



ГЕОФИЗИКА

Научная статья

УДК 550.379

<https://elibrary.ru/ffbvce><https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-2-148-159>

Глубинное строение зоны сочленения Кузнецкого прогиба и Камжелинского блока Кузнецкого Алатау по данным магнитотеллурических зондирований

А.А. Заплавнова^{а,в}, Е.В. Поспеева^б, В.В. Оленченко^с^{а-с}Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Резюме. Кельбес-Золотокитатский район является одним из старейших золотороссыпных узлов Кузнецкого Алатау (Западная Сибирь, Россия). В настоящее время в данном районе отрабатываются в основном мелкозалегающие долинные аллювиальные россыпи. Тем не менее предполагается, что в россыпных месторождениях сосредоточена малая часть ресурсов золота района, а крупные коренные источники золота до сих пор остаются необнаруженными. В зоне сочленения Кузнецкого прогиба и Камжелинского блока глубинное строение золоторудных районов, узлов и полей почти не изучалось, также не анализировались региональные закономерности размещения золотого оруденения, отражающиеся в физических полях. В представленной работе рассмотрены результаты магнитотеллурических исследований в комплексе с результатами анализа потенциальных геофизических полей с целью поиска рудоконтролирующей структуры, вмещающей коренные источники золота. Выбранный комплекс методов эффективен для изучения коровых неоднородностей, пространственно связанных с рудоносными структурами Кузнецкого Алатау. На геоэлектрическом разрезе выделена проводящая неоднородность с вертикальной мощностью до 7 км, вызванная эндогенными каналами флюидно-магматической переработки пород фундамента и ограниченная глубокопроникающими разломными зонами. Значимым результатом проведенного исследования, помимо прочего, является обнаружение признаков интрузивного магматизма на территории Кузнецкой впадины. Глубина залегания кровли гранитоидного тела составляет 5 км. Также отмечено, что перспективной для дальнейших исследований по детальной сети наблюдений является зона водораздела рек Конюхты и Сухой.

Ключевые слова: магнитотеллурические зондирования, потенциальные поля, рудная геофизика, золотое оруденение

Финансирование: Исследования выполнены при поддержке проекта Программы фундаментальных научных исследований № FWZZ-2022-0024.

Благодарности: Авторы благодарны кандидату технических наук старшему научному сотруднику Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН В.В. Потапову за помощь в проведении полевых измерений методом магнитотеллурических зондирований, а также генеральному директору ООО «Барзасская экспедиция» В.В. Гонееву за содействие в проведении полевых работ.

Для цитирования: Заплавнова А.А., Поспеева Е.В., Оленченко В.В. Глубинное строение зоны сочленения Кузнецкого прогиба и Камжелинского блока Кузнецкого Алатау по данным магнитотеллурических зондирований // Науки о Земле и недропользование. 2023. Т. 46. № 2. С. 148–159. <https://elibrary.ru/ffbvce>, <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-2-148-159>.

GEOPHYSICS

Original article

The deep structure of the Kuznetsk deflection and Kamzhelinsky block junction zone of the Kuznetsk Alatau according to magnetotelluric sounding data

Anna A. Zaplavnova^{а,в}, Elena V. Pospeeva^б, Vladimir V. Olenchenko^с^{а-с}Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia

© Заплавнова А.А., Поспеева Е.В., Оленченко В.В., 2023



Abstract. The Kelbes-Zolotokitat region is one of the oldest gold-placer nodes in the Kuznetsk Alatau (Western Siberia, Russia). The production target in this area nowadays is mainly shallow valley alluvial placers. However, it is assumed that placer deposits accumulate a minor part of the region's gold resources, while large primary gold sources still remain undetected. Neither deep structure of gold ore regions, nodes and fields in the junction zone between the Kuznetsk deflection and the Kamzhelinsky block nor the regional distribution patterns of gold mineralization reflected in physical fields have been given proper investigation and analysis. The paper deals with the results of magnetotelluric studies together with the analysis results of potential geophysical fields in order to search for an ore-controlling structure hosting primary gold sources. The selected complex of methods is efficient for studying crustal heterogeneities spatially associated with ore-bearing structures in the Kuznetsk Alatau. A conductive heterogeneity with the vertical thickness up to 7 km caused by the endogenous channels of basement rocks fluid-magmatic processing and limited by deep-penetrating fault zones has been distinguished on the geoelectric section. The identified signs of intrusive magmatism in the area of the Kuznetsk deflection is also a significant result. The depth of the top of the granitoid body is 5 km. The watershed zone of the Konyukhta and Sukhaya rivers is marked as promising for further research using a detailed observation network.

Keywords: magnetotelluric sounding, potential fields, ore geophysics, ore-grade gold mineralization

Funding: The research is supported by the Fundamental Research Program project No. FWZZ-2022-0024.

Acknowledgements: The authors thank the Senior Researcher of the Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS V.V. Potapov, Cand. Sci. (Eng.), for his help in carrying out field magnetotelluric sounding measurements. The authors also express their gratitude to the General Director of LLC "Barzas Expedition" V.V. Goneev for his assistance in conducting the field works.

For citation: Zaplavnova A.A., Pospeeva E.V., Olenchenko V.V. The deep structure of the Kuznetsk deflection and Kamzhelinsky block junction zone of the Kuznetsk Alatau according to magnetotelluric sounding data. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use*. 2023;46(2):148-159. (In Russ.). <https://elibrary.ru/ffbvce>, <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-2-148-159>.

Введение

Кельбес-Золотокитатский район расположен в северных предгорьях Кузнецкого Алатау в переходной к Западно-Сибирской низменности геоморфологической зоне (междуречье Барзас – Кельбес – Золотой Китат). Данный район находится в геологических структурах северной части Кузнецкого Алатау, которые далее к северу перекрываются осадочным чехлом Западно-Сибирской низменности, а с запада ограничиваются Кузнецкой впадиной. Он расположен примерно в 30 км к западу от Кузнецко-Алтайского разлома в пределах Пезасского поднятия, входящего в состав Золотокитат-Кондомской структурно-формационной зоны океанического типа [1]. Кельбес-Золотокитатский район является одним из старейших золотороссыпных узлов Кузнецкого Алатау. В районе распространены различные генетические типы россыпей – от элювиальных и делювиальных до озерно-аллювиальных и прибрежно-морских, имеющие также различный возраст от мелового до четвертичного периода [2, 3]. В настоящее время здесь

отрабатываются в основном неглубокозалегающие долинные аллювиальные россыпи. Тем не менее предполагается, что в россыпных месторождениях сосредоточена лишь малая часть золотых запасов района, а коренные источники до сих пор остаются необнаруженными^{1,2} [4–6]. В связи с этим особую актуальность приобретает проблема поиска коренных источников золотого оруденения как в пределах известных россыпных месторождений, так и на новых перспективных площадях. Эндегенные рудогенерирующие системы построены по единой схеме, включающей три уровня: зону генерации или глубинный источник мобильной фазы (магм или флюидов) с растворенными в ней рудными компонентами; транспортную зону или дренажную сеть, выводящую мобильную фазу в верхние горизонты земной коры; зону консолидации, где мобильная фаза кристаллизуется (в случае магматических расплавов) или сбрасывает рудную нагрузку и рассеивается (в случае флюидных потоков) [7].

