

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Геология и полезные ископаемые

УДК 553.411.071

<https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-2-181-192>

Оригинальная статья

Золотое оруденение в диафоритах Верхне-Тимптонского рудного района Алдано-Станового щита

Е. Е. Лоскутов[✉], В. Ю. Фридовский, Я. А. Тарасов

*Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН,
г. Якутск, Российская Федерация
[✉]loskutov@diamond.ysn.ru*

Аннотация

В Верхне-Тимптонском золоторудном районе, расположенном в зоне сочленения Станового и Алданского блоков Алдано-Станового щита, известны крупные россыпные месторождения золота рек Гонам, Тимптон, Иенгра, разработка некоторых началась еще в конце XIX в. Несмотря на проведенные во второй половине XX столетия поисковые работы были обнаружены только небольшие золоторудные проявления с неясными генетической и пространственной связями с зеленокаменными породами и разновозрастными магматическими образованиями. Обобщение имеющихся и новых данных о геологии и металлогении Верхне-Тимптонского золоторудного района позволило установить, что проявления золота в диафоритах Холодниканского пояса имеют характерные черты орогенного типа месторождений золота с вкрапленной пиритовой и прожилковой с сульфидами Fe, Pb, Zn, Cu и сульфосолями минерализацией. Околорудные изменения представлены окварцеванием, серицитизацией, карбонатизацией и березитизацией, характерными для мезотермальных флюидных систем. Выявлены общие черты геологического строения и металлогении Верхне-Тимптонского золоторудного района и провинции Цзяодун Северо-Китайского кратона. Показано, что золоторудная минерализация Верхне-Тимптонского золоторудного района, так же как и провинции Цзяодун, пространственно связана с шовными зонами. В Верхне-Тимптонском золоторудном районе Амгинская зона тектонического меланжа в палеопротерозое была одной из структур, где проходила кратонизация блоков земной коры, а позже зоной проницаемости и концентрации разновозрастных тектонотермальных и металлогенических событий. Полученные результаты важны для правильной оценки металлогенического потенциала Верхне-Тимптонского района и Алдано-Станового щита в целом. Они позволяют повысить эффективность методики поисковых работ и локализовать объекты исследования.

Ключевые слова: золото, диафориты, Верхне-Тимптонский рудный район, Холодниканский зеленокаменный пояс, Алдано-Становой щит

Финансирование. Исследование выполнено за счет средств государственного задания ИГАБМ СО РАН (№ FUFG-2024-0006).

Для цитирования: Лоскутов Е.Е., Фридовский В.Ю., Тарасов Я.А. Золотое оруденение в диафоритах Верхне-Тимптонского рудного района Алдано-Станового щита. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2024; 29(2):181–192. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-2-181-192>

Gold mineralization in the diaphthorites of the Verkhne-Timptonskiy ore district (Aldan-Stanovoy shield)

Evgeniy E. Loskutov✉, Valery Y. Fridovsky, Yaroslav A. Tarasov

*Diamond and Precious Metal Geology Institute,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation*
✉ loskutov@diamond.ysn.ru

Abstract

In the Verkhne-Timptonskiy gold ore district, located where the Stanovoy and Aldan blocks intersect (Aldan-Stanovoy shield), substantial placer gold deposits have been found in the Gonam, Timpton, and Iengra rivers. The exploration of certain deposits in this area began at the end of the 19th century. Despite exploration efforts conducted in the second half of the 20th century, only minor gold ore findings were made, with uncertain links to greenstones and igneous formations from various periods. After conducting a thorough analysis of both existing and new data on the geology and metallogeny of the Verkhne-Timptonskiy gold ore district, we have concluded that gold occurrences in diaphthorites of the Kholodnikan belt display characteristic features of orogenic-type gold deposits. These features include disseminated pyrite and veinlet mineralization containing iron (Fe), lead (Pb), zinc (Zn), copper (Cu) sulfides, and sulfosalts. The near-ore alterations are represented by silicification, sericitization, carbonatization, and beresitization, characteristic of mesothermal fluid systems. Moreover, we identified common features of the geological structure and metallogeny of the Verkhne-Timptonskiy gold ore district and the Jiaodong province of the North China Craton. Thus, gold mineralization in the Verkhne-Timptonskiy gold ore district and the Jiaodong province is spatially associated with suture zones. In the Verkhne-Timptonskiy gold ore district, the Amga zone of tectonic melange in the Paleoproterozoic era was one of the regions where cratonization of blocks of the Earth's crust occurred. Later, it became a zone of permeability and concentration of tectonothermal and metallogenic events of various ages. The results obtained will help assess the metallogenic potential of the Verkhne-Timptonskiy district and the Aldan-Stanovoy shield as a whole. They make it possible to increase the efficiency of search operations and focus on localizing research objects.

Keywords: gold, diaphthorites, Verkhne-Timptonskiy ore district, Aldan-Stanovoy shield, Kholodnikan greenstone belt
Funding. This study was conducted within the framework of the state assignment for the DPMGI SB RAS (No. FUFG-2024-0006).

For citation: Loskutov E.E., Fridovsky V.Y., Tarasov Y.A. Gold mineralization in the diaphthorites of the Verkhne-Timptonskiy ore district (Aldan-Stanovoy shield). *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2024;29(2):181–192. (In Russ.); <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-2-181-192>

Введение

В пределах Алдано-Станового щита (АСЩ) известны крупные месторождения золота, урана, редких и редкоземельных элементов, платиноидов и других металлов. Основным добываемым видом минерального сырья здесь является золото. Геология и металлогения месторождений золота АСЩ освещена в работах [1–4 и др.]. Наиболее изучен Центрально-Алданский рудный район с известными уникальными месторождениями Эльконского, Лебединского и Куранахского рудных узлов. Другие перспективные районы, в том числе Верхне-Тимптонский, изучены хуже.

