

---

---

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА  
ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

---

---

УДК 550.8.011:553.041 (470.62)

[DOI: 10.46698/VNC.2022.39.85.008](https://doi.org/10.46698/VNC.2022.39.85.008)

Оригинальная статья

## Оценка потенциальной золотоносности Тырныаузского рудного узла на основе дистанционных геофизических данных (Северный Кавказ)

**С. Г. Парада** 

Федеральный исследовательский центр «Южный научный центр Российской академии наук», Россия, 344005, Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: maurmar@yandex.ru;  
Геофизический институт Владикавказского научного центра российской академии наук.  
Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а,  
e-mail: segripa@rambler.ru.

*Статья поступила: 21.01.2022, доработана: 27.02.2022, одобрена в печать: 02.03.2022*

**Резюме.** **Актуальность** темы предлагаемой статьи определяется необходимостью создания научно-методических основ разработки новых экологически безопасных методов и технологий дистанционной оценки потенциальной золотоносности рудоносных территорий по геофизическим данным. Выявленные в последние годы золотоносные рудопроявления в пределах Тырныаузского рудного узла обладают признаками промышленно значимых объектов. В связи с чем предполагается возможность переоценить минерагенический потенциал тырныаузского и других неоген-четвертичных интрузивных комплексов центральной части Большого Кавказа на основе использованной в данном случае металлогенической концепции золоторудных систем. **Цель исследования.** Исследование особенностей отображения в потенциальных полях редкометалльных и золоторудных месторождений и рудопоявлений Тырныаузского рудного узла (Северный Кавказ). **Материалы и методы работы.** Сопоставительный анализ геологического строения, металлогенической нагрузки и трансформант потенциальных полей, полученных по геофизическим данным, представленным в виде цифровых моделей полей аэромагниторазведки и гравиразведки к комплексу карт геофизической основы Геологической карты Российской Федерации масштаба 1:1000000 по листу К-38,39. По этим данным для исследуемой территории построены карты локальных аномалий гравитационного и магнитного полей, выделенных на основе анализа амплитудных характеристик и отражающих распределение плотностных и магнитных характеристик горных пород. **Результаты работы.** Показано, что золоторудный потенциал рудно-магматических систем определяется возможностью взаимодействия гранитоидной магмы с обогащенным золотом субстратом. В этом качестве могут выступать основные и ультраосновные породы и (или) магмы, а также углеродисто-терригенные толщи с повышенным кларком Au. Области такого взаимодействия выявляются при анализе гравиметрических и магнитометрических карт. Установлено, что золоторудные проявления Тырныаузского рудного узла располагаются там, где в пределах гравитационного минимума фиксируются аномально повышенные значения магнитного поля. Редкометалльное месторождение и рудопоявления располагаются за пределами положительных магнитных аномалий. Это дает ключ к оценке перспектив золотоносности рудно-магматических систем Северного Кавказа на основе дистанционных геофизических данных.

**Ключевые слова:** золото, вольфрам, молибден, рудопоявления, дистанционные методы, потенциальные поля, геофизические аномалии.

**Благодарности:** Статья подготовлена в рамках государственного задания на научно-исследовательские работы Геофизического института ВНЦ РАН и Южного научного центра РАН, № государственной регистрации 122020100345-8.

**Для цитирования:** Парада С. Г. Оценка потенциальной золотоносности Тырныаузского рудного узла на основе дистанционных геофизических данных (Северный Кавказ). *Геология и геофизика Юга России*. 2022. 12 (1): 109–118. DOI: 10.46698/VNC.2022.39.85.008.

===== GEOLOGY, PROSPECTING AND EXPLORATION =====  
OF SOLID MINERALS, MINERAGENCY

[DOI: 10.46698/VNC.2022.39.85.008](https://doi.org/10.46698/VNC.2022.39.85.008)

Original paper

## Assessment of the potential gold content of the Tyrnyauz ore node based on remote geophysical data (North Caucasus)

**S.G. Parada** 

Federal State Budget Institution of Science “Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences”, 41 Chekhov Ave., Rostov-on-Don 344006, Russian Federation, e-mail: maurmar@yandex.ru;

Geophysical Institute of the Vladikavkaz Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, 93a Markova Str., Vladikavkaz 362002, Russian Federation, e-mail: segripa@rambler.ru.