¹ Куртигешев В.С., Бычков А.И., Шатилова Г.А., Скребков А.В., Ефремова Н.М. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:200000. Серия Кузбасская. Лист N-45-III (Кемерово). Объяснительная записка. СПб., 2001. 159 с.

² Саморуков В.И., Крекова А.В., Панченко А.В. Геологический отчет по объекту «Поиски и оценка месторождений золота в отложениях симоновской свиты и меловых корах выветривания в границах лицензии КЕМ 00932 ТР (Барзасская площадь)». Кемерово: ООО «Барзасская экспедиция», 2019.



Из множества факторов рудоотложения важнейшими являются структурно-тектонические. Их изучению, картированию в целях металлогенического анализа, особенно рудных районов и узлов, традиционно придается большое значение. Важную роль при этом играют геофизические методы, к отличительным чертам которых можно отнести высокую мобильность и производительность, возможность опробования закрытых площадей, глубинность исследований, равномерность изучения больших территорий, сочетание методов прямой и косвенной индикации оруденения. В общем комплексе геофизических исследований одно из ведущих мест занимает метод магнитотеллурического зондирования, позволяющий получать информацию о глубинном строении литосферы Земли. Анализ закономерностей размещения полезных ископаемых в основных рудных провинциях показал, что провинции, районы, крупные узлы и поля месторождений эндогенного генезиса закономерно сопряжены с геоэлектрическими неоднородностями различного класса и ранга в определенных сочетаниях для различных полезных ископаемых. Данные соотношения сохраняются в масштабах металлогенических провинций, металлогенических зон, рудных районов и отдельных крупных рудных узлов. Ввиду этого основной целью настоящих исследований стало изучение особенностей строения разреза земной коры (включая осадочный чехол) Кельбес-Золотокитатского района и их связи с проявлениями золотоносного оруденения.

Несмотря на длительный срок исследования и эксплуатации золотоносных россыпей, золотое оруденение Кельбес-Золотокитатского района изучено слабо. Мелко- и средне-масштабные россыпи известны практически по всем водотокам района, в том числе по рекам Кельбес, Селла, Барзас, Суета, Еденис, Сухая, Никольская, Солонешная и др.^{3,4} [3].

Зона сочленения Кузнецкого прогиба и Камжелинского блока Кузнецкого Алатау разделена системой Кузнецко-Алатаусского разлома. Разлом представляет собой взброс или крутой надвиг. Об этом свидетельствуют соприкасающиеся в плоскости главного сместителя разлома интенсивно дислоцированные породы девонского и карбонового возрастов в лежачем крыле (западная часть) и рифейско-кембрийские отложения в висячем крыле (восточная часть). Асимметричное строение системы складчатых структур относительно главной плоскости разлома вызвано различным режимом его развития⁵.

Структура изучаемого района представляет собой сложное чередование горстов и грабенов север-северо-западного простирания, ограниченных крупными разломными зонами. Наиболее древние породы в пределах изучаемого участка, возраст которых отнесен к верхнему рифею, выделяются как «суховский метаморфический комплекс» ($R_3?s$). Породы данного комплекса делятся на два подкомплекса: амфиболитовый ($R_3?s^a$) и мраморный ($R_3?s^m$), при этом западная часть Суховского горста сложена породами амфиболитового подкомплекса, а восточная часть – породами мраморного подкомплекса. Мраморный подкомплекс представлен преимущественно кальцитовыми мраморами, нередко графитистыми и слюдястыми, реже доломитовыми.

Выходы древней метаморфической толщи камжелинской свиты (R_3-C_1) представлены metabазальтами, сланцами, песчаниками, мраморизованными известняками, относящимися к Суховскому горсту. Породы свиты метаморфизованы до зеленосланцевой фации, катаклазированы, милонитизированы и насыщены дайками и штоками долеритов, габбродолеритов, порфиритов.

Пезасская серия венд-рифейских образований (R_3-Vpz) слагает Яйский горст. Породы представлены мраморизованными известня-

³ Куртигешев В.С., Бычков А.И., Шатилова Г.А., Скребков А.В., Ефремова Н.М. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:200000. Серия Кузбасская. Лист N-45-III (Кемерово). Объяснительная записка. СПб., 2001. 159 с.

⁴ Саморуков В.И., Крекова А.В., Панченко А.В. Геологический отчет по объекту «Поиски и оценка месторождений золота в отложениях симоновской свиты и меловых корах выветривания в границах лицензии КЕМ 00932 ТР (Барзасская площадь)». Кемерово: ООО «Барзасская экспедиция», 2019.

⁵ Куртигешев В.С., Бычков А.И., Шатилова Г.А., Скребков А.В., Ефремова Н.М. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:200000. Серия Кузбасская. Лист N-45-III (Кемерово). Объяснительная записка. СПб., 2001. 159 с.



ками, часто углеродистыми и битуминозными, с горизонтами доломитов, мергелей, углеродисто-кремнистых сланцев и кварцитов.

Восточное крыло Тугонаковской грабен-синклинали выполнено нерасчлененными отложениями восточно-кузбасской серии среднего – верхнего девона (D_{2-3vk}), сложенными песчаниками, алевролитами, гравелитами, пестроцветными конгломератами и прослоями известняков. Выше по разрезу залегают отложения нижнего карбона. Они представлены песчаниками, алевролитами, известняками, углистыми аргиллитами и прослойками угля.

Интрузивные образования занимают небольшую часть площади и представлены Успенским габбро-диорит-долеритовым массивом писаревского комплекса (E_1), небольшими телами гранодиоритов и граносиенитов ($D_1?$) тельбесского комплекса^{6,7}.

Слабая проявленность интрузивного магматизма в районе исследований не исключает существования связанных с ним рудных источников золото-скарнового или золото-сульфидно-кварцевого типов. Золотое оруденение предположительно связано с гидротермальными изменениями пород дайкового пояса. Это может быть следствием того, что и внедрение даек, и циркуляция рудообразующих растворов происходили по одним и тем же проницаемым зонам. Дайки под воздействием растворов претерпевали изменение, и наряду с жильным золото-кварцевым формировалось прожилково-вкрапленное золото-сульфидно-кварцевое оруденение [6].