Верхне-Тимптонский золоторудный район (ВТЗР) расположен в зоне сочленения Станового и Алданского блоков АСЩ, различающихся геологическим строением и металлогенией. В ВТЗР

известны крупные россыпные месторождения золота рек Гонам, Тимптон, Иенгра и ручьев Скобельцинский, Колбочи, Утанах, Березовый, Юрский и других. На некоторых из них золотодобыча началась в конце XIX в. Между тем сопоставимых по масштабам коренных источников золота до сих пор не установлено, их возможный тип не определен, не ясна связь (генетическая и/или пространственная) с зеленокаменными породами Холодниканского пояса и магматическими образованиями. Крупные месторождения орогенного типа в зеленокаменных поясах известны на всех кристаллических щитах (Канадский, Индийский, Бразильский, Австралийский и др.). Запасы таких месторождений составляют до 1000–1500 т (Ред Лейк, Хемло, Керкленд-Лейк, Поркьюпайн в Северной Америке; Калгурли и Челленджер в Западной Австралии; Колар в Индии; Фа-

зенда Бразильеро и Мору-Велью в Бразилии; Ренко в Африке) [5].

Формирование позднемезозойских месторождений золота АСЦ в ранних работах связывалось с процессами в тылу юрско-раннемеловой активной окраины Сибирского кратона [6]. В последние годы обосновывается ассоциация рудно-магматических систем АСЦ с субдукцией Палеотихоокеанской плиты в позднем мезозое на восточной окраине Азии [7]. Эти взгляды развиваются на примере орогенных золоторудных месторождений северо-восточной окраины Северо-Китайского кратона (например, провинция Цзяодун), сходной по геологическому строению с АСЦ [2, 8–11].

Проведенные авторами исследования позволили на основе обобщения и новых данных по металлогении золота ВТЗР выполнить сопоставление с хорошо изученными золоторудными месторождениями провинции Цзяодун Северо-Китайского кратона. Полученные результаты важны для правильной оценки металлогенического потенциала Верхне-Тимптонского района и Алдано-Станового щита. Они позволяют повысить эффективность поисковых работ и локализовать объекты исследования.

Сведения о геологическом строении района

ВТЗР приурочен к южной части Амгинской зоны тектонического меланжа, отделяющей Нимнырский блок (АНМ) Центрально-Алданского супертеррейна от Западно-Алданского (WA) и Тындинского (TN) составных террейнов [6] (рис. 1, а). В ВТЗР Амгинская зона сложена гнейсами, кристаллическими сланцами, амфиболитами и кварцитами архейского и протерозойского возраста [12]. Эти комплексы в верховьях рек Тимптон и Гонам и в среднем течении р. Иенгра перекрыты юрскими и меловыми песчаниками, алевролитами и конгломератами.

Магматизм ВТЗР представлен докембрийскими ультраметаморфическими и мезозойскими интрузивными породами. В докембрийской толще широко проявлены поля мигматитов и обособленные массивы архейских(?) гранитов и плагиогранитов, древнестановых протерозойских гранитов. Возраст гранитов неричинского комплекса в ранних работах определялся как докембрийский [13], датирование U-Pb методом по циркону показало время их кристаллизации около 170 млн лет [12]. Метаморфические породы фундамента претерпели неоднократный прогрессив-

ный и регрессивный метаморфизм гранулитовой, амфиболитовой, эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций.

В мезозойский этап тектономагматической активизации докембрийские комплексы были интродуцированы гранит-гранодиоритами. С ними пространственно и генетически связаны кварц-альбит-микроклиновые метасоматиты, пропициты и березиты.

Вулканогенно-осадочные образования мезозоя Тимптонского и Токариканского грабенов в основании сложены триасовыми вулканитами, выше по разрезу – ранне- и среднеюрскими терригенными отложениями. Они с угловым несогласием перекрываются раннемеловыми отложениями преимущественно песчано-конгломератового состава.

Широко проявлены различные по составу диафториты Холодниканского зеленокаменного пояса – амфиболиты и эпидот-сланцевые кристаллосланцы. В ранних исследованиях возраст диафторитов принимался как докембрийский [16]. Позднее было показано, что эти породы могут быть связаны с процессами палеозойской или мезозойской тектономагматической активизаций [13].

Характеристика и золотоносность проявлений Верхне-Тимптонского рудного района

Минерализация ВТЗР сосредоточена в Холодникан-Иенгрском и Скабельцинском рудных полях (рис. 1, б) [1]. Холодникан-Иенгрское рудное (рис. 2) поле расположено к северо-западу от Неричинского массива и включает рудопроявления Северикан, Маристое, Надежда, Холодниканское, Геохимическое, Шатерка, Речное-1, Речное-2 и Иенгрское. Проявления Северикан, Маристое и Надежда представлены зонами дробления субмеридиональной, северо-восточной и субширотной ориентировки, а вмещающие породы – катаклазированными и окварцованными кристаллическими сланцами, гнейсами и диафторированными амфиболовыми кристаллическими сланцами. Основные рудные минералы пирит, халькопирит, галенит и сфалерит, редко блеклая руда. В рудных телах содержание Au до 91 г/т и Ag до 1384 г/т. Отмечены повышенные содержания Cu, Pb, Zn, As, Bi, Sb, Mo, Cd. Золото мелкое (менее 0,2 мм), пленочное и каплевидное, пробностью от 487 до 926 ‰ [1].

На проявлениях Холодниканское, Геохимическое и Шатерка преобладают секущие жилы кварц-карбонатного состава с сульфидной (пирит, халь-

