

Сравнительный анализ условий локализации и формирования золотого оруденения в Северо- и Южно-Енисейском рудных районах (Енисейский кряж)

Козлов Н. Н.¹, Волков А. В.²

¹ ООО «УК Полюс», Москва, morze49@inbox.ru

² Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (ИГЕМ РАН), Москва

Аннотация. Енисейский кряж – крупнейшая золотоносная провинция, в пределах которой выделяются два основных рудных района: Северо-Енисейский и Южно-Енисейский. На основе анализа опубликованных материалов проведено сопоставление геолого-структурной позиции, вещественного состава вмещающих толщ и физико-химических параметров формирования золотого оруденения. Показано, что Северо-Енисейский район характеризуется пространственной и, вероятно, генетической связью с позднерифейскими гранитоидами ильменитовой (восстановленной) серии, тогда как в Южно-Енисейском районе контроль оруденения определяется структурами Рыбинско-Панимбинского вулканического пояса и интрузиями ультрабазитов-базитов. Несмотря на различия в магматических ассоциациях, физико-химические параметры рудообразования в обоих районах близки, что указывает на формирование в сходных флюидных режимах. Южно-Енисейский район рассматривается как высокоперспективный, требующий дополнительных геологоразведочных работ.

Ключевые слова: Енисейский кряж, золотое оруденение, Северо-Енисейский район, Южно-Енисейский район, гранитоиды, вулканические пояса, условия локализации.

Comparative analysis of gold mineralization localization and formation conditions in the North and South Yenisei ore districts (Yenisei Ridge)

Kozlov N. N.¹, Volkov A. V.²

¹ Management company Polyus LLC, Moscow, morze49@inbox.ru

² Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences (IGEM RAS), Moscow

Abstract. The Yenisei Ridge is the largest gold-bearing province, within which two main ore districts are distinguished: the North Yenisei and South Yenisei districts. Based on the analysis of published materials, performed a comparison of the geological-structural position, material composition of host rocks, and physicochemical parameters of gold mineralization formation. It is shown that the North Yenisei district is characterized by a spatial and, probably, genetic relationship with Late Riphean granitoids of the ilmenite (reduced) series, whereas in the South Yenisei district, the control of mineralization is determined by the structures of the Rybinsk-Panimbinsky volcanic belt and intrusions of ultrabasic-basic composition. Despite the differences in magmatic associations, the physicochemical parameters of ore formation in both districts are similar, indicating formation under similar fluid regimes. The South Yenisei district is considered highly promising and requires additional geological exploration work.

Keywords: Yenisei Ridge, gold mineralization, North Yenisei district, South Yenisei district, granitoids, volcanic belts, localization conditions.

Введение

Енисейский кряж в металлогеническом плане традиционно рассматривается как одна из ведущих золотоносных провинций России. Государственным балансом здесь учтено более 200 месторождений, включая уникальное Олимпиадинское, крупные Благодатное, Советское, Эльдорадо, а также многочисленные средние и мелкие объекты. В пределах кряжа обособляются два главных рудных района – Северо-Енисейский (С-ЕРР) и Южно-Енисейский (Ю-ЕРР), которые различаются по геологическому строению, характеру магматизма и типам оруденения.

Северо-Енисейский район, где расположены месторождения Олимпиада, Благодатное, Панимба, традиционно служит эталонным для золото-сульфидного и золото-кварцевого типов, связь

которых с позднерифейским гранитоидным магматизмом считается обоснованной (Сазонов и др., 2019; Галямов и др., 2025).

Южно-Енисейский район изучен существенно слабее по сравнению с Северо-Енисейским. Это обусловлено комплексом факторов: исторически меньшими объемами геологоразведочных работ, связанными с отсутствием в районе крупных россыпных месторождений, которые послужили триггером для системных геологоразведочных работ в северной части кряжа; труднодоступностью территории и слабо развитой инфраструктурой; а также отсутствием до настоящего времени выявленных объектов уникального масштаба, аналогичных Олимпиадинскому месторождению. Район характеризуется связью золоторудных месторождений с очаговыми вулканоплутоническими ассоциациями и широким проявлением сурьмяно-золотого типа минерализации (Сердюк и Кириленко, 2013; Козлов, 2025).