По результатам геохимического опробования^{8,9} [3, 4, 6] отмечается аномально высокое фоновое содержание золота в углеродистых сланцах камжелинской свиты. Значительные вариации в содержании золота указывают на

интенсивные метаморфогенно-гидротермальные преобразования углеродистых сланцев Камжелинского узла.

Материалы и методы исследования

Магнитотеллурические исследования были выполнены по профилю вдоль рек Конюхты и Сухой (рис. 1). Общая протяженность профиля составляет около 30 км. Расстояние между пунктами зондирования варьировалось от 1,5 до 5 км в зависимости от транспортной доступности.

Полевые измерения выполнялись аппаратурой канадской фирмы Phoenix Geophysics в диапазоне периодов 0,003–10000 с. Использовались три измерительных модуля MTU-5, позволяющих регистрировать четыре компоненты (E_x , E_y , H_x , H_y) магнитотеллурического поля. Применялась крестообразная установка с длиной электрических диполей 100 м. Средняя длительность записи составляла 21 ч.

Обработка и интерпретация данных осуществлялась в программных комплексах SSMT-2000, WinGLink и состояла из следующих этапов:

- обработка четырехкомпонентных записей магнитотеллурического поля;
- приведение симметричного тензора к главным осям.

Известно, что при вращении импеданса $[Z]$ можно получить множество амплитудных и фазовых кривых ρ_{xy} , конфигурация которых существенно зависит от их ориентации и которые могут противоречить друг другу. В связи с этим после первичной обработки полевых данных на каждом пункте проводился анализ амплитудных и фазовых полярных диаграмм тензора импеданса и определялись его главные направления [8, 9].

⁶ Куртигешев В.С., Бычков А.И., Шатилова Г.А., Скребков А.В., Ефремова Н.М. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:200000. Серия Кузбасская. Лист N-45-III (Кемерово). Объяснительная записка. СПб., 2001. 159 с.

⁷ Саморуков В.И., Крекова А.В., Панченко А.В. Геологический отчет по объекту «Поиски и оценка месторождений золота в отложениях симоновской свиты и меловых корах выветривания в границах лицензии КЕМ 00932 ТР (Барзасская площадь)». Кемерово: ООО «Барзасская экспедиция», 2019.

⁸ Куртигешев В.С., Бычков А.И., Шатилова Г.А., Скребков А.В., Ефремова Н.М. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:200000. Серия Кузбасская. Лист N-45-III (Кемерово). Объяснительная записка. СПб., 2001. 159 с.

⁹ Саморуков В.И., Крекова А.В., Панченко А.В. Геологический отчет по объекту «Поиски и оценка месторождений золота в отложениях симоновской свиты и меловых корах выветривания в границах лицензии КЕМ 00932 ТР (Барзасская площадь)». Кемерово: ООО «Барзасская экспедиция», 2019.

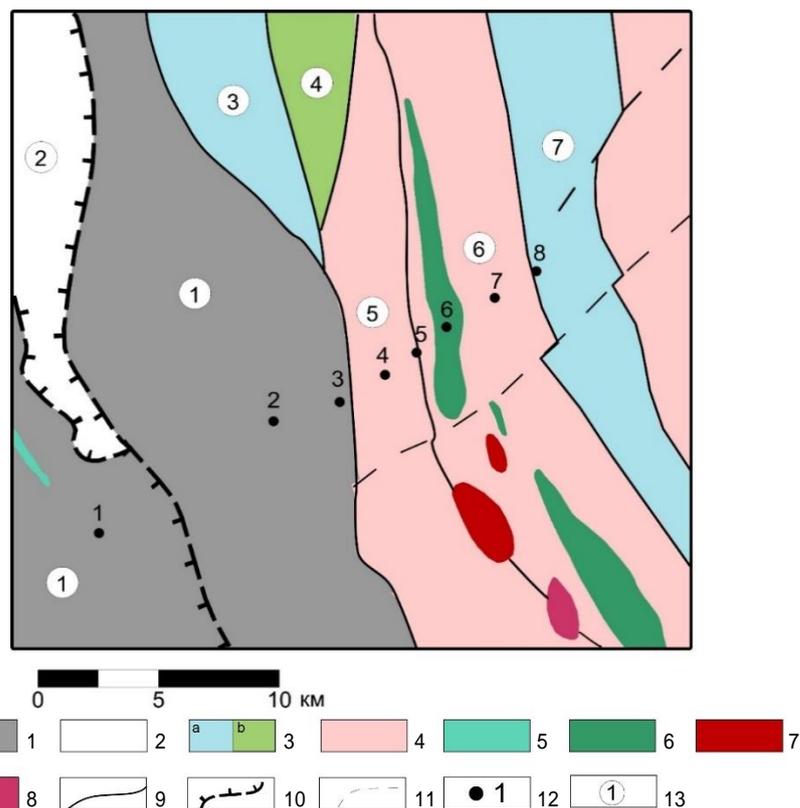


Рис. 1. Схема тектонического строения зоны сочленения Кузнецкого прогиба и Кузнецкого Алатау¹⁰:

1 – герцинские наложенные прогибы ($D-P_2$); 2 – тектонический меланж; 3 – Бийско-Золотокиятская складчатая зона: а – раннекаледонский ($V-C_1$), b – позднекаледонский ($E_{2-3}-D_1$) структурные этажи; 4 – выступы позднерипеевского основания; 5 – абинский трапповый трахибазальтовый комплекс; 6 – писаревский габбро-диорит-диабазовый комплекс; 7, 8 – олгинский комплекс: 7 – третья фаза, 8 – первая фаза; 9 – главные разломы, характеризующие границы структурных этажей, ярусов; 10 – надвиги; 11 – второстепенные разломы; 12 – пункты магнитотеллурических зондирований; 13 – структурные этажи, ярусы, подъярусы: Кузнецкий прогиб (1), Яя-Кельбесский грабен (2), Яйский горст (3), Кельбесский грабен (4), Камжелинский блок (5), Суховский блок (6), Мурюкский грабен (7)

Fig. 1. Tectonic structure diagram of the junction zone between the Kuznetsk deflection and the Kuznetsk Alatau¹⁰:

1 – Hercynian superimposed deflections ($D-P_2$); 2 – tectonic melange; 3 – Biysk-Zolotokitatskaya folded zone: a – Early Caledonian ($V-C_1$), b – Late Caledonian ($E_{2-3}-D_1$) structural stages; 4 – protrusions of the late Riphean base; 5 – Abinsk trap trachybasalt complex; 6 – Pisarevsky gabbro-diorite-d diabase complex; 7, 8 – Olginsky complex: 7 – the third phase, 8 – the first phase; 9 – main faults characterizing the boundaries of structural floors, tiers; 10 – thrusts; 11 – secondary faults; 12 – locations of magnetotelluric soundings; 13 – structural floors, tiers, subtiers: Kuznetsk deflection (1), Yaya-Kelbes graben (2), Yaya horst (3), Kelbes graben (4), Kamzhelinsky block (5), Sukhovsky block (6), Muryuk graben (7)

Поперечные кривые смещены по оси сопротивлений ρ вверх по всей оси периодов. Они описываются асимптотической функцией на больших временах (рис. 2).

