интерполяции вероятного изменения технико-экономических показателей при росте цены на золото указывают на возможность отработки таких руд в будущем методом кучного выщелачивания за счет снижения порога рентабельности при содержаниях золота менее 1 г/т.

**Ключевые слова:** геолого-экономическая модель, интерполяция, золото, руда, запасы, черносланцевая формация, кучное выщелачивание, браковочные кондиции, себестоимость, рентабельность.

**Благодарности:** Статья подготовлена в рамках государственного задания на научно-исследовательские работы Геофизического института ВНЦ РАН.

**Для цитирования:** Парада С.Г. Геолого-экономическая оценка золотоносных руд черносланцевого типа на примере Малка-Муштинского рудного узла (Кабардино-Балкарская республика). *Геология и геофизика Юга России*. 2024. 14(4): 142-151. DOI: 10.46698/VNC.2024.92.56.012

DOI: 10.46698/VNC.2024.92.56.012

Original paper

## Geological and economic assessment of gold-bearing ores of the black shale type on the example of the Malka-Mushtinsky ore node (Kabardino-Balkarian republic)

S.G. Parada 

Geophysical Institute, Vladikavkaz Scientific Center, Russian Academy of Sciences,  
93a Markova Str., Vladikavkaz 362002, Russian Federation,  
e-mail: maurmar@yandex.ru

Received: 09.10.2024, revised: 31.10.2024, accepted: 02.11.2024

**Abstract: Relevance.** The gold-bearing ores of the black shale type identified in recent years in the North Caucasus are characterized in most cases by very low gold contents (less than 1.0 g/t). In this regard, there is an urgent need to assess the possibility of involving such ores in development. **Material and methods.** The material for this study was the results of prospecting work performed in 2007–2009 by Kabbalkgeologiya LLC within the Malka-Mushtinsky ore node. The results of geological and economic modeling obtained by specialists of the Central Research Geological Exploration Institute (TsNIGRI) for the Uchkulan and Bezengi gold fields of the North Caucasus were also used. During the study, standard methods of geological and economic assessment of deposits and geological and economic modeling were used. **The results of the study.** A geological and economic model of gold mineralization of the black shale type has been developed on the example of the Malka-Mushta ore basin of the Kabardino-Balkarian Republic. The main elements of this model are the geological and structural conditions of localization and the geological and industrial type of mineralization, the scale of mineralization and morphology of ore bodies, the mineral composition of ores, the minimum average gold content in ores, and the amount of forecast resources. By comparing it with the geological and economic model of the more studied Uchkulansky gold ore field (Karachai-Cherkess Republic), their fundamental similarity is established. The most significant influence on the value of defective conditions is exerted by the estimated unit price of commercial products (in our case, 1 g of gold) and the expected cost of extraction and processing of 1 ton of ore. The last parameter in terms of production costs has a close correlation with the annual productivity of the mining and processing enterprise and, indirectly, with ore reserves. It is shown that currently the mining of such ores is not economically feasible. At the same time, the results of interpolation of the likely change in technical and economic indicators with an increase in the price of gold indicate the possibility of mining such ores in the future by heap leaching due to a decrease in the profitability threshold at gold contents of less than 1 g/t.

**Keywords:** geological and economic model, interpolation, gold, ore, reserves, black shale formation, heap leaching, rejection conditions, cost, profitability.

**Acknowledgements:** The article was prepared as part of the state assignment for scientific research work of the Geophysical Institute of the Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.

**For citation:** Parada S.G. Geological and economic assessment of gold-bearing ores of the black shale type on the example of the Malka-Mushtinsky ore node (Kabardino-Balkarian republic). *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2024. 14(4): 142–151. DOI: 10.46698/VNC.2024.92.56.012

## Введение

В последние годы все чаще появляются публикации о новом для Северного Кавказа типе руд золота, связанном с черносланцевыми толщами. При этом в качестве руды рассматриваются минерализованные в различной степени черносланцевые породы, содержащие золотоносную минерализацию сульфидно-вкрапленного или кварцево-жилльно-прожилкового типа [Богущ и др., 2017; Курбанов и др., 1994; Курбанов и др., 2011; Парада, 2022; Парада, 2024 и др.]. В других работах рассматриваются сами черносланцевые толщи предположительно как новый тип руд благородных металлов на основании отдельных определений повышенных содержаний золота в них [Гончаров и др., 2007; Gurbanov et al., 2019; Гурбанов и др., 2023; Черкашин и др., 2022 и др.].