Цель настоящей работы – сравнительная оценка условий локализации золотого оруденения в двух районах, а также определение перспектив Южно-Енисейского района.

Геологическая характеристика районов

Золоторудные месторождения Северо- и Южно-Енисейского рудных районов размещаются в восточной части Центрально-Ангарского террейна, в пределах Татарско-Ишимбинской зоны глубинных разломов (Галямов и др., 2025).

Разрез Северо-Енисейского рудного района сложен метаморфизованными терригенно-карбонатными отложениями кординской и горбилокской свит (сухопитская серия). Широко развиты гранитоиды ильменитовой серии (среднетырадинский, татарско-аяхтинский комплексы), с которыми установлена пространственная приуроченность золоторудных и сурьмяных проявлений. Возрастные реперы этих гранитоидов: среднетырадинский комплекс – $857 \pm 9,5$ млн лет, аяхтинский – 750 ± 2 млн лет (Ножкин и др., 2011).

Строение Южно-Енисейского района сложнее в сравнении с Северо-Енисейским. Наряду с терригенными толщами сухопитской серии (кординская, удерейская свиты) здесь широко развиты вулканогенно-осадочные образования, приуроченные к рифтогенным структурам. Ключевая роль принадлежит Рыбинско-Панимбинскому вулканическому поясу – мезопротерозойской рифтогенной структуре, выполненной породами пикробазальт-базальтовой ассоциации (Ножкин и др., 2011; Сердюк и Кириленко, 2013). В пределах пояса выделяются тела метаультрабазитов (попутнинский комплекс) и метабазитов (исаковский комплекс), с которыми пространственно ассоциирует золотое оруденение. Золоторудные объекты Ю-ЕПП представлены золото-сурьмяным (Удерейское месторождение) и золото-сульфидным (Попутнинское месторождение) типами (Аликин, 2021; Козлов, 2025).

Условия локализации и формирования оруденения

Северо-Енисейский район

Наиболее детально изучено гигантское по запасам **Олимпиадинское месторождение золота** (1560 т), с глубиной распространения руд более 1500 м (Сазонов и др., 2019). Оно приурочено к карбонатно-терригенной толще кординской свиты в пределах Медвежинской антиклинали (см. рис. 1). Рудные тела локализованы в слюдисто-кварц-карбонатных метасоматитах по углеродистым сланцам и карбонатам. Главные рудные минералы – арсенопирит, пирротин, пирит; золото тонкодисперсное. Исходя из принятой большинством исследователей гидротермальной модели образования и по данным изучения флюидных включений, ранняя золото-мышьяковая ассоциация месторождения формировалась при температуре 260–470 °С, давлении 1.1–2.5 кбар, солёности 9.5–20.0 мас. % NaCl-экв. (Гибшер и др., 2019; Петрова и др., 2021). Предполагается, что в составе флюида преобладали H_2O , CO_2 и углеводороды, что указывает на восстановленный характер системы. Возраст ранней продуктивной золото-арсенопиритовой ассоциации составляет 794.9 ± 15 млн лет, поздней сурьмяносодержащей – 615 ± 15 млн лет (Гибшер и др., 2019).