Результаты исследования

На основе данных Государственной геологической карты масштаба 1:200000 (лист

N-45-III (Кемерово))¹¹, аэромагнитометрии и аэрогравиметрии были построены графики магнитного и гравитационного полей (рис. 3, а).

По особенностям распределения удельного электрического сопротивления ($U_{ЭС}$) на разрезе выделяется три блока: юго-западный (I, пункты 1–3), центральный (II, пункт 4) и северо-восточный (III, пункты 5–8) (рис. 3, с).

¹⁰ Бабин Г.А., Гусев Н.И., Юрьев А.А., Уваров А.Н., Дубский В.С., Черных А.И. [и др.]. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:1000000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-45 (Новокузнецк). Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2007. 665 с.

¹¹ Куртигешев В.С., Бычков А.И., Шатилова Г.А., Скребков А.В., Ефремова Н.М. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:200000. Серия Кузбасская. Лист N-45-III (Кемерово). Объяснительная записка. СПб., 2001. 159 с.

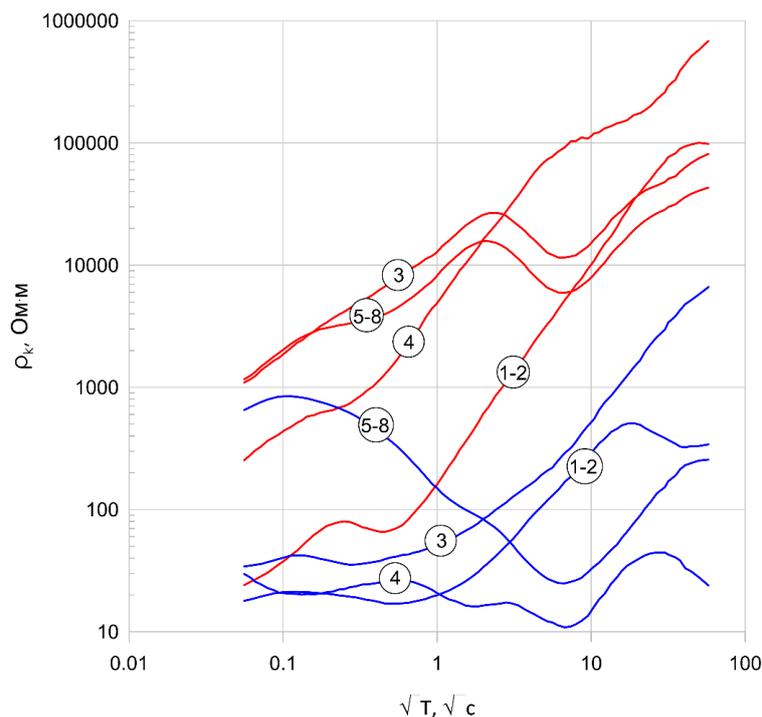


Рис. 2. Продольные (ТЕ-мода) и поперечные (ТМ-мода) магнитотеллурические кривые
Красным цветом показаны поперечные кривые, синим цветом – продольные
Fig. 2. Longitudinal (TE-mode) and transverse (TM-mode) magnetotelluric curves
The transverse curves are red; longitudinal curves are blue

Верхняя часть разреза блока I включает каменноугольные отложения, представленные преимущественно песчаниками, алевролитами, углистыми аргиллитами с прослоями каменного угля. Среднее УЭС слоя составляет 20–40 Ом·м. Общая мощность слоя изменяется с юго-запада на север-восток с 1000 до 800 м. Палеозойское основание представлено девонскими песчаниками и алевролитами со значениями УЭС 60–90 Ом·м и общей мощностью около 4 км. На глубинах порядка 5 км выделяется высокоомная область, обусловленная гранитоидным магматизмом с УЭС более 900 Ом·м.

Блок II представлен сложнопостроенной проводящей неоднородностью в зоне водораздела рек Конюхты и Сухой. От блоков I и III она отделена зонами Кузнецко-Алатаусского разлома. Центральная часть характеризуется самыми низкими значениями УЭС 15 Ом·м. Кровля располагается на глубине 1 км, вертикальная мощность оценивается в 7 км. Такая обширная неоднородность предположительно связана с флюидной системой рудообразующей зоны. Сложная форма аномалии возникла в результате влияния глубокопроникающих разломов, ограничивающих зону ру-

дообразования. Стоит отметить, что такие разломы служат флюидопроводниками в период своего активного существования [10], а следовательно, выделяются на разрезе пониженными значениями УЭС в 30 Ом·м. Разделение источников проводящих неоднородностей на данном этапе исследований невозможно из-за редкой сети наблюдений и близких физических свойств геологических объектов.

Для северо-западного блока (III) характерно трехслойное строение. Верхний слой сложен метаморфическим комплексом камжелинской свиты (R_3-C_1), вскрытым разведочными скважинами в пределах Камжелинского блока и представленным метабазами, сланцами, песчаниками, мраморизованными известняками. Для данных пород характерны высокие значения УЭС в пределах 600–900 Ом·м. Мощность слоя изменяется от 1000 м до полного выклинивания в пункте 5. Ниже по разрезу залегают рифей-вендские отложения (R_3-Vpz), представленные известняками и доломитами. Средние УЭС слоя составляют от 200 до 300 Ом·м. Мощность изменяется от 4000 м до полного выклинивания. Мощность третьего слоя превышает 3000 м, но не может быть достоверно определена. Предполагается