*Received: 21.01.2022, revised: 27.02.2022, accepted: 02.03.2022*

**Abstract:** The relevance of the topic of the proposed article is determined by the need to create scientific and methodological foundations for the development of new environmentally safe methods and technologies for remote assessment of the potential gold content of ore-bearing territories based on geophysical data. The gold-bearing ore occurrences identified in recent years within the Tyrnyauz ore node have signs of industrially significant objects. In this connection, it is assumed that it is possible to overestimate the minerogenic potential of the Tyrnyauz and other Neogene-Quaternary intrusive complexes of the central part of the Greater Caucasus on the basis of the metallogenic concept of gold ore systems used in this case. **Aim.** Investigation of the features of mapping in potential fields of rare-metal and gold deposits and ore occurrences of the Tyrnyauz ore node (North Caucasus). **Materials and methods.** Comparative analysis of the geological structure, metallogenic load and transformant potential fields obtained from geophysical data presented in the form of digital models of aeromagnetization and gravity exploration fields to a set of maps of the geophysical basis of the Geological Map of the Russian Federation scale 1:1,000,000 on sheet K-38.39. Based on these data, maps of local anomalies of gravitational and magnetic fields were constructed for the studied area, isolated based on the analysis of amplitude characteristics and reflecting the distribution of density and magnetic characteristics of rocks. **Results.** It is shown that the gold-ore potential of ore-magmatic systems is determined by the possibility of interaction of granitoid magma with a gold-enriched substrate. Basic and ultrabasic rocks and (or) magmas, as well as carbon-terrigenous strata with an increased Au clark can act in this capacity. The areas of such interaction are revealed by analyzing gravimetric and magnetometric maps. It is established that the gold-ore manifestations of the Tyrnyauz ore node are located where abnormally elevated values of the magnetic field are recorded within the gravitational minimum. The rare metal deposit and ore occurrences are located outside the positive magnetic anomalies. This provides a key to assessing the prospects for the gold content of ore-magmatic systems of the North Caucasus on the basis of remote geophysical data.

**Keywords:** gold, tungsten, molybdenum, ore occurrences, remote methods, potential fields, geophysical anomalies.

**Acknowledgement:** The article was prepared as part of the state assignment for research work of the Geophysical Institute of the Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences and of the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, State registration № 122020100345-8.

**For citation:** Parada S.G. Assessment of the potential gold content of the Tyrnyauz ore node based on remote geophysical data (North Caucasus). *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2022. 12 (1): 109–118. DOI: 10.46698/VNC.2022.39.85.008.

## Введение

Металлогения Тырныаузской рудно-магматической системы до последнего времени предполагала W-Mo-Sn-Cu – специализацию. Действительно, с гранитоидами Тырныаузского интрузивного комплекса связано крупное молибден-вольфрамовое месторождение Тырныауз. Оно открыто в 1940 году и с тех пор эксплуатировалось и изучалось до 2001 г. Из молибден-вольфрамовых руд попутно извлекались W и Cu. Извлечено также более 24 тонн золота при его среднем содержании 0,101 г/т. Считалось, что золото лишь сопутствует Mo-W рудам и поэтому в качестве объекта поисков, представляющего самостоятельный интерес, не рассматривалось. В период эксплуатации Тырныаузского месторождения и после не прекращались попытки найти более богатые Mo-W руды. При этом проводились дополнительные анализы отдельных проб на наличие в них золота и др. рудных элементов. В связи с этим поисковая изученность рудного узла и его окрестностей, в том числе на золото, считалась весьма высокой. Тем не менее, как оказалось, перспективные золоторудные объекты были пропущены.

С одной стороны предлагается разработка и внедрение новых более эффективных технологий добычи и переработки традиционных для региона редкометаллических и полиметаллических руд [Дребенштедт и др., 2018], с другой – переоценка известных рудных районов на наличие высоколиквидных руд золота и поиски новых золоторудных объектов на не исследованных ранее территориях [Иванов и др., 2018]. В последнем случае имеется возможность предварительной оценки потенциальной золотоносности территорий на основе дистанционных геофизических методов, которые являются эффективным средством минимизации ущерба окружающей среде при проведении геологоразведочных работ в условиях горных территорий [Серокуров, 2011; Masoumi et al., 2017; Керимов, 2021]. Обобщение опыта использования дистанционных геофизических данных при выполнении работ в пределах перспективных на золото горных территорий и конкретные примеры приведены в многочисленных отечественных и зарубежных публикациях [Заалишвили и др., 2015; Guangxi et al., 2016; Kerr et al., 2016; Ma Xiao-lei et al., 2016; Калмыков и др., 2017].

**Цель исследования.** Разработка научно-методической основы экологически безопасной дистанционной оценки потенциальной золотоносности горных территорий на примере Тырныаузского рудного узла (Северный Кавказ).

## Методы исследования

Сопоставительный анализ геологического строения, металлогенической нагрузки и трансформант потенциальных полей, полученных по геофизическим данным, представленным в виде цифровых моделей полей аэромагниторазведки и гравиразведки к комплексу карт геофизической основы Геологической карты Российской Федерации масштаба 1:1 000 000 по листу К-38,39 (Махачкала), раз-

работанных в ВИРГ-Рудгеофизика им. А. А. Логачева МПР РФ, Санкт-Петербург, 2002 г. По этим данным для исследуемой территории построены карты локальных аномалий гравитационного и магнитного полей, выделенных на основе анализа амплитудных характеристик и отражающих распределение плотностных и магнитных характеристик горных пород.