Благодатное месторождение (340 т) относится к золото-кварцевой малосульфидной формации (Колмаков и Сазонов, 2022). Рудное поле контролируется Татарским глубинным разломом

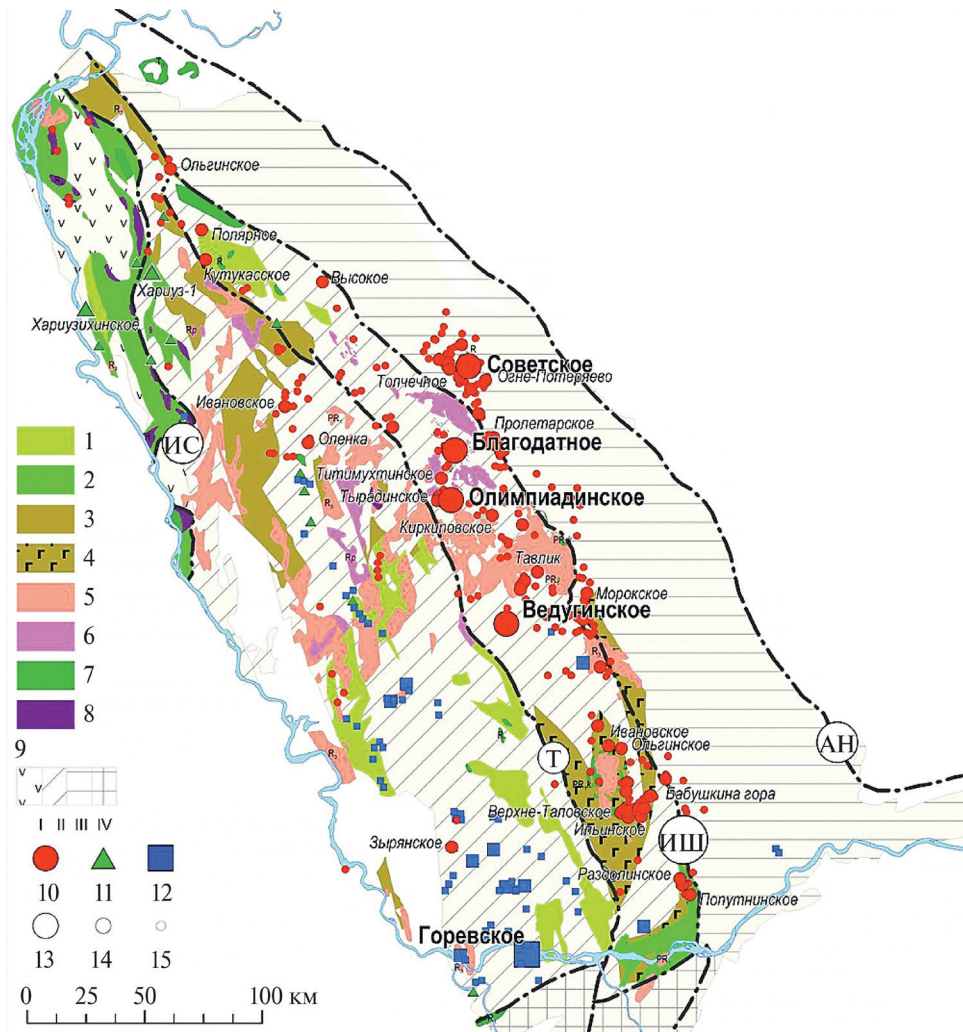


Рис. 1. Схема размещения золоторудных месторождений в структурах Енисейского кряжа (по Гальямову и др., 2025 с изменениями). Вулканогенные формации: 1 – поздний рифей (сурнихинская свита); 2 – ранний рифей (фирсовская, торжихинская, киселихинская, отравихинская свиты); 3–4 – ранний протерозой: 3 – пенченгинская свита, 4 – рыбинская и панимбинская толщи (Рыбинско-Панимбинский вулканический пояс). Плутонические комплексы: 5 – гранитоиды; 6 – диориты; 7 – базиты; 8 – ультрабазиты; 9 – террейны: I – Исаковский, II – Центрально-Ангарский, III – Восточно-Ангарский, IV – Предивинский, V – Ангаро-Канский. Разломы: ИС – Исаковский, Т – Татарский, ИШ – Ишимбинский, АН – Анкиновский. Месторождения: 10 – золоторудные; 11 – медные; 12 – свинцово-цинковые; 13–14 – масштаб месторождений: 13 – крупные, 14 – средние/мелкие; 15 – рудопроявления