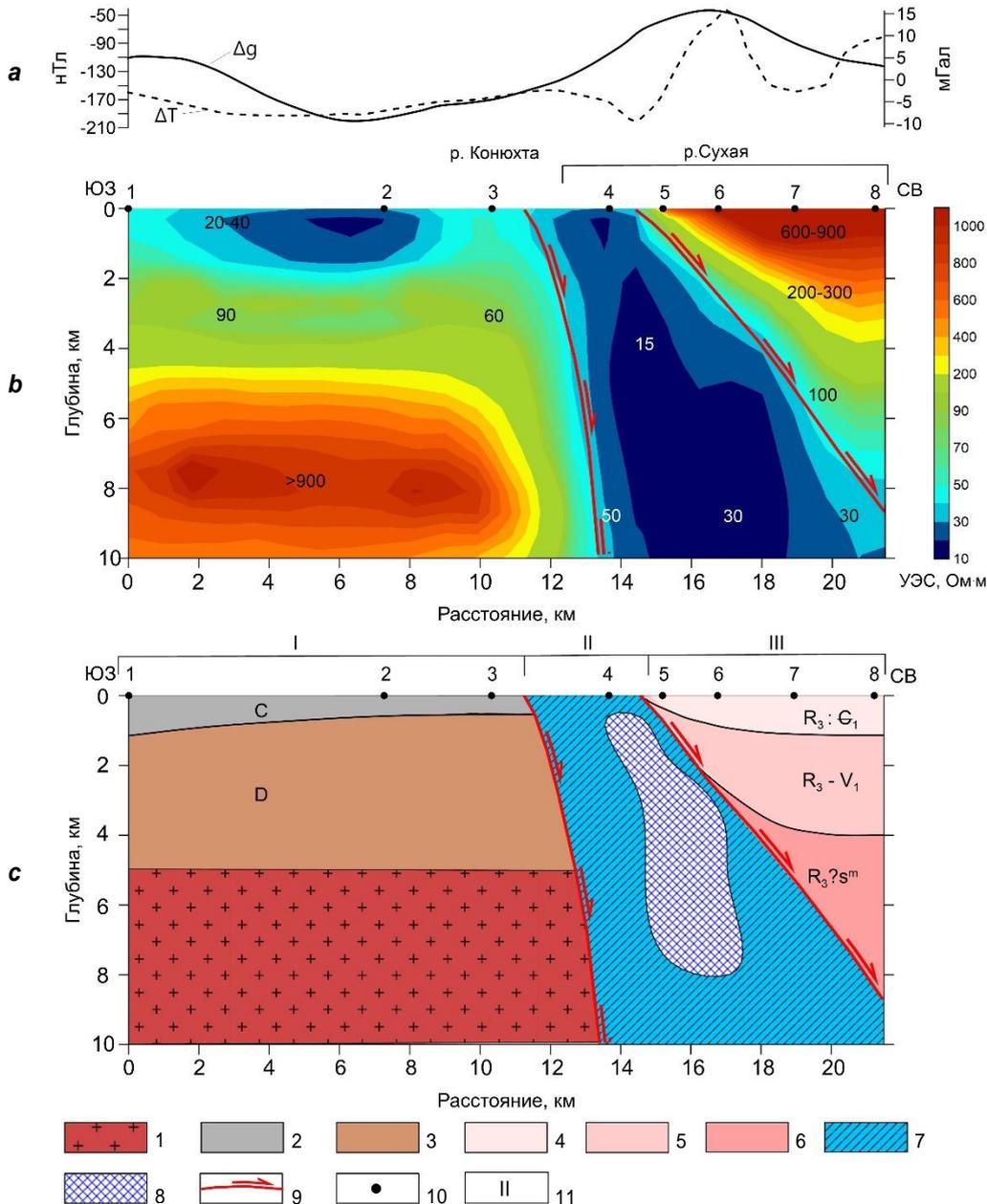


Рис. 3. Графики магнитного и гравитационного поля (а)¹², геоэлектрический разрез (b) и интерпретационный разрез (с) вдоль профиля Конюхта – Сухая

Значения удельного электрического сопротивления указаны в Ом·м

1 – предполагаемый гранитоидный массив; 2 – песчаники, алевролиты, углистые аргиллиты и каменный уголь каменноугольного периода; 3 – девонские песчаники и алевролиты; 4 – камжелинская свита (R_3-E_1); 5 – известняки и доломиты венд-рифейских образований (R_3-V_{pz}); 6 – трещиноватые мраморы (R_3-s^m); 7 – зона трещиноватости; 8 – предполагаемая зона рудогенерации; 9 – границы зоны трещиноватости; 10 – пункты магнитотеллурических зондирований; 11 – номера блоков

Fig. 3. Graphs of magnetic and gravitational fields¹² (a), a geoelectric section (b) and an interpretive section (c) along the Konyukhta – Sukhaia profile

Electrical resistivity values are given in Ohm·m

1 – presumed granitoid massif; 2 – sandstones, siltstones, carbonaceous mudstones and bituminous coal of the Carboniferous period; 3 – Devonian sandstones and siltstones; 4 – Kamzhelinskaya suite (R_3-E_1); 5 – Vendian-Riphean limestones and dolomites (R_3-V_{pz}); 6 – fissured marble (R_3-s^m); 7 – fracture zone; 8 – presumed ore generation zone; 9 – fracture zone boundaries; 10 – locations of magnetotelluric soundings; 11 – block numbers

¹² Куртигешев В.С., Бычков А.И., Шатилова Г.А., Скребков А.В., Ефремова Н.М. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:200000. Серия Кузбасская. Лист N-45-III (Кемерово). Объяснительная записка. СПб., 2001. 159 с.



распространение мраморного подкомплекса «суховского метаморфического комплекса» ($R_3^s s^m$) со значениями УЭС 100 Ом·м. Пониженные значения сопротивлений метаморфических комплексов объясняются повышенной трещиноватостью пород. По данным геологического картирования, отмечаются интенсивные процессы милонизации приконтактных зон, которые приводят к понижению УЭС горных пород.

Обсуждение полученных результатов

Особый интерес представляет проводящая неоднородность, выделенная в зоне водораздела рек Конюхты и Сухой по результатам магнитотеллурических зондирований. Над этой электрической аномалией отмечается повышение значений магнитного и гравитационного полей (см. рис. 3, а). Положительные аномалии потенциальных геофизических полей являются одним из признаков рудопоявления района, а форма графиков соответствует форме наклонного тела большой мощности¹³, что дополнительно подчеркивает интерес этого участка в качестве коренного золоторудного источника.

Согласно гравиметрической модели¹⁴, тектонический шов Кузнецко-Алатаусского разлома сопровождается крупной зоной разуплотнения. Согласно результатам анализа гравиметрических данных, на глубине 500–1000 м отмечается гипотетический гипоцентр очага гидротермальной проработки. Протяженная магнитная аномалия, выделенная на картах магнитного поля, интерпретируется как дайковый пояс основного состава и представлена

диабазами, габбродиабазами. Аномалия прослеживается на расстояние более 10 км¹⁵ [11, 12]. Золотоносность дайкового пояса и околодайкового пространства установлена по результатам проведенных горных работ и косвенно подтверждается контурами старательских отработок разных лет^{16,17} [4, 6].