Содержания золота в первом и втором случае чрезвычайно низкие: от сотых до десятых долей г/т, в то время как в известных месторождениях черносланцевого типа средние содержания золота не менее 2 г/т (Сухой лог, Олимпиадинское, Дегдекан и др.). При этом считается, что извлечение золота из углеродсодержащих руд сопряжено с определенными трудностями. Возникающие трудности с извлечением золота из углеродистых руд преодолены еще в 80-е годы прошлого столетия путем создания сорбционных технологий, учитывающих наличие углеродистого вещества [Hausen, Bucknam, 1984; Dunn et al., 1989; Mossman, 1999], а также с применением биотехнологий [Karthikeyan et al., 2015]. В России также довольно успешно разрабатываются собственные технологии переработки руд и извлечения золота [Александрова и др., 2015; Санакулов и др., 2016; Гурман и др., 2017 и др.], наиболее рентабельной из которых является технология кучного выщелачивания [Михайлов и др., 2014].

Какие бы совершенные технологии не разрабатывались, их можно применять лишь тогда, когда это экономически целесообразно. Для предварительной оценки целесообразности дальнейшего изучения рудоносных объектов применяется геолого-экономическое моделирование [Быбочкин, 1990]. Однако, существующие модели применимы к объёмным объектам со средними содержаниями золота в рудной массе 2–4 г/т на мощность порядка 10 м. Автор настоящей статьи попытался интерполировать результаты одной из таких моделей для рудоносных черносланцевых зон и залежей на примере Малка-Муштинского рудного узла (ММРУ).

## Материал и методы

Материалом для настоящего исследования послужили результаты выполненных в 2007–2009 гг. ООО «Каббалкгеология» поисковых работ в пределах ММРУ и изложенные в публикациях [Шишкалов, 2017; Парада, 2022 и др.]. Также использованы результаты геолого-экономического моделирования, полученные специалистами Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института (ЦНИГРИ) для Учкуланского и Безенгийского золоторудных полей Северного Кавказа. Методы, использованные для геолого-экономической оценки оруденения, изложены в работах [Прогнозирование ..., 1989; Быбочкин, 1990 и др.].

## Результаты и обсуждение

ММРУ располагается в Бечасынской структурно-формационной зоне [Потапенко, 1991] и сложен метаморфическими толщами протерозоя, северо-восточной частью позднепалеозойского малкинского гранитного массива и позднепротеро-

зойскими продуктами конседиментационного магматизма хасаутского габбро-диабазового комплекса (рис. 1). В пределах ММРУ выявлены крупнообъемные зоны и залежи сульфидно-вкрапленной и кварцево-жильно-прожилковой золотоносной минерализации, подробно охарактеризованной в [Парада, 2022]. Истинные мощности зон и залежей в опробованных бороздах и керновыми пробами сечениях достигают 50 м, их протяженность по падению (восстанию), прослеженная в естественных обнажениях, горных выработках и буровых скважинах достигает 600 м. Распределение золота в рудной массе оценивается как равномерное. Такие рудоносные зоны и залежи по параметрам объема рудных тел приближаются к параметрам модели крупнообъемных месторождений с относительно низкими содержаниями золота в рудной массе, пригодных для открытого способа разработки с применением технологии кучного выщелачивания. Тем не менее, выявленные в них средние содержания золота не превышают 1,0 г/т при бортовом содержании 0,5 г/т.