### Результаты работы и их обсуждение

По результатам поисковых работ, осуществленных в 2010-2011 гг. при непосредственном руководстве Парады С. Г. выявлены кондиционные рудопроявления золота, обнаруживающие генетическую связь с тырныузским неоген-четвертичным интрузивным комплексом [Носова и др., 2008; Бубнов и др., 2011], осуществлены их геологическая, минералогическая и геохимическая интерпретации, оценены прогнозные ресурсы золота, объем которых соответствует крупному золоторудному объекту. Показано, что золотое оруденение относится к золото-порфировому типу (по Р. Силито [Sillitoe, 2010]) [Parada et al., 2017]. Выявление золотоносных проявлений в Тырныузском рудном узле, обладающих признаками промышленно значимых объектов, предоставляет возможность переоценить минерагенический потенциал тырныузского и других неоген-четвертичных интрузивных комплексов центральной части Большого Кавказа на основе использованной в данном случае металлогенической концепции золоторудных систем, основные положения которой изложены в [Eirish, 2010]. В соответствии с данной концепцией золоторудный потенциал рудно-магматических систем определяется возможностью взаимодействия гранитоидной магмы с обогащенным золотом субстратом. В этом качестве могут выступать основные и ультраосновные породы и (или) магмы, а также углеродисто-терригенные толщи с повышенным кларком Au. Области такого взаимодействия выявляются при анализе гравиметрических и магнитометрических карт. Возможности применения названной концепции с использованием дистанционных геофизических данных для оценки потенциальной золотоносности рудно-магматических систем обоснованы в [Hart, 2007; Anderson et al., 2016; Носырев, 2016; Root et al., 2017; Парада, 2021]. Ниже приводятся результаты такой оценки для горных территорий Большого Кавказа на примере Тырныузского рудного узла.

На рисунке 1 показано положение Тырныузского Mo-W месторождения и рудопроявлений различных металлов в пределах Тырныузского рудного узла относительно гравитационного минимума и неоднородностей аномального магнитного поля. Гравитационный минимум связан с очагом неоген-четвертичного кислого магматизма, фиксируемого на поверхности наличием даек и штоков лейкократовых гранитов, массива эльджуртинских биотитовых гранитов, некков липаритов, а также обширным ареалом ороговикования и различных метасоматических изменений палеозойских осадочно-вулканогенных пород.

По северной и северо-восточной периферии гравитационного минимума располагаются крупное Mo-W месторождение Тырныуз и рудопроявления таких элементов как W, Mo, Sn, Au, Pb, Zn, Sb. Особенности пространственного распределения в пределах месторождений и рудопроявлений этих элементов в Тырныузском рудном узле соответствуют классической рудной зональности магматогенно-рудной системы. Очевидно, что тырныузская магматогенно-рудная система обладает признаками классической порфировой модели по R. Sillitoe [Sillitoe, 2010], а также соответствует глубинной геофизической модели, охарактеризованной в работе [Spichak et al., 2017].