Не менее важным результатом является выделение неоднородности с высокими значениями УЭС (более 900 Ом·м). Кровля выделенного объекта располагается на глубине 5 км. Высокие значения УЭС характерны для интрузивных образований. Высокоомная неоднородность располагается в пределах Кузнецкого прогиба, который относится к унаследованным прогибам среднего палеозоя [13]. Образование унаследованных прогибов сопровождалось интенсивной вулканической деятельностью. Исходя из таких условий можно предположить, что интрузивный магматизм здесь проявлен более широко, но не отмечается выходами на дневную поверхность. В пределах Кельбес-Золотокитатского рудного узла известен только один интрузивный массив, сложенный габбро, габбро-диабазами, диабазами – Успенский массив¹⁸. Массив пространственно связан со структурой Суховского горста, имеет согласное со структурами горста простирание.

Существование скрытого интрузивного массива отмечается и по результатам анализа магнитометрических и гравиметрических данных^{19,20} [12]. Интрузия перекрывается девонскими отложениями мощностью более 4 км и находится в зоне Тугонаковской грабен-синклинали. Расположение гранитоидного комплекса вблизи шовной тектонической зоны говорит

¹³ Логачев А.А., Захаров В.П. Магниторазведка: учебник для вузов. Л.: Недра, 1979. 351 с.

¹⁴ Тараканов К.В. Отчет о результатах камеральных работ по дополнительной обработке, анализу и интерпретации геофизических данных по Барзасской площади. Новокузнецк: ООО «Геофизическое бюро», 2019.

¹⁵ Там же.

¹⁶ Куртигешев В.С., Бычков А.И., Шатилова Г.А., Скребков А.В., Ефремова Н.М. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:200000. Серия Кузбасская. Лист N-45-III (Кемерово). Объяснительная записка. СПб., 2001. 159 с.

¹⁷ Саморуков В.И., Крекова А.В., Панченко А.В. Геологический отчет по объекту «Поиски и оценка месторождений золота в отложениях симоновской свиты и меловых корях выветривания в границах лицензии КЕМ 00932 ТР (Барзасская площадь)». Кемерово: ООО «Барзасская экспедиция», 2019.

¹⁸ Там же.

¹⁹ Там же.

²⁰ Тараканов К.В. Отчет о результатах камеральных работ по дополнительной обработке, анализу и интерпретации геофизических данных по Барзасской площади. Новокузнецк: ООО «Геофизическое бюро», 2019.



о немаловажной роли интрузивного магматизма в процессе рудообразования изучаемого участка.

Проведенные работы подтверждают предположение о существовании рудоконтролирующей структуры в зоне сочленения Кузнецкой впадины и Кузнецкого Алатау. В течение длительной истории эволюции района произошло формирование структур, которые могут выполнять роль структурных ловушек, способствующих локализации месторождений [14–16]. Структуры-ловушки могут быть представлены парными разломами (как параллельными, так и смыкающимися), крутопадающими зонами разрывных нарушений, контактами интрузивных тел. Как правило, появление золоторудных тел обусловлено одновременным влиянием структурных ловушек сразу нескольких типов, одна из которых признается главной рудоконтролирующей и рудовмещающей.

Выделенная на геоэлектрическом разрезе крутопадающая проводящая зона является поисковым критерием золоторудных проявлений наряду с проявлениями интрузивного магматизма. Локальная неоднородность, выделенная в зоне сочленения крупных геологических этажей, означает, что рассматриваемый участок представляет собой не только тектоническую зону, но и канал, осуществляющий связь между различными глубинными уровнями, откуда поступали рудоносные растворы.

Рудоконтролирующие структуры Кузнецкого Алатау пространственно связаны с субвертикальными разломами фундамента, что может свидетельствовать о крупнообъемных залежах из-за благоприятных условий для длительной циркуляции рудоносных растворов и последующего рудоотложения [15, 17, 18]. Ярким примером таких структур служит Сухоложское рудное поле, месторождения Мурунтау и Павлик, характеризующиеся глубинными источниками поступления вещества [15, 17, 19, 20].

Заключение

В общем комплексе геофизических методов особое место занимает метод магнитотеллурического зондирования, позволяющий получать информацию о глубинном строении

литосферы Земли. В настоящее время на территории Кузнецкой впадины и Кузнецкого Алатау преимущественно изучается верхняя часть рудоконтролирующих структур (первые сотни метров), тогда как основная их часть остается неизученной. По этой причине для изучения особенностей строения разреза земной коры Кельбес-Золотокидатского района и их связи с проявлениями золотоносного оруденения был выбран метод магнитотеллурических зондирований.

По результатам анализа геоэлектрического разреза выделена крутопадающая аномальная область низкого УЭС, которую мы связываем с зоной эндогенных каналов флюидно-магматической переработки пород протерозойского фундамента, ограниченной глубокопроникающими разломными зонами. Рудоконтролирующая структура имеет форму крутопадающей колонны, расширяющейся с глубиной. Исползованная методика съемки не позволяет надежно разделить влияние разломных зон и рудогенерирующей структуры. Тем не менее понижение значений УЭС до 15 Ом·м в пределах тектонически ослабленной зоны (30 Ом·м) свидетельствует в пользу существования в этой области флюидных систем рудопереноса или рудогенерации.

Также значимым результатом проведенного исследования является обнаружение признаков интрузивного магматизма на территории Кузнецкой впадины. Глубина залегания кровли интрузивного тела составляет 5 км, что сопоставимо с данными гравиметрических и магнитных исследований.

На базе комплексного анализа гравиметрических, магнитометрических и магнитотеллурических результатов исследований глубинного строения земной коры составлено представление о глубинной модели зоны сочленения Кузнецкого прогиба и Камжелинского блока Кузнецкого Алатау. Выделены глубинные факторы, характеризующие условия формирования рудоносных структур. Зона водораздела рек Конюхты и Сухой отмечена в качестве перспективной области для дальнейших исследований с целью поиска и локализации золоторудного месторождения по детальной сети наблюдений. Полученная информация имеет как фундаментальное, так



и практическое значение. Геоэлектрический разрез вносит вклад в понимание формирования эндогенных флюидных систем, в то же

время он выполняет роль поискового критерия рудных месторождений Кузнецкого Алатау.