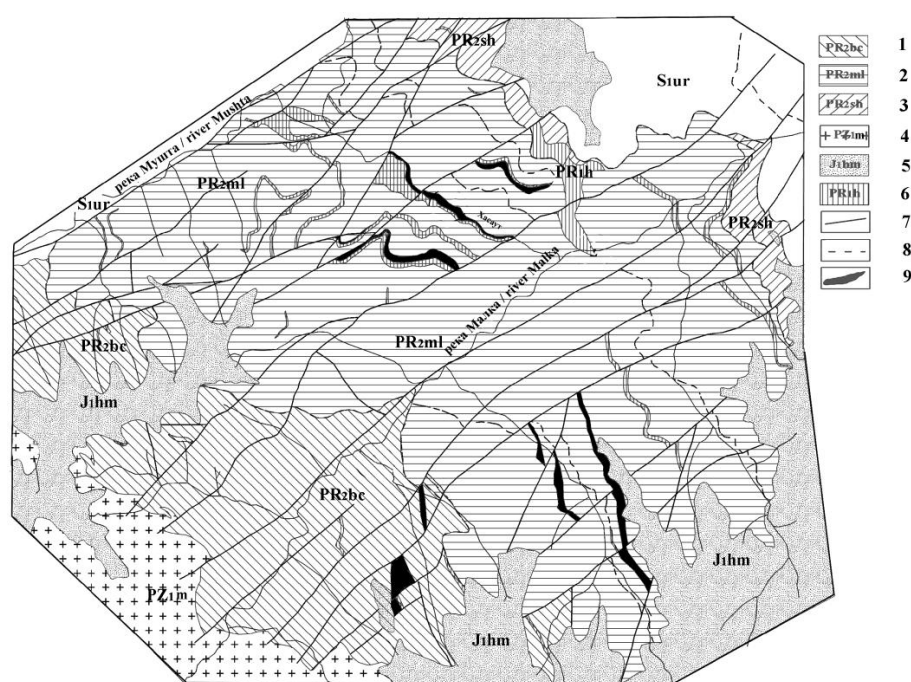


Рис. 1. Положение рудных зон и залежей в структуре Малка-Муштинского рудного узла:

1–3 – протерозойские отложения: 1 – бечасынская свита; 2 – малкинская свита; 3 – шиджатмазская свита; 4 – малкинские позднепалеозойские граниты; 5 – юрские песчаники; 6 – позднепротерозойские интрузии хасаутского диорит-диабазового комплекса; 7 – разрывные нарушения прослеженные; 8 – разрывные нарушения предполагаемые; 9 – рудные зоны и залежи /

Fig. 1. The position of ore zones and deposits in the structure of the Malka-Mushta ore basin:

1-3 – Proterozoic deposits: 1 – Bechasyn formation; 2 – Malkin formation; 3 – Shijatmaz formation; 4 – Malkin Late Paleozoic granites; 5 – Jurassic sandstones; 6 – Late Proterozoic intrusions Khasaut diorite-diorite complex; 7 – traced discontinuous faults; 8 – suspected discontinuous faults; 9 – ore zones and deposits

Далее приводится попытка оценить, могут ли такие содержания в охарактеризованных выше условиях быть рентабельными при открытом способе разработки и использовании технологий кучного выщелачивания (КВ) в геолого-экономических условиях Северного Кавказа.

Для условий Северного Кавказа район с высотными отметками в пределах ММРУ 1200–1900 м является доступным. Через всю территорию рудного узла про-

ходит улучшенная грунтовая дорога, связывающая близлежащие села (Кичмалка, Хабаз, Каменостское) с отгонными пастбищами в районе г. Эльбрус. Ближайшей железнодорожной станцией является г. Кисловодск, расположенный в 40 км от ММРУ. Рельеф позволяет вести открытые горные работы.

Специальные геолого-экономические расчеты для подобных руд, но с более высокими содержаниями золота (2,0 г/т), проведены специалистами ЦНИГРИ для Учкуланского и Безенгийского золоторудных полей Северного Кавказа (табл. 1).

Таблица 1/ Table 1

**Браковочные кондиции для месторождений золота Северного-Кавказа /  
Rejection conditions for gold deposits in the North Caucasus region**

| Параметры /<br>parameters                                                                                   | Учкуланское<br>месторождение /<br>Uchkulanskoye deposit |                                               | Безенгийское<br>месторождение /<br>Bezengiyskoye deposit |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Прогнозные ресурсы<br>руды (млн т) / estimated<br>ore resources (million t)                                 | 40                                                      | 40                                            | 8,4                                                      |
| Прогнозные ресурсы<br>золота (т) / Forecast gold<br>resources (t)                                           | 80                                                      | 80                                            | 38                                                       |
| Годовая<br>производительность,<br>(тыс. т руды) / Annual<br>productivity, (thousand t.<br>of ore)           | 2500                                                    | 2500                                          | 600                                                      |
| Способ разработки / The<br>development method                                                               | Открытый / an<br>open                                   | Открытый / an open                            | Подземный / Underground                                  |
| Схема освоения / The<br>scheme of development                                                               | Автономный<br>ГОК, ЗИФ /<br>Autonomous<br>GOK, ZIF      | Автономный ГОК,<br>КВ / Autonomous<br>GOK, KV | Автономный ГОК, ЗИФ /<br>Autonomous GOK, ZIF             |
| Минимальное среднее<br>содержание Au по<br>месторождению /<br>Minimum average Au<br>content for the deposit | 1,97 г/т / g/t                                          | 1,61 г/т / g/t                                | 3,01 г/т / g/t                                           |