Fig. 1. Scheme of the placement of goldore deposits in the structures of the Yenisei Ridge (according to Galyamov et al., 2025 with modifications). Volcanogenic formations: 1 – late rift (Surnikhinsk suite); 2 – early rift (Firsov, Torzhikhinsk, Kiselikhinsk, Otravikhinsk suites); 3–4 – early Proterozoic: 3 – Penchenginsk suite, 4 – Rybin and Panimbinsk thicknesses (RybinPanimbinsk volcanic belt). Plutonic complexes: 5 – granitoids; 6 – diorites; 7 – basites; 8 – ultrabasites; 9 – terranes: I – Isakovskiy, II – CentralAngaran, III – EasternAngaran, IV – Predivinsky, V – AngaroKansky. Faults: IS – Isakovskiy, T – Tatar, ISH – Ishimbinsky, AN – Ankinovsky. Deposits: 10 – gold; 11 – copper; 12 – leadzinc; 13–14 – scale of deposits: 13 – large, 14 – medium/small, 15 – ore manifestations

(см. рис.1), рудная зона прослежена по простиранию на 3800 м, на глубину не оконтурена. Температуры формирования кварцевых жил с высокими содержаниями золота – 230–350 °С, давления – 1.8–2.6 кбар, солёность – 9.0–23.5 мас. % NaCl-экв. (Шапаренко, 2018). В газовой фазе (по данным изучения флюидных включений) определены CO₂, CH₄, N₂; в продуктивных ассоциациях преобладает метан, отношение алканы/алкены достигает 28.5, что указывает на восстановительные условия формирования руд, которое происходило в интервале 654–698 млн лет назад (Полева и Сазонов, 2012).

Среднее по запасам **Панимбинское месторождение** расположено в 45 км на юго-восток от месторождения Олимпиада, локализовано в метапелитовых углеродсодержащих сланцах кординской свиты. Возраст руд, по Ag-Ag датированию мусковита, составляет 817–744 млн лет, что сопоставимо с возрастом гранитов Чиримбинского массива (868.9 ± 6.5 млн лет) (Сазонов и др., 2016), в экзоконтактной части которого расположено месторождение Панимба и сосредоточены все проявления золота Панимбинского рудного узла. Согласно данным изучения флюидных включений предполагаются следующие параметры формирования кварцевых жил: температура – 180–410 °С, давление – 0.2–3.3 кбар, соленость – 8.0–23.0 мас. % NaCl-экв. (Гибшер и др., 2017).

Южно-Енисейский район

Попутнинское месторождение золота – крупнейшее в Южно-Енисейском рудном районе. Оно приурочено к зоне Ишимбинского разлома (см. рис. 1) и расположено в осевой части Рыбинской горст-антиклинали (Козлов, 2025). Балансовые запасы золота месторождения составляют 78 т (Справка..., 2021). Рудовмещающие породы – метаморфизованные вулканогенно-осадочные образования панимбинской толщи (углеродистые сланцы, туфосланцы), а также тела метаультрабазитов попутнинского комплекса. Оруденение контролируется зонами лиственитизации и березитизации по контакту сланцев и ультрабазитов. В пределах месторождения выделено 46 рудных залежей линзовидно-ленточной формы, при этом около 80 % запасов сосредоточено в трех наиболее крупных. Мощность залежей варьирует от первых метров до 50 м, вертикальный размах – 550–600 м (Козлов, 2025). Золото мелкое (0.001–0.070 мм), высокопробное (936–969 ‰). Рудные минералы: пирит, арсенопирит, герсдорфит, антимонит, бертьерит. По геохимической специализации выделяются золото-мышьяковые и золото-мышьяково-сурьмяные руды с повышенными концентрациями Cr, Ni, Co (Козлов, 2025).