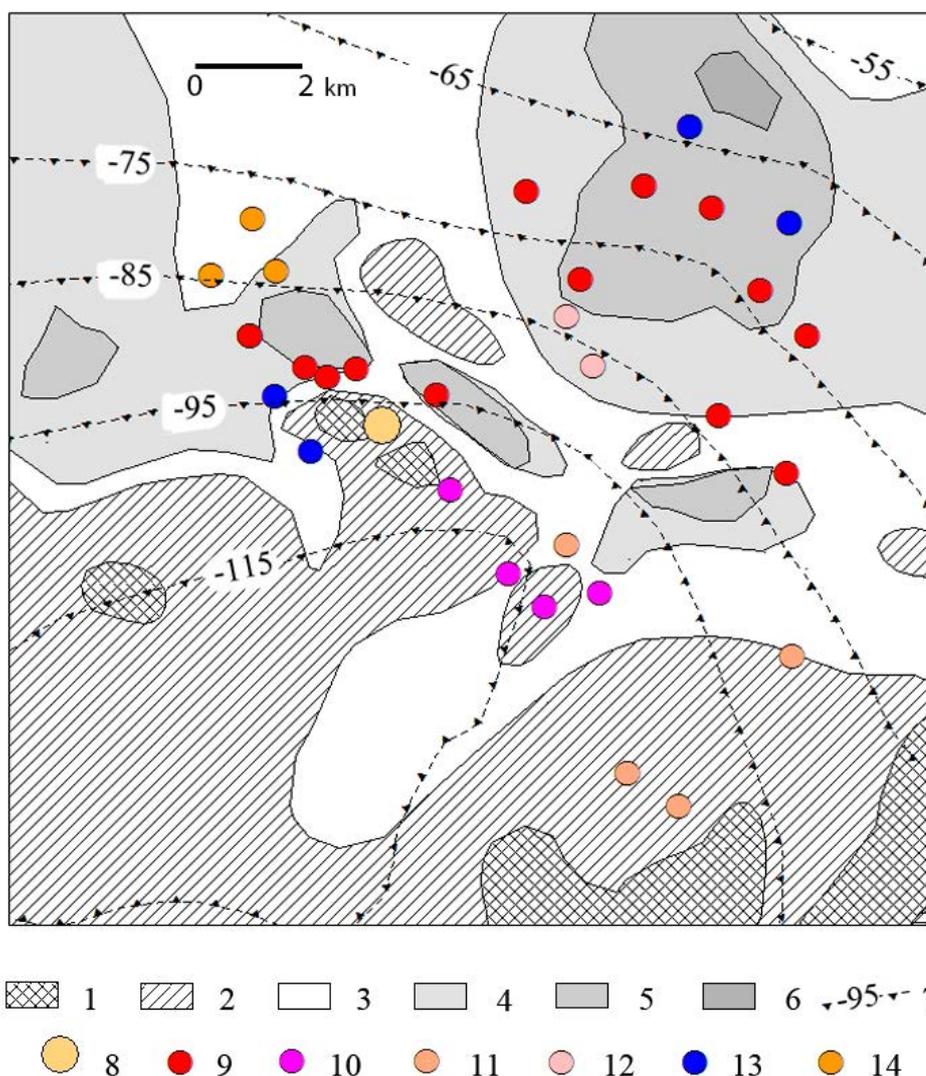


Рис. 1. Расположение месторождений и рудопоявлений Тырнаузского рудного узла (8–14) относительно неоднородностей магнитного (1–6) и гравитационного (7) полей. 1–6 – аномалии магнитного поля ( $\Delta T$ ), нТл;

1 –  $< -50$ ; 2 –  $-50 \div 0$ ; 3 –  $0 \div +50$ ; 4 –  $+50 \div +100$ ; 5 –  $100 \div 200$ ; 6 –  $> 200$ ;

7 – изоаномалы гравитационного поля ( $\Delta g$ ), мГл; 8 – Mo-W месторождение Тырнауз; 9–14 – рудопоявления: 9 – золота, 10 – олова, 11 – вольфрама, 12 – молибдена, 13 – свинца, 14 – сурьмы /

Fig. 1. Distribution of deposits and ore mineralization of the Tyrnyauz ore node (8–14) relatively to inhomogeneities of magnetic (1 – 6) and gravitation (7) fields. 6 – anomalies of magnetic field ( $\Delta T$ ), nTl: 1 –  $< -50$ , 2 –  $-50 \div 0$ , 3 –  $0 \div +50$ , 4 –  $+50 \div +100$ , 5 –  $100 \div 200$ , 6 –  $> 200$ , 7 – isoanomalies of gravitation field ( $\Delta g$ ), mGl; 8 – Mo-W deposit Tyrnyauz; 9–14 – ore mineralization of: 9 – gold, 10 – tin, 11 – tungsten, 12 – molybdenum, 13 – lead, 14 – antimony

Однако самородное золото не вписывается в указанную зональность. Оно обнаруживается в гранатовых и пироксен-гранатовых скарнах Зыгыркольской зоны Северного фланга Тырнаузского рудного узла. В этих скарнах отсутствуют шеелит, молибдошеелит и молибденит. Такие золотоносные скарны расположены севернее продуктивных на вольфрам и молибден скарнов. В золотоносных и вольфрамоносных скарнах иногда отмечается наложенная гидротермальная минерализация. Последовательность выделения и температуры образования рудных минералов показаны на рисунке 2.