Примечание: ГОК – горно-обогатительный комбинат, ЗИФ – золотоизвлекательная фабрика;  
КВ – кучное выщелачивание /

Note: GOK – mining and processing plant, ZIF – gold extraction plant; KV – heap leaching

Безенгийское рудное поле следует исключить из рассмотрения в качестве геолого-экономического аналога орудению ММРУ, так как оно, хотя и локализовано в черносланцевых породах, является типичным представителем другого золото-серебряного формационного типа с весьма сложным минеральным составом руд. Учкуланское рудное поле (УРП), расположенное в Теберда-Кубанском рудном районе среднепалеозойской минерагенической зоны Передового хребта (Карачаево-Черкесская республика), имеет с ММРУ много общих черт (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

**Сравнительная характеристика основных обобщенных геолого-экономических показателей (ГЭП) золотого оруденения УРП и ММРУ / Comparative characteristics of the main generalized geological and economic indicators (GEO) of the URP and MMRU gold mineralization**

| ГЭП / GAP                                                                                            | УРП (по данным ЦНИГРИ) / URP (according to TSNIGRI)                                                                              | ММРУ (по данным автора) / MM RU (according to the author)                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Рудоносная формация / Ore-bearing formation                                                          | Базальтоидная / Basaltoid                                                                                                        | Черносланцевая / Chernoslantsevaya                                                                                               |
| Рудовмещающие породы / Ore-bearing rocks                                                             | Вулканогенные породы базальт-риолитовой формации / Volcanogenic rocks of the basalt-rhyolite formation                           | Углеродистые сланцы малкинской свиты / Carbonaceous shales of the Malkin formation                                               |
| Рудоконтролирующие структуры / Mining control structures                                             | Крутые и пологие зоны расланцевания / Steep and gentle areas of dancing                                                          | Крутые и пологие зоны смятия / Steep and gentle crumpling zones                                                                  |
| Морфология рудных тел / Morphology of ore bodies                                                     | Пластообразные залежи, крутопадающие зоны / Formation-like deposits, steeply falling zones                                       | Пластообразные залежи, крутопадающие зоны / Formation-like deposits, steeply falling zones                                       |
| Минерально-морфологический тип руд / Mineral and morphological type of ores                          | Малосульфидный прожилково-вкрапленный, частично со свободным золотом / Low-sulfide veined-interspersed, partially with free gold | Малосульфидный прожилково-вкрапленный, частично со свободным золотом / Low-sulfide veined-interspersed, partially with free gold |
| Главные рудные минералы / The main ore minerals                                                      | Золото, пирит, арсенопирит, халькопирит, сфалерит / Gold, pyrite, arsenopyrite, chalcopyrite, sphalerite                         | Золото, пирит, халькопирит, галенит, сфалерит / Gold, pyrite, chalcopyrite, galena, sphalerite                                   |
| Среднее содержание Au / Average Au Content                                                           | 2 г/т / 2 g/t                                                                                                                    | 0,7 – 1 г/т / 0,7 – 1,0 g/t                                                                                                      |
| Ожидаемые запасы золота, руды / Expected reserves of gold, ore                                       | 80 (100) т золота, 40 млн т руды / 80 (100) tons of gold, 40 million tons of ore                                                 | 80 т золота, 90 млн т руды / 80 tons of gold, 90 million tons of ore                                                             |
| Способ отработки, абсолютные отметки рельефа / The method of working out (the absolute relief marks) | Карьер, среднегорный (1600 м) / Quarry, medium mountain (1600 m)                                                                 | Карьер, среднегорный (1900 м) / Quarry, medium mountain (1900 m)                                                                 |
| Технология переработки руды / Ore processing technology                                              | Кучное выщелачивание / Heap leaching                                                                                             | Кучное выщелачивание / Heap leaching                                                                                             |
| Инфраструктура / Infrastructure                                                                      | Относительно развитая, охраняемые природные объекты отсутствуют / Relatively developed, there are no protected natural sites     | Относительно развитая, охраняемые природные объекты отсутствуют / Relatively developed, there are no protected natural sites     |

Сходство, физико-географические условия, а также практически одинаковые прогнозные ресурсы, позволяют оценить возможность применения для оруденения

ММРУ браковочных кондиций, рассчитанных для руд Учкулана. Приведенные в таблице 2 практически все основные геолого-экономические показатели двух сравниваемых объектов совпадают.