По данным изучения флюидных включений, формирование золотоносных метасоматитов происходило при 190–150 °С и солености 10.5–12.5 мас. % NaCl-экв., кварц-антимонитовых жил – при 220–130 °С, давлении 0.62–1.3 кбар (Дашкевич и др., 2011). Ag-Ag возраст серицита и фуксита из продуктивной ассоциации составляет – 717 ± 6 и 712 ± 6 млн лет соответственно (Ножкин и др., 2011).

Среднее по запасам **Удерейское месторождение**, расположенное в 45 км на северо-запад от месторождения Попутнинское, относится к золото-сурьмяному типу. Здесь установлено наложение поздних кварц-антимонитовых жил на раннюю золото-сульфидную минерализацию. На месторождении выделено четыре генетических типа золота, различающихся по пробности и ассоциациям (Аликин, 2021). Ag-Ag возраст сурьмяного оруденения определен во временных интервалах – 676.6 ± 2.8 и 659.1 ± 5.7 млн лет (Ножкин и др., 2011). Предполагается, что формирование Удерейского месторождения происходило при участии водно-углекислотных и углекислотно-углеводородных флюидов в интервале температур 255–330 °С, давлений 0.3–1.1 кбар и минерализации от 6 до 11 мас. % (NaCl-экв.) (Институт..., 2026).

Сводная информация по физико-химическим условиям формирования золоторудных месторождений Енисейского края приведена в табл. 1.

Таблица 1. Физико-химические условия формирования золоторудных месторождений Енисейского края

Table 1. Physicochemical conditions of gold deposit formation in the Yenisey Range

Месторождение	T, °С	P, кбар	Соленость, %	Возраст, млн лет
Северо-Енисейский район				
Олимпиада	260–470	1.1–2.5	9.5–20.0	794–615
Благодатное	230–350	1.8–2.6	9.0–23.5	754–698
Панимба	180–410	0.2–3.3	8.0–23.0	817–744
Южно-Енисейский район				
Попутнинское	130–220	0.6–1.3	10.5–12.5	717 ± 6
Удерейское	255–330	0.3–1.1	6.0–11.0	676.6 ± 2.8

Сравнительный анализ и обсуждение

Проведенное сопоставление позволяет выделить как общие черты, так и принципиальные различия в условиях локализации оруденения.

Сходства определяются, прежде всего, положением обоих районов в пределах Центрально-Ангарского террейна, а также контролем Татарско-Ишимбинской системой глубинных разломов (Галямов и др., 2025). Возрастные рубежи продуктивного оруденения также близки, соответствуют этапу позднерифейского рифтогенеза и внутриплитного магматизма (Ножкин и др., 2011). Определенный по данным изучения включений флюидный режим имеет восстановленный характер (преобладание углеводородов в газовой фазе).

Различия связаны с магматическими ассоциациями и составом рудовмещающих толщ. В Северо-Енисейском районе золотое оруденение тяготеет к позднерифейским гранитоидам ильменитовой серии (среднетырадинский, аяхтинский комплексы) и локализовано преимущественно в карбонатно-терригенных породах кординской свиты. В Южно-Енисейском районе основными магматическими комплексами выступают вулканиты Рыбинско-Панимбинского пояса (пикробазальт-базальтовая ассоциация) и интрузивные тела ультрабазитов-базитов; рудовмещающие толщи представлены вулканогенно-осадочными образованиями панимбинской толщи. Это находит отражение в геохимической специализации руд: для Ю-ЕРР типоморфны Cr, Ni, Co, что прямо указывает на влияние ультрабазитового магматизма. Тогда как для месторождений С-ЕРР характерны W, Te, Bi, отражающие связь оруденения с гранитоидами.