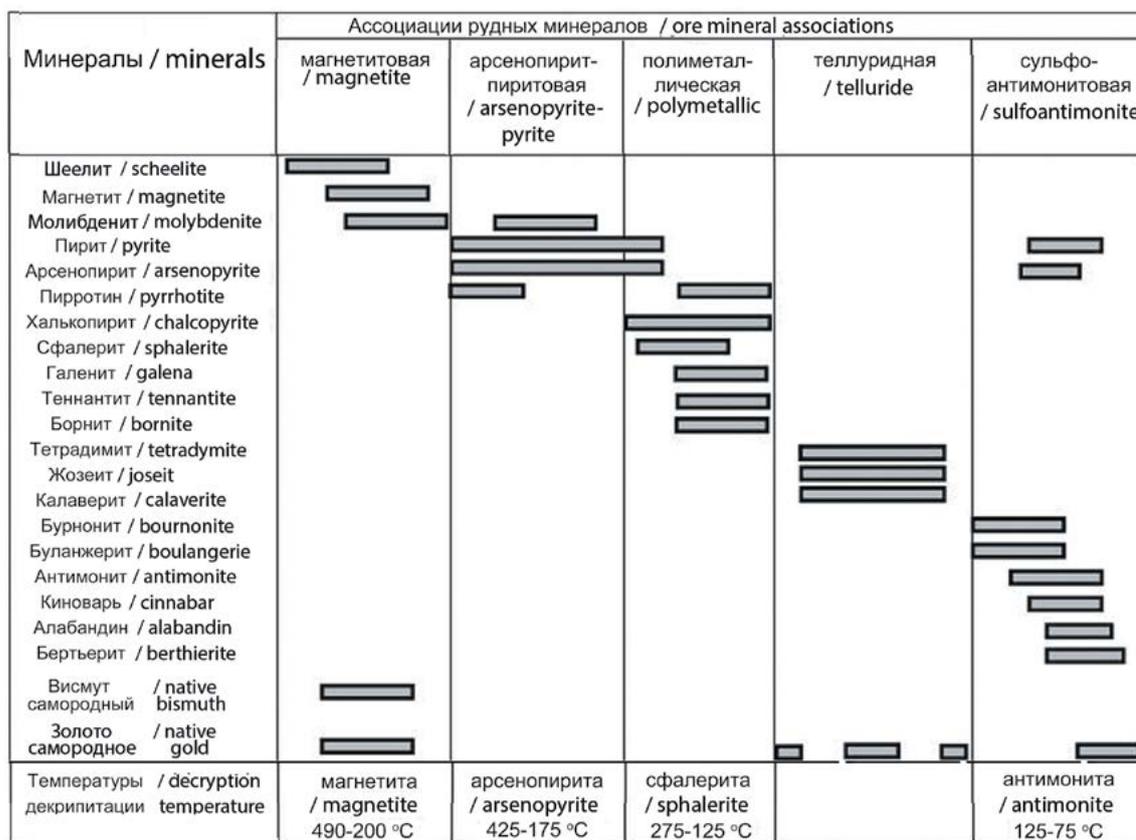


Рис. 2. Последовательность и температурные интервалы отложения главных минералов в рудоносных метасоматитах Тырныаузского рудного узла/  
Fig. 2. Sequence and temperature intervals of deposition of main minerals in ore-bearing metasomatites of the Tyrnyauz ore node

Согласно рисунку 2 самородное золото в скарнах Северного фланга Тырныаузского рудного узла отложилось в раннюю магнетитовую стадию, одновременно с отложением шеелита в продуктивных на вольфрам и молибден скарнах Центральной части рудного узла.

По данным мелкомасштабной магнитной съемки, согласно рисунку 1, эпицентр гравитационного минимума представлен салическим субстратом, обладающим слабой магнитностью. Именно поэтому к области слабой магнитности приурочены месторождения и рудопроявления вольфрама, молибдена и олова. Выявленные нами золоторудные проявления, наоборот, располагаются в областях с локально повышенным уровнем магнитного поля, фиксирующим на глубине наличие основных пород. Это согласуется с известными данными о том, что небольшие гранитоидные интрузивы содержат в дополнение к медно-молибден-порфировым ассоциациям, лишённые меди золото-серебряные и золотые руды, там, где отмечаются вулканы основного состава [Sillitoe, 2010]. Таким образом, в соответствии с изложенной выше концепцией, можно предположить, что формирование редкометалльного или золотого оруденения определяется тем, с каким субстратом в данном месте взаимодействовала кислая магма или отделяющиеся от нее пневматолито-гидротермальные растворы.

Петролого-геохимическими исследованиями [Гурбанов и др., 1992] подтверждено, что образование гранитоидов, соответствующих по составу эльджуртинскому граниту, могло осуществиться за счет фракционирования андезитового расплава в

субвулканических условиях. Геохимическое моделирование показало, что это могли быть трахиандезиты, аналогичные таковым Эльбрусской вулканической области. При этом состав кумулата плагиоклаз-амфибол-ортопироксенового состава, равновесного с гранитным расплавом, позволяет оценить условия фракционирования как водонасыщенные, при давлении 5 кбар на глубине 16 км. Все это соответствует изложенной выше концепции магматогенной золоторудной системы.

Таким образом, геофизические данные позволяют обнаружить области глубинного взаимодействия кислых магм с фемическим субстратом, что может приводить к экстракции золота и обогащению им определенных порций пневматолитово-гидротермальных магматогенных растворов. Предполагается, что Тырныаузская рудно-магматическая система формировалась в условиях взаимодействия кислых магм в основном с салическим и частично с фемическим субстратом. Именно последнее обстоятельство, согласно изложенной выше концепции, способствовало формированию золотого оруденения в определенной части рудно-магматической системы.