Самым главным и принципиальным несовпадением является среднее содержание золота в рудах, которое для ММРУ в два раза ниже, чем для Учкуланского объекта и составляет менее 1 г/т против 2 г/т, соответственно.

Тем не менее, расчеты показывают, что предельно минимальное среднее содержание золота в рудах УРП при прочих равных условиях определяется технологией извлечения [Беневольский и др., 2015]. Применение технологии кучного выщелачивания позволяет понизить его с 1,97 г/т (при обычной золотоизвлекательной технологии) до 1,61 г/т (см. табл. 1). Однако средние содержания Au в рудах изучаемого ММРУ ниже даже такого минимального значения.

Для адаптации расчетных значений браковочных кондиций к конкретным условиям была определена чувствительность браковочных кондиций к изменению технико-экономических показателей (рис. 2).

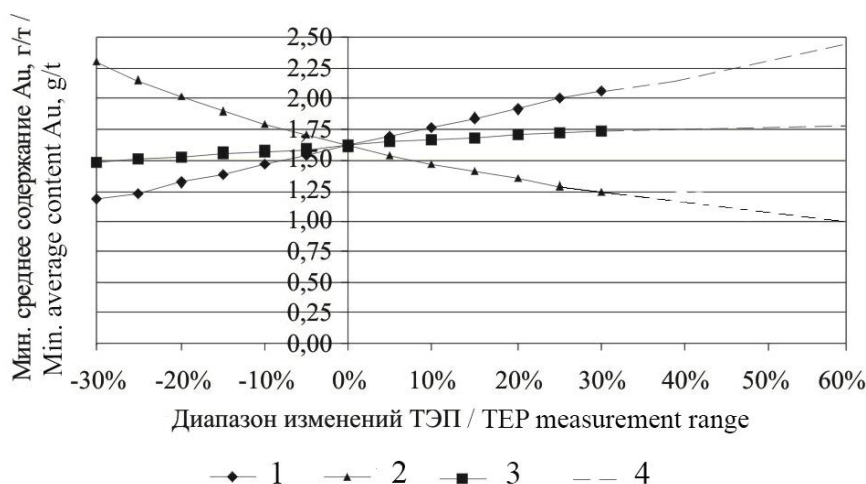


Рис. 2. Зависимость браковочных кондиций от изменения технико-экономических показателей (ТЭП) для золотого оруденения Учкуланского рудного поля при применении технологии кучного выщелачивания: 1 – себестоимость 1 т руды, 2 – цена единицы товарной продукции, 3 – инвестиции в строительство ГОКа, 4 – интерполяция возможного изменения ТЭП при росте цены на золото до 60 % /

Fig. 2. Dependence of rejection conditions on changes in technical and economic indicators (TEP) for gold mineralization of the Uchkulansky ore field when using heap leaching technology: 1 – cost of 1 ton of ore, 2 – unit price of commercial products, 3 – investments in the construction of GOK, 4 – interpolation of a possible change in TEP when the increase in the price of gold to 60 %

Как следует из приведенных лучевых диаграмм, наиболее существенное влияние на величину браковочных кондиций оказывают расчетная цена единицы товарной продукции (в нашем случае 1 г золота) и ожидаемая себестоимость добычи и переработки 1 т руды.

Последний параметр в части издержек производства имеет тесную корреляционную связь с годовой производительностью горно-обогатительного предприятия и, косвенно, – с запасами руды. Поэтому в сравниваемых моделях он остается одинаковым. А вот расчетная цена 1 г золота со времени проведенных расчетов по Учкуланскому объекту заметно изменилась. Тогда была использована средняя расчетная цена золота по состоянию на начало 2015 года, которая с учетом данных LBMA и LME составляла 39,3 \$/г. Нулевая линия ТЭП на рис. 2 соответствует

этой цене. По тем же данным по состоянию на начало 2023 г. средняя цена золота составила уже 58,4 \$US/г, что на 56,5 % выше. Такое возрастание цены, согласно интерполяции, снижает среднее содержание золота в браковочных кондициях как УРП, так ММРУ до 1,0–0,8 г/т. Однако заметно быстрее возрастает себестоимость добычи и переработки руды, что приводит к выполаживанию прогнозируемой линии тренда в сторону уменьшения содержания золота в руде. Если рост цен на золото продолжится более высокими темпами, то золотые руды ММРУ со средним содержанием золота около 1,0 г/т могут стать рентабельными для отработки с применением технологии кучного выщелачивания.