Физико-химические параметры рудообразования в двух районах обнаруживают как сходство, так и различия. Если в Северо-Енисейском районе температуры продуктивных стадий оцениваются в 260–470 °С (Олимпиада) и 230–350 °С (Благодатное), то в Южно-Енисейском они заметно ниже: 190–150 °С для метасоматитов и 220–130 °С для кварц-антимонитовых жил Попутнинского месторождения. Это различие, вероятно, связано с разными уровнями эрозионного среза или с длительностью остывания флюидно-магматических систем. Вместе с тем в обоих районах флюиды были восстановленными, с участием углеводородов.

Масштабы оруденения также различаются: в Северо-Енисейском районе сформировались уникальное и крупное месторождения (Олимпиада – 1560 т, Благодатное – 340 т), в Южно-Енисейском наиболее крупное Попутнинское имеет запасы 78 т. Это может объясняться недостаточной глубиной проведения поисковых работ и возможным наличием слепого оруденения. Не исключено, что истинные масштабы золотоносности Южно-Енисейского района сопоставимы с Северо-Енисейским, но рудные объекты находятся на больших глубинах.

Заключение

Сравнительный анализ условий локализации золотого оруденения в Северо- и Южно-Енисейском районах позволяет сделать следующие выводы.

1. Оба района контролируются единой Татарско-Ишимбинской системой разломов, а продуктивное оруденение приурочено к позднерифейскому этапу. Физико-химические параметры (восстановленные водно-углекислотно-углеводородные флюиды) близки, хотя температурный диапазон в Южно-Енисейском районе в целом ниже.

2. Основные различия связаны с магматическими ассоциациями: в Северо-Енисейском районе оруденение ассоциирует с гранитоидами ильменитовой серии, в Южно-Енисейском – с вулканогенными породами Рыбинско-Панимбинского пояса и интрузиями ультрабазитов-базитов. Это отражается в геохимической специализации руд (Cr, Ni, Co – для Ю-ЕРР; W, Te, Bi – для С-ЕРР).

3. Несмотря на меньшую изученность и отсутствие в настоящее время месторождений масштаба Олимпиады, Южно-Енисейский район обладает высоким ресурсным потенциалом. Этот вывод базируется на:

- единстве тектонической позиции и возраста рудообразования с высокопродуктивным Северо-Енисейским районом;
- сходстве физико-химических параметров рудообразующих флюидов;

- наличии уже выявленного крупного Попутнинского месторождения и ряда других перспективных объектов;
- установленные возраста рудообразования месторождений Южно-Енисейского района, коррелирующие с возрастами формирования руд месторождений Северо-Енисейского района;
- наличии благоприятных структурно-вещественных комплексов, включающих зоны сочленения вулканогенных толщ с ультрабазитами.

4. Для объективной оценки ресурсного потенциала Южно-Енисейского района целесообразно проведение комплекса специализированных структурно-геологических и изотопно-геохронологических исследований.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке ПАО «Полюс» и темы Госзадания ФГБУН «ИГЕМ РАН».