Подобный анализ может быть применен для оценки перспектив золотоносности Сонгутидонской, Танадонской, Теплинской и др. неоматических систем Северного Кавказа, в пределах которых известны рудопроявления медно-молибден-порфирового типа.

### Выводы

1. Предложен вариант минимизации ущерба окружающей среде при проведении геологоразведочных работ на рудное золото в пределах горных территорий.

2. Установлено, что золоторудный потенциал рудно-магматических систем определяется возможностью взаимодействия гранитоидной магмы с обогащенным золотом субстратом, в качестве которого могут выступать основные и ультраосновные породы и (или) магмы, а также участки углеродисто-терригенных (черносланцевых) толщ с повышенными содержаниями золота. Области такого взаимодействия установлены в пределах Тырныаузского рудного узла. Они располагаются там, где в пределах гравитационного минимума, связанного с гранитоидными интрузиями, фиксируются аномально повышенные значения магнитного поля, связанные с локальными участками распространения основных пород, и пространственно совпадают с золотоносными участками.

3. Целевая обработка данных дистанционных геофизических съемок позволяет обнаружить области глубинного взаимодействия кислых магм с фемическим субстратом, что является главной предпосылкой золотоносности рудно-магматических систем, так как может приводить к экстракции золота из фемических пород и обогащению им определенных порций пневматолитово-гидротермальных магматогенных растворов.

4. Полученные результаты дают ключ к экологически безопасной дистанционной оценке перспектив золотоносности рудно-магматических систем горных территорий на основе анализа данных дистанционных геофизических съемок.

### Литература

1. Бубнов С.Н., Докучаев А.Я., Гольцман Ю.В. N-Q магматизм Большого Кавказа: геодинамическая позиция, геохимическая и металлогеническая специализация, источники расплавов. // Труды института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2011. – № 57. – С. 73-75.

2. Гурбанов А. Г., Богина М. М., Польш И. Биотиты как индикаторы условий становления плиоценовых гранитов Большого Кавказа. // Изв. АН СССР. Серия геол. – 1992. – № 11. – С. 147-153.
3. Дребенштедт К., Голик В. И., Дмитрак Ю. В. Перспективы диверсификации технологии добычи металлов в РСО-Алания. // Устойчивое развитие горных территорий. – 2018. – Т. 10. № 1 (35). – С. 125-131. DOI: 10.21177/1998-4502-2018-10-1-125-131.
4. Заалишвили В. Б., Чотчаев Х. О., Невский Л. Н., Ольховский Г. П., Тибиллов С. М., Гогичев Р. Р. Оптимизация геофизических и геохимических критериев поисков месторождений известных рудных формаций горной части республики Северная Осетия-Алания. // Геология и геофизика Юга России. – 2015. – № 3. – С. 28-62.
5. Иванов А. И., Черных А. И., Варганян С. С. Состояние, перспективы развития и освоения минерально-сырьевой базы золота в Российской Федерации. // Отечественная геология. – 2018. – № 1. – С. 18-28.
6. Калмыков Б. А., Левин Ф. Д., Трусов А. А. Возможности современных аэрогеофизических методов при прогнозировании и поисках золоторудных месторождений. // Золото и технологии. – 2017. – № 2. – С. 76-82.
7. Керимов И. А. Гравитационные аномалии, разломная тектоника и сейсмичность Терско-Каспийского прогиба. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. № 4. – С. 30-42. DOI: 10.46698/VNC.2021.20.28.003
8. Носова А. А., Докучаев А. Я., Дубинина Е. О., Гурбанов А. Г., Авдеенко А. С., Орлов Б. Ю., Наркисова В. В., Тарханов Г. В. Три типа рудно-магматических систем позднеколлизийных неогеновых гранитоидов Кавказа: изотопно-геохимические особенности гранитоидов и состав коровых протолитов. // Проблемы геологии рудных месторождений, минералогии, петрологии и геохимии. – М.: ИГЕМ РАН, 2008. – С. 152-156.
9. Носырев М. Ю. Геофизические характеристики Бамского золоторудного месторождения (Верхнее Приамурье) и их использование при прогнозировании и поисках месторождений золота. // Тихоокеанская геология. – 2016. – Т. 35. № 6. – С. 69-80.
10. Парада С. Г. Рудно-магматические системы медно-порфирирового типа Большого Кавказа. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. № 3. – С. 129-147. DOI: 10.46698/VNC.2021.73.74.011
11. Серокуров Ю. Н. Дистанционный прогноз руд в России – проблемы и перспективы. // Отечественная геология. – 2011. – № 4. – С. 3-10.
12. Anderson P. E., Cooper M. R., Stevenson C. T., Hastie A. R. Zonation of the Newry Igneous Complex, Northern Ireland, based on geochemical and geophysical data. // Lithos. – 2016. – Vol. 260. – pp. 95-106. DOI: 10.1016/j.lithos.2016.05.011
13. Eirish L. V. Factors determining origination of gold ore systems in the Russian Far East. // *Geology of Ore Deposits*. – 2009. – Vol. 51. No. 3. – pp. 223-232. DOI: 10.1134/S1075701509030040
14. Guangxi Zhiou Yequan, Pang Baocheng, Li Yuanqiang, Lit Jiawen The metallogenic regularities and metallogenic prognosis for the Xinping gold deposit in Pingnan County. // *Geoscience*. – 2016. – Vol. 30. No. 4. – pp. 770-780.
15. Hart C. J. R. Reduced intrusion-related gold systems. // *Mineral deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division. Spec. Publ.* – 2007. – No. 5. – pp. 95-112.
16. Kerr Andrew C., Lavis Owain, Kakar M. Ishaq, McDonald Iain. Petrogenesis and tectonomagmatic significance of Eocene mafic intrusions from the Neotethyan suture zone in the Muslim Bagh-Khanozai region. Pakistan. // *J. Geol. Soc.* – 2016. – Vol. 173. No. 3. – pp. 518-530. DOI: 10.1144/jgs2015-119
17. Masoumi F., Eslamkish T., Honarmand M., Abkar A. A. A Comparative Study of Landsat-7 and Landsat-8 Data Using Image Processing Methods for Hydrothermal Alteration Mapping. // *Resour. Geol.* – 2017. – Vol. 67. No. 1. – pp. 72-88. DOI: 10.1111/rge.121198