### Заключение

Активно обсуждаемые в последние годы возможности вовлечения в разработку нового типа золотоносных руд черносланцевой формации на Северном Кавказе ограничиваются крайне низкими содержаниями золота (менее 1,0 г/т) и трудностями его извлечения. Геолого-экономическое моделирование, выполненное для таких руд на примере хорошо изученных минерализаций Малка-Муштинского рудного узла, показало отсутствие экономической целесообразности отработки таких руд. Вместе с тем, результаты интерполяции вероятного изменения технико-экономических показателей при росте цены на золото указывают на возможность отработки таких руд в будущем за счет снижения порога рентабельности при содержаниях золота менее 1 г/т.

### Литература

1. Александрова Т.Н., Цыплаков В.Н., Ромашев О.А., Семенихин Д.Н. Удаление сорбционно-активных углеродистых веществ из упорных золотосульфидных руд и концентратов месторождения Майское. // Обогащение руд. – 2015. – № 4. – С. 3–7.
2. Беневольский Б.И., Михайлов Б.К., Иванов А.И., Вартанян С.С. Проблемы минерально-сырьевой базы золота России. // Руды и металлы. – 2015. – № 1. – С. 93–99.
3. Богуш И.А., Бурцев А.А., Рябов Г.В. Минералы благородных металлов и их источники на Северном Кавказе. // Наука Юга России. – 2017. – Т. 13. № 2. – С. 34–40. DOI: 10.23885/2500-0640-2017-13-2-34-40.
4. Быбочкин А.М. Комплексная геолого-экономическая оценка рудных месторождений. – М.: Недра, 1990. – 267 с.
5. Гончаров В.И., Богуш И.А., Бурцев А.А., Васьков И.М. Поисковые критерии и перспективы благородных металлов девонских черносланцевых толщ на Северном Кавказе. // Вестник Владикавказского научного центра. – 2007. – Т. 7. № 3. – С. 19–24.
6. Гурбанов А.Г., Кусраев А.Г., Докучаев А.Я., Газеев В.М., Лексин А.Б., Гурбанова О.А. Перспективы обнаружения благороднометалльного оруденения на территории республики Южная Осетия. // Вестник Владикавказского научного центра. – 2023. – Т. 23. № 2. – С. 54–70. DOI: 10.46698/VNC.2023.94.26.001.
7. Гурман М.А., Щербак Л.И., Александрова Т.Н. Флотационное обогащение бедной золото- и углеродсодержащей руды. // Горный журнал. – 2017. – № 2. – С. 70–74.
8. Курбанов Н.К., Арифлулов Ч.Х., Кучеровский П.Г., Романов В.И., Кукшев В.И., Вишневская Н.А., Зверева Е.А. Геолого-генетические модели золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах. // Руды и металлы. – 1994. – № 2. – С. 55–69.
9. Курбанов М.М., Богуш И.А., Бурцев А.А. Геохимические особенности золотонесущего сульфидного оруденения семейства черносланцевых фомаций в горном Дагестане. // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2011. – № 5 (163). – С. 106–109.