Список источников

1. Алабин Л.В., Калинин Ю.А. Металлогения золота Кузнецкого Алатау / науч. ред. Г.В. Поляков. Новосибирск: Изд-во НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1999. 237 с.
2. Платонов А.Н., Санин В.Н., Аввакумов А.Е. Геологическое строение и золотоносность Кельбес-Золотокитатского района // Руды и металлы. 1998. № 2. С. 36–46. <https://elibrary.ru/hvaxfd>.
3. Гусев В.А., Нестеренко Г.В., Жмодик С.М., Белянин Д.К. Два типа ассоциаций минералов платиновой группы в золотоносных россыпях северо-западной части Кузнецкого Алатау // Геосферные исследования. 2020. № 1. С. 19–32. <https://elibrary.ru/yikmhf>, <https://doi.org/10.17223/25421379/14/2>.
4. Черных А.И. Геолого-минерогеническое картирование на золото масштаба 1:500000 Северо-западной части Алтае-Саянской складчатой области (задачи, методика, результаты) // Известия Томского политехнического университета. 2009. Т. 314. № 1. С. 16–22. <https://elibrary.ru/khqyhz>.
5. Зимоглядов Б. Н. Генетические типы коренных источников золота и связь с ними россыпей в Кузнецком Алатау // Известия Томского политехнического института. 1970. Т. 239. С. 363–367.
6. Колпаков В.В., Нестеренко Г.В., Неволько П.А., Жмодик С.М. Минералого-геохимическая характеристика и вероятные коренные источники самородного золота россыпей Кельбес-Золотокитатского района (северная часть Кузнецкого Алатау) // Геосферные исследования. 2021. № 3. С. 42–55. <https://elibrary.ru/uwxucu>, <https://doi.org/10.17223/25421379/20/3>.
7. Поспеева Е.В. Природа глубинной электропроводности и связь коровых аномалий с месторождениями полезных ископаемых // Материалы VIII Всерос. школы-семинара по электромагнитным зондированиям Земли им. М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна (г. Москва, 4–7 октября 2021 г.). М.: Изд-во Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 2021. С. 35–41. <https://elibrary.ru/aiknzn>.
8. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И., Новиков Д.Б., Пастуцан В.В. Анализ и интерпретация магнитотеллурических данных. М.: Диалог-МГУ, 1997. 161 с.
9. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики: монография / пер. с англ. М.: Научный мир, 2009. 679 с.
10. Кадик А.А. Флюиды литосферы как отражение окислительно-восстановительного режима в мантии: следствия для геофизических свойств глубинного вещества // Флюиды и геодинамика: материалы Всерос. симпозиума «Глубинные флюиды и геодинамика» (г. Москва, 19–21 ноября 2003 г.). М.: Наука, 2006. С. 19–46.
11. Mustafaev A.A., Gertner I.F., Ernst R.E., Kolmakov Y.V., Serov P.A. The Paleozoic-aged University foidolite-gabbro pluton of the northeastern part of the Kuznetsk Alatau Ridge, Siberia: geochemical characterization, geochronology, petrography and geophysical indication of potential high-grade nepheline ore // Minerals. 2020. Vol. 10. Iss. 12. P. 1128. <https://elibrary.ru/wmxxeh>, <https://doi.org/10.3390/min10121128>.
12. Zaplavnova A.A., Esin E.I., Olenchenko V.V. Potential fields study in the Kelbes-Zolotokitat ore cluster // X International Siberian Early Career GeoScientists Conference: proceedings of the conference (Novosibirsk, 13–17 June 2022). Novosibirsk: Novosibirsk State University, 2022. P. 226–227. <https://elibrary.ru/nstpzq>.
13. Довгаль В.Н., Широких В.А. История развития магматизма повышенной щелочности Кузнецкого Алатау / отв. ред. Ю.А. Кузнецов. Новосибирск: Наука, 1980. 216 с.
14. Некрасов Е.М. Поиск «слепых» золоторудных тел жильного типа // Руды и металлы. 2018. № 3. С. 55–71. <https://elibrary.ru/mnfwxp>, <https://doi.org/10.24411/0869-5997-2018-10007>.
15. Савчук Ю.С., Волков А.В. Крупные и суперкрупные орогенные золотые месторождения: геодинамика, структура, генетические следствия // Литосфера. 2019. Т. 19. № 6. С. 813–833. <https://elibrary.ru/jfdwio>, <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2019-19-6-813-833>.
16. Ерофеев Л.Я., Орехов А.Н. Геолого-геофизические условия на золоторудных полях Сибири // Известия Томского политехнического университета. 2014. Т. 324. № 1. С. 80–86. <https://elibrary.ru/rwqliz>.
17. Савчук Ю.С., Волков А.В., Аристов В.В. Структурно-динамические условия формирования крупных орогенных месторождений золота Центральной и Северо-Восточной Азии // Литосфера. 2021. Т. 21. № 3. С. 349–364. <https://elibrary.ru/gmzkzb>, <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2021-21-3-349-364>.
18. Ненашева Р.И., Рогова Т.Б., Энхбаяр Б., Чебоксаров Б.Б. Закономерности размещения золоторудных месторождений на северной и центральной частях Кузнецкого Алатау // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2004. № 1. С. 21–27. <https://elibrary.ru/pwlyrz>.
19. Петрова А.А., Копытенко Ю.А. Флюидные системы Мамско-Бодайбинской минерогенической зоны северного Забайкалья // Вестник Камчатской региональной ассоциации «Учебно-научный центр». Серия: Науки о Земле. 2019. № 1. С. 37–53. <https://elibrary.ru/ujocwm>, <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2019-1-41-37-53>.
20. Савчук Ю.С., Волков А.В., Аристов В.В., Сидоров В.А., Лямин С.М. Строение и состав золоторудных залежей месторождения Павлик // Руды и металлы. 2018. № 2. С. 77–85. <https://elibrary.ru/xscdyd>.