Литература

1. Аликин О. В. Минеральные ассоциации золота в рудах Удере́йского золото-сурьмяного месторождения (Красноярский край) // Новое в познании процессов рудообразования. М. Изд-во: ИГЕМ РАН, 2021. С. 41–44.
2. Галямов А. Л., Волков А. В., Козлов Н. Н. Пространственные соотношения металлогении золота, гранитоидного магматизма и строения земной коры (на примере Енисейского кряжа) // Исследование Земли из космоса. 2025. № 6. С. 84–96.
3. Гибшер Н. А., Рябуха М. А., Томиленко А. А., Сазонов А. М., Хоменко М. О., Бульбак Т. А., Некрасова Н. А. Характеристика металлоносных флюидов и возраст формирования золоторудного месторождения Панимба (Енисейский кряж, Россия) // Геология и геофизика. 2017. Т. 58, № 11. С. 1721–1741.
4. Гибшер Н. А., Сазонов А. М., Травин А. В., Томиленко А. А., Пономарчук А. В., Силянов С. А., Некрасова Н. А., Шапаренко Е. О., Рябуха М. А., Хоменко М. О. Возраст и продолжительность формирования Олимпиадинского месторождения (Енисейский кряж, Россия) // Геохимия. 2019. № 5. С. 548–553.
5. Гибшер Н. А., Томиленко А. А., Сазонов А. М., Бульбак Т. А., Рябуха М. А., Силянов С. А., Некрасова Н. А., Хоменко М. О., Шапаренко Е. О. Олимпиадинское золоторудное месторождение (Енисейский кряж): температура, давление, состав рудообразующих флюидов... // Геология и геофизика. 2019. Т. 60, № 9. С. 1310–1329.
6. Дашкевич Е. Г., Неволько П. А., Тимкина А. Л. Минералого-геохимические особенности руд и физико-химические условия формирования Попутнинского золоторудного месторождения (Енисейский кряж) // Сб. науч. тр. XVII науч. молодежной школы. Миасс. Изд-во: ИМин УрО РАН, 2011. С. 214–218.
7. Институт геологии и минералогии им. Н. М. Федоровского СО РАН. Лаборатория геохимии изотопов. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.igem.nsc.ru/index.php/ob-institute/struktura/laboratorii/76-unit/scientific-departments/1475-lab436> (дата обращения: 01.04.2026).
8. Козлов Н. Н. Региональное положение и геолого-структурные особенности Попутнинского золоторудного месторождения (Енисейский кряж) // Тр. Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2025. № 22. С. 403–412.
9. Колмаков Ю. В., Сазонов А. М. Реконструкция петрофизической зональности золоторудного месторождения Благодатное в Енисейском кряже: геодинамический и физико-химический аспекты // Литосфера. 2022. Т. 22, № 5. С. 667–693.
10. Ножкин А. Д., Борисенко А. С., Неволько П. А. Этапы позднепротерозойского магматизма и возрастные рубежи золотого оруденения Енисейского кряжа // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 1. С. 158–181.
11. Петрова М. А., Шапаренко Е. О., Хоменко М. О. Состав флюидных включений кварца месторождения Олимпиада (по результатам рамановской спектроскопии и термо-криометрии) // Новое в познании процессов рудообразования. М. Изд-во: ИГЕМ РАН, 2021. С. 228–230.
12. Полева Т. В., Сазонов А. М. Геология золоторудного месторождения Благодатное в Енисейском кряже. Монография. 2012. 290 С.
13. Сазонов А. М., Звягина Е. А., Силянов С. А., Лобанов К. В., Леонтьев С. И., Калинин Ю. А., Савичев А. А., Тишин П. А. Рудогенез месторождения золота Олимпиада (Енисейский кряж, Россия) // Геосферные исследования. 2019. № 1. С. 17–43.

14. Сазонов А. М., Некрасова Н. А., Звягина Е. А., Тишин П. А. Геохронология гранитов, вмещающих сланцев и руд месторождения золота «Панимба» (Енисейский край) // Журнал Сибирского федерального университета. 2016. Т. 9, № 2. С. 174–188.
15. Сердюк С. С., Кириленко В. А. Геология и перспективы золотоносности южной части Южно-Енисейского рудного района // Журнал Сибирского федерального университета. 2013. Т. 6, №8. С. 968–994.
16. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Красноярского края на 15.03.2021 г. Санкт-Петербург. Изд-во: ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2021.
Шапаренко Е. О. Золотоносные флюиды Благодатного месторождения (Енисейский край, Россия): по данным изучения флюидных включений в кварце // Новое в познании процессов рудообразования: Сб. матер. конференции. М. Изд-во: ИГЕМ РАН, 2018. С. 407–408.