10. Михайлов Б.К., Седельникова Г.В., Беневольский Б.И., Романчук А.И. Инновационные технологии переработки упорных и бедных руд золота как основа рационального недропользования. // Руды и металлы. – 2014. – № 1. – С. 5–8.
11. Парада С.Г. Потенциально золотоносные минерализации в углеродистых породах Малка-Муштинского рудного узла (Северный Кавказ). // Геология и геофизика Юга России. – 2022. – Т. 12. № 4. – С. 129–141. DOI: 10.46698/VNC.2022.58.17.010.
12. Парада С.Г. Золотоносные и потенциально золотоносные минерализации в черносланцевой толще Арсикомского рудного поля (Северный Кавказ). // Геология и геофизика Юга России. – 2024. – Т. 14. № 2. – С. 131–142. DOI: 10.46698/VNC.2024.57.92.010.
13. Потапенко Ю.Я. Бечасынская зона. Бечасынский метаморфический комплекс. / Петрология метаморфических комплексов Большого Кавказа. М.: Наука, 1991. – С. 9–18.
14. Прогнозирование и поиски месторождений золота. / Под редакцией Н.К. Курбанов, В.А. Нарсеев. М.: ЦНИГРИ, 1989. – 236 с.
15. Санакулов К.С., Мустакимов О.М., Эргашев У.А., Ахатов Н.А. О целесообразности применения комбинированных технологий для переработки особо упорных золотосульфидных руд. // Цветные металлы. – 2016. – № 2. – С. 9–14.
16. Черкашин В.И., Богуш И.А., Рябов Г.В., Исаева Н.А. Металлогеническая модель благородных металлов фанерозоя Северного Кавказа. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2022. – Т.91. № 4. – С. 4–9.
17. Шишкалов И.Ю. Условия локализации и генезис золотоносных минерализаций Малка-Муштинского рудного узла (Северный Кавказ). // Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий. – 2017. – № 5. – С. 193–200.
18. Dunn J.G., Graham J., Linge H.G. The treatment of refractory gold ore. // Chemistry in Australia. – 1989. – Vol. 56. – pp. 401–404.
19. Gurbanov A.G., Bogatkov O.A., Leksin A.B., Gazeev V.M., Gurbanova O.A., Lolaev A.B., Ilaev V.E. First data on variations in the contents of macro- and microelements and precious metals in vertical sections in industrial wastes of the Fiagdon tailing dump (Republic of North Ossetia–Alania). // Doklady Earth Sciences. – 2019. – Vol. 487. No. 1. – pp. 782–785. DOI: 10.1134/S1028334X1907002X.
20. Hausen D.M., Bucknam C.H. Study of preg robbing in the cyanidation of carbonaceous gold ores from Carlin, Nevada. // Applied Mineralogy. – 1984. – pp. 833–856.
21. Karthikeyan O.P., Rajasekar A., Balasubramanian R. Bio-oxidation and biocyanidation of refractory mineral ores for gold extraction: a review. // Critical Reviews in Environmental Science and Technology. – 2015. – Vol. 45. No. 15. – pp. 1611–1643.
22. Mossman D.J. Carbonaceous substances in mineral deposits: implications for geochemical exploration. // Journal of Geochemical Exploration. – 1999. – Vol. 66. No. 1–2. – pp. 241–247.

## References

1. Aleksandrova T.N., Tsiplakov V.N., Romashev A.O., Semenikhin D.N. Removal of sorption-active carboniferous components from difficultly-treated gold sulfide ores and concentrates of the Mayskoye deposit. *Obogashchenie Rud*. 2015. No. 4. pp. 3–7. (In Russ.)
2. Benevolsky B.I., Mikhailov B.K., Ivanov A.I., Vartanyan S.S. Problems of the mineral resource base of gold in Russia. *Ores and Metals*. 2015. No. 1. pp. 93–99. (In Russ.)
3. Bogush I.A., Burtsev A.A., Ryabov G.V. Minerals and sources of precious metals in the North Caucasus. *Science in the South of Russia*. 2017. Vol. 13 No. 2. pp. 34–40. DOI: 10.23885/2500-0640-2017-13-2-34-40. (In Russ.)
4. Bybochkin A.M. Integrated geological and economic assessment of ore deposits. Moscow. Nedra. 1990. 267 p. (In Russ.)
5. Goncharov V.I., Bogush I.A., Burtsev A.A., Vaskov I.M. Search criteria and prospects for noble metals of the Devonian black shale strata in the North Caucasus. *Bulletin of the Vladikavkaz Scientific Center*. 2007. Vol. 7. No. 3. pp. 19–24. (In Russ.)