18. Ma Xiao-lei, Yuan Bing-qiang, Xu Wen-qiang, Song IJ-jun Dizhi Yu Kantan. The relationship between features of gravity and magnetic field and sandstone-type uranium deposits in the south of Ordos basin. // *Geol. and Prospecting*. – 2016. – Vol. 52. No. 4. – pp. 647-656.
19. Parada S. G., Stolyarov V. V., Popov Y. V. New type of gold mineralization of the Tyrnyauz ore cluster (Kabardino-Balkar republic). // *Doklady Earth Sciences*. – 2017. – Vol. 477. No. 1. – pp. 1256-1259. DOI: 10.1134/S1028334X17110058
20. Root B. C., Ebbing J., van der Wal W., England R. V. Comparing gravity-based to seismic-derived lithosphere densities a case study of the British Isles and surrounding areas. // *Geophys. J. Int.* – 2017. – Vol. 208. No. 3. – pp. 1796-1810. DOI: 10.1093/gji/ggw483
21. Sillitoe R. H. Porphyry Copper Systems. // *Econ. Geol.* – 2010. – Vol. 105. – pp. 3-41.
22. Spichak V.V., Goidina A.G. A conceptual model of the copper-porphyry ore formation based on joint analysis of deep 3D geophysical models: Sorskoe complex (Russia) case study. // *Acta geophys.* – 2017. – No. 7. – pp. 1133-1144. DOI: 10.1007/s11600-017-0100-2