References

1. Alabin L.V., Kalinin Yu.A. *Kuznetsk Alatau gold metallogeny*. Novosibirsk: United Institute of Geology, Geophysics and Mineralogy SB RAS; 1999. 237 p. (In Russ.).
2. Platonov A.N., Sanin V.N., Awakumov A.Ye. Geological structure and gold-bearing zones of the zolotokitatsky district. *Rudy i metally = Ores and Metals*. 1998;2:36-46. (In Russ.). <https://elibrary.ru/hvaxfd>.
3. Gusev V.A., Nesterenko G.V., Zhmodik S.M., Belyanin D.K. Two types of platinum group minerals assemblages from the gold-bearing placers of northwest Kuznetsk Alatau. *Geosfernye issledovaniya = Geosphere Research*. 2020. № 1. S. 19–32. (In Russ.). <https://elibrary.ru/yikmhf>, <https://doi.org/10.17223/25421379/14/2>.
4. Chernykh A.I. Geologic-minerogenic mapping of gold with scale 1:500000 of the northwest part of Altai-Sayanskaya folded area (problems, technique, results). *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2009;314(1):16-22. (In Russ.). <https://elibrary.ru/khgyhz>.
5. Zimoglyadov B.N. Genetic types of primary sources of gold and their relationship with Kuznetsk Alatau placers. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo instituta = Bulletin of the Tomsk Technological Institute*. 1970;239:363-367. (In Russ.).
6. Kolpakov V.V., Nesterenko G.V., Nevolko P.A., Zhmodik S.M. Mineralogical-geochemical characteristic and the potential ore sources of placer native gold in Kelbes-Zolotokitatsk region (north Kuznetsk Alatau). *Geosfernye issledovaniya = Geosphere Research*. 2021;3:42-55. (In Russ.). <https://elibrary.ru/uwxucu>, <https://doi.org/10.17223/25421379/20/3>.
7. Pospeeva E.V. The nature of deep electrical conductivity and the relationship of crustal anomalies with mineral deposits. In: *Materialy VIII Vseros. shkoly-seminara po elektro-magnitnym zondirovaniyam Zemli im. M.N. Berdichevskogo i L.L. Van'yana = Materials of the 8th All-Russian school-seminar on electromagnetic sounding of the Earth named after M.N. Berdichevsky and L.L. Vanyan*. 4–7 October 2021, Moscow. Moscow: Schmidt Institute of Physics of the Earth RAS; 2021, p. 35–41. (In Russ.). <https://elibrary.ru/aiknzn>.
8. Berdichevskii M.N., Dmitriev V.I., Novikov D.B., Pasutsan V.V. *Analysis and interpretation of magnetotelluric data*. Moscow: Dialog-MGU; 1997. 161 p. (In Russ.).
9. Berdichevsky M.N., Dmitriev V.I. Models and Methods of Magnetotellurics; 2008. 564 p. (Russ. ed.: *Modeli i metody magnitotelluriki: monografiya*. Moscow: Nauchnyi mir; 2009. 679 p.).
10. Kadik A.A. Lithospheric fluids as a reflection of the redox regime in the mantle: consequences for the geophysical properties of deep matter. In: *Flyuidy i geodinamika: materialy Vseros. simpoziuma "Glubinnye flyuidy i geodinamika" = Fluids and geodynamics: materials of the All-Russian Symposium "Deep fluids and geodynamics"*. 19–21 November 2003, Moscow. Moscow: Nauka; 2006, p. 19–46. (In Russ.).
11. Mustafaev A.A., Gertner I.F., Ernst R.E., Kolmakov Y.V., Serov P.A. The Paleozoic-aged University foidolite-gabbro pluton of the northeastern part of the Kuznetsk Alatau Ridge, Siberia: geochemical characterization, geochronology, petrography and geophysical indication of potential high-grade nepheline ore. *Minerals*. 2020;10(12): 1128. <https://elibrary.ru/wmxneh>, <https://doi.org/10.3390/min10121128>.
12. Zaplavnova A.A., Esin E.I., Olenchenko V.V. Potential fields study in the Kelbes-Zolotokitatsk ore cluster. In: *X International Siberian Early Career GeoScientists Conference: proceedings of the conference*. 13–17 June 2022, Novosibirsk. Novosibirsk: Novosibirsk State University; 2022, p. 226–227. <https://elibrary.ru/nstpzq>.
13. Dovgal' V.N., Shirokikh V.A. *Development history of the Kuznetsk Alatau magmatism of increased alkalinity*. Novosibirsk: Nauka; 1980. 216 p. (In Russ.).
14. Nekrasov E.M. Prospecting for lode-type blind gold orebodies. *Rudy i metally = Ores and Metals*. 2018;3: 55-71. (In Russ.). <https://elibrary.ru/mnfwxp>, <https://doi.org/10.24411/0869-5997-2018-10007>.
15. Savchuk Yu.S., Volkov A.V. Large and super-large orogenic golden deposits: geodynamics, structure, genetic consequences. *Litosfera = Lithosphere (Russia)*. 2019;19 (6):813-833. (In Russ.). <https://elibrary.ru/jfdwio>, <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2019-19-6-813-833>.
16. Erofeev L.Ya., Orekhov A.N. Geological and geophysical conditions at Siberian golden ore fields. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2014;324(1):80-86. (In Russ.). <https://elibrary.ru/rwqliz>.
17. Savchuk Yu.S., Volkov A.V., Aristov V.V. Structural and dynamic conditions for the formation of large orogenic gold deposits in Central and Northeast Asia. *Litosfera = Lithosphere (Russia)*. 2021;21(3):349-364. (In Russ.). <https://elibrary.ru/gmzkzb>, <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2021-21-3-349-364>.
18. Nenashva R.I., Rogova T.B., Enkhbayar B., Cheboksarov B.B. Localization patterns of gold deposits in the northern and central parts of the Kuznetsk Alatau. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2004;1:21-27. (In Russ.). <https://elibrary.ru/pwlryz>.
19. Petrova A.A., Kopytenko Yu.A. Fluid systems of the Mamsko-Bodaibin mineragenic zone in north Transbaikalia. *Vestnik Kamchatskoi regional'noi assotsiatsii "Uchebno-nauchnyi tsentr". Seriya: Nauki o Zemle = Bulletin of Kamchatka Regional Association "Educational-Scientific Center"*. *Earth Sciences*. 2019;1:37-53. (In Russ.). <https://elibrary.ru/ujocwm>, <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2019-1-41-37-53>.
20. Savchuk Yu.S., Volkov A.V., Aristov V.V., Sidorov V.A., Lyamin S.M. Structure and composition of gold Pavlik deposit. *Rudy i metally = Ores and Metals*. 2018;2:77-85. (In Russ.). <https://elibrary.ru/xscdyd>.



Информация об авторах / Information about the authors



Заплавнова Анна Алексеевна,
младший научный сотрудник Лаборатории геоэлектрики,
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Россия,
✉ zaplavnovaaa@ipgg.sbras.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0775-3908>
Anna A. Zaplavnova,
Junior Researcher of the Geoelectrics Laboratory,
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS,
Novosibirsk, Russia,
✉ zaplavnovaaa@ipgg.sbras.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0775-3908>



Поспеева Елена Валентиновна,
ведущий научный сотрудник Лаборатории геоэлектрики,
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Россия,
✉ PospееvaEV@ipgg.sbras.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5714-5652>
Elena V. Pospееva,
Leading Researcher of the Geoelectrics Laboratory,
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS,
Novosibirsk, Russia,
✉ PospееvaEV@ipgg.sbras.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5714-5652>



Оленченко Владимир Владимирович,
ведущий научный сотрудник Лаборатории геоэлектрики,
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Россия,
✉ OlenchenkoVV@ipgg.sbras.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4386-7064>
Vladimir V. Olenchenko,
Leading Researcher of the Geoelectrics Laboratory,
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS,
Novosibirsk, Russia,
✉ OlenchenkoVV@ipgg.sbras.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4386-7064>

Вклад авторов / Contribution of the authors

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.
The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.*

Информация о статье / Information about the article

Статья поступила в редакцию 31.05.2023; одобрена после рецензирования 15.06.2023; принята к публикации 22.06.2023.

The article was submitted 31.05.2023; approved after reviewing 15.06.2023; accepted for publication 22.06.2023.