6. Gurbanov A.G., Kusraev A.G., Dokuchaev A.Y., Gazeev V.M., Leksin A.B., Gurbanova O.A. Prospects for discovering noble metal mineralization on the territory of the Republic of South Ossetia. *Bulletin of the Vladikavkaz Scientific Center*. 2023. Vol. 23. No. 2. pp. 54–70. DOI: 10.46698/VNC.2023.94.26.001. (In Russ.)
7. Gurman M.A., Scherbak L.I., Aleksandrova T.N. Flotation enrichment of poor gold- and carbon-containing ore. *Mining Journal*. 2017. No. 2. pp. 70–74. (In Russ.)
8. Kurbanov N.K., Arifulov Ch.H., Kucherevski P.G., Romanov V.I., Kukshev V.I., Vishnevskaya N.A., Zvereva E.A. Geological-genetic models of gold deposits in carbonaceous terrigenous complexes. *Ores and Metals*. 1994. No. 2. pp. 55–69. (In Russ.)
9. Kurbanov M.M., Bogush I.A., Burtsev A.A. Geochemical features of gold-bearing sulfide mineralization of the family of black shale formations in mountainous Dagestan. In: *Proceedings of higher educational institutions. North Caucasian region. Technical science*. 2011. No. 5(163). pp. 106–109. (In Russ.)
10. Mikhailov B.K., Sedelnikova G.V., Benevolsky B.I., Romanchuk A.I. Innovation technologies of gold refractory and low grade ores processing as basis of rational mineral resources using. *Ores and Metals*. 2014. No. 1. pp. 5–8. (In Russ.)
11. Parada S.G. Potentially gold-bearing mineralizations in carbonaceous rocks of the Malka-Mushta Ore node (North Caucasus). *Geology and Geophysics of Russian South*. 2022. Vol. 12. No. 4. pp. 129–141. DOI: 10.46698/VNC.2022.58.17.010. (In Russ.)
12. Parada S.G. Gold-bearing and potentially gold-bearing mineralizations in the Black Shale thickness of the Arsikom ore field (North Caucasus). *Geology and Geophysics of Russian South*. 2024. Vol. 14. No. 2. pp. 131–142. DOI: 10.46698/VNC.2024.57.92.010. (In Russ.)
13. Potapenko Yu.Ya. Bechasyn zone. Bechasy metamorphic complex. In: *Petrology of metamorphic complexes of the Greater Caucasus*. Moscow. Nauka. 1991. pp. 9–18. (In Russ.)
14. Forecasting and prospecting of gold deposits. Eds. N.K. Kurbanov, V.A. Narseev. Moscow. TsNIGRI. 1989. 236 p. (In Russ.)
15. Sanakulov K.S., Mustakimov O.M., Ergashev U.A., Akhatov N.A. On the feasibility of combined technologies for the processing of very refractory gold-sulfide ores. *Non-Ferrous Metals*. 2016. No. 2. pp. 9–14. (In Russ.)
16. Cherkashin V.I., Bogush I.A., Ryabov G.V., Isaeva N.A. Metallogenic model of Phanerozoic noble metals of the Northern Caucasus. *Proceedings of the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2022. Vol. 91. No. 4. pp. 4–9. (In Russ.)
17. Shishkalov I.Yu. Localization conditions and genesis of gold-bearing mineralizations of the Malka-Mushta ore cluster (North Caucasus). *Geology, geoecology and resource potential of the Urals and adjacent territories*. 2017. No. 5. pp. 193–200. (In Russ.)
18. Dunn J.G., Graham J., Linge H.G. The treatment of refractory gold ore. *Chemistry in Australia*. 1989. Vol. 56. pp. 401–404.
19. Gurbanov A.G., Bogatkov O.A., Leksin A.B., Gazeev V.M., Gurbanova O.A., Lolaev A.B., Ilaev V.E. First data on variations in the contents of macro- and microelements and precious metals in vertical sections in industrial wastes of the Fiagdon tailing dump (Republic of North Ossetia–Alania). *Doklady Earth Sciences*. 2019. Vol. 487. No. 1. pp. 782–785. DOI: 10.1134/S1028334X1907002X.
20. Hausen D.M., Bucknam C.H. Study of preg-robbing in the cyanidation of carbonaceous gold ores from Carlin, Nevada. *Applied Mineralogy*. 1984. pp. 833–856.
21. Karthikeyan O.P., Rajasekar A., Balasubramanian R. Bio-oxidation and biocyanidation of refractory mineral ores for gold extraction: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2015. Vol. 45. No. 15. pp. 1611–1643.
22. Mossman D.J. Carbonaceous substances in mineral deposits: implications for geochemical exploration. *Journal of Geochemical Exploration*. 1999. Vol. 66. No. 1–2. pp. 241–247.