## References

1. Bubnov S.N., Dokuchaev A.Ya., Goltsman Yu.V. N-Q magmatism of the Greater Caucasus: geodynamic position, geochemical and metallogenic specialization, sources of melts. In: *Proceedings of the Institute of the Geology, DSC RAS*. 2011. No. 57. pp. 73-75. (In Russ.)
2. Gurbanov A. G., Bogina M. M., Pol I. Biotites as indicators of the formation conditions of Pliocene granites of the Greater Caucasus. *Izvestiya of the Academy of Sciences of the USSR. Series geol.* 1992. No. 11. pp. 147-153. (In Russ.)
3. Drebenshtedt K., Golik V.I., Dmitrak Yu. V. The prospects of diversification OF technology of extraction of metals in Republic of North Ossetia-Alaniya. Sustainable development of mountain territories. 2018. Vol. 10. No. 1. Issue 35. pp. 125-131. (In Russ.) DOI: 10.21177/1998-4502-2018-10-1-125-131.
4. Zaalishvili V.B., Chotchaev Kh.O., Nevskiy L.N., Olkhovsky G.P., Tibilov S.M., Gogichev R.R. Optimization of geophysical and geochemical criteria for prospecting for deposits of known ore formations in the mountainous part of the Republic of North Ossetia-Alania. *Geology and geophysics of Russian South*. 2015. No. 3. pp. 28-62. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2015.3.55274.
5. Ivanov A.I., Chernykh A.I., Vartanyan S.S. Status, prospects for the development and development of the mineral resource base of gold in the Russian Federation. *National geology*. 2018. No. 1. pp. 18-28. (In Russ.)
6. Kalmykov B.A., Levin F.D., Trusov A.A. Possibilities of modern airborne geophysical methods in forecasting and prospecting for gold deposits. *Gold and technologies*. 2017. No. 2. pp. 76-82. (In Russ.)
7. Kerimov I.A. Gravity Anomalies, Fault Tectonics and Seismicity of the Terek-Caspian Trough. *Geology and geophysics of the South of Russia*. 2021. Vol. 11. No. 4. pp. 30-42. (In Russ.) DOI: 10.46698/VNC.2021.20.28.003
8. Nosova A.A., Dokuchaev A.Ya., Dubinina E.O., Gurbanov A.G., Avdeenko A.S., Orlov B.Yu., Narkisova V.V., Tarkhanov G.V. Three types of ore-magmatic systems in Late Collisional Neogene granitoids of the Caucasus: isotope-geochemical features of granitoids and composition of crustal protoliths. *Problems of geology of ore deposits, mineralogy, petrology and geochemistry*. Moscow. IGEM RAS, 2008. pp. 152-156. (In Russ.)
9. Nosyrev M. Yu. Geophysical characteristics of the Bam gold deposit (Upper Amur region) and their use in forecasting and prospecting for gold deposits. *Pacific Geology*. 2016. Vol. 35. No. 6. pp. 69-80. (In Russ.)
10. Parada S. G. Ore-magmatic systems of the copper-porphyry type of the Greater Caucasus. *Geology and geophysics of Russian South*. 2021. Vol. 11. No. 3. pp. 129-147. (In Russ.) DOI: 10.46698/VNC.2021.73.74.011.
11. Serokurov Yu. N. Remote forecasting of ores in Russia – problems and prospects. *National geology*. 2011. No. 4. pp. 3-10. (In Russ.)

12. Anderson P.E., Cooper M.R., Stevenson C.T., Hastie A.R. Zonation of the Newry Igneous Complex. Northern Ireland, based on geochemical and geophysical data. *Lithos*. 2016. Vol. 260. pp. 95-106. DOI: 10.1016/j.lithos.2016.05.011
13. Eirish L.V. Factors determining origination of gold ore systems in the Russian Far East. *Geology of Ore Deposits*. 2009. Vol. 51. No. 3. pp. 223-232. DOI: 10.1134/S1075701509030040
14. Guangxi Z.Y., Pang B., Li Yuanqiang, Lit J. The metallogenic regularities and metallogenic prognosis for the Xinping gold deposit in Pingnan County. *Geoscience*. 2016. Vol. 30. No. 4. pp. 770-780.
15. Hart C.J. R. Reduced intrusion-related gold systems. *Mineral deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division. Spec. Publ.* 2007. No. 5. pp. 95-112.
16. Kerr Andrew C., Lavis Owain, Kakar M. Ishaq, McDonald Iain. Petrogenesis and tectonomagmatic significance of Eocene mafic intrusions from the Neotethyan suture zone in the Muslim Bagh-Khanozai region. Pakistan. *J. Geol. Soc.* 2016. Vol. 173. No. 3. pp. 518-530. DOI: 10.1144/jgs2015-119
17. Masoumi F., Eslamkish T., Honarmand M., Abkar A. A. A Comparative Study of Landsat-7 and Landsat-8 Data Using Image Processing Methods for Hydrothermal Alteration Mapping. *Resour. Geol.* 2017. Vol. 67. No. 1. pp. 72-88. DOI: 10.1111/rge.121198
18. Ma Xiao-lei, Yuan Bing-qiang, Xu Wen-qiang, Song IJ-jun Dizhi Yu Kantan. The relationship between features of gravity and magnetic field and sandstone-type uranium deposits in the south of Ordos basin. *Geol. and Prospecting*. 2016. Vol. 52. No. 4. pp. 647-656.
19. Parada S. G., Stolyarov V. V., Popov Y. V. New type of gold mineralization of the Tyrnyauz ore cluster (Kabardino-Balkar republic). *Doklady Earth Sciences*. 2017. Vol. 477. No. 1. pp. 1256-1259. DOI: 10.1134/S1028334X17110058
20. Root B. C., Ebbing J., van der Wal W., England R. V. Comparing gravity-based to seismic-derived lithosphere densities a case study of the British Isles and surrounding areas. *Geophys. J. Int.* 2017. Vol. 208. No. 3. pp. 1796-1810. DOI: 10.1093/gji/ggw483
21. Sillitoe R. H. Porphyry Copper Systems. *Econ. Geol.* 2010. Vol. 105. pp. 3-41.
22. Spichak V.V., Goidina A. G. A conceptual model of the copper-porphyry ore formation based on joint analysis of deep 3D geophysical models: Sorskoe complex (Russia) case study. *Acta geophys.* 2017. No. 7. pp. 1133-1144. DOI: 10.1007/s11600-017-0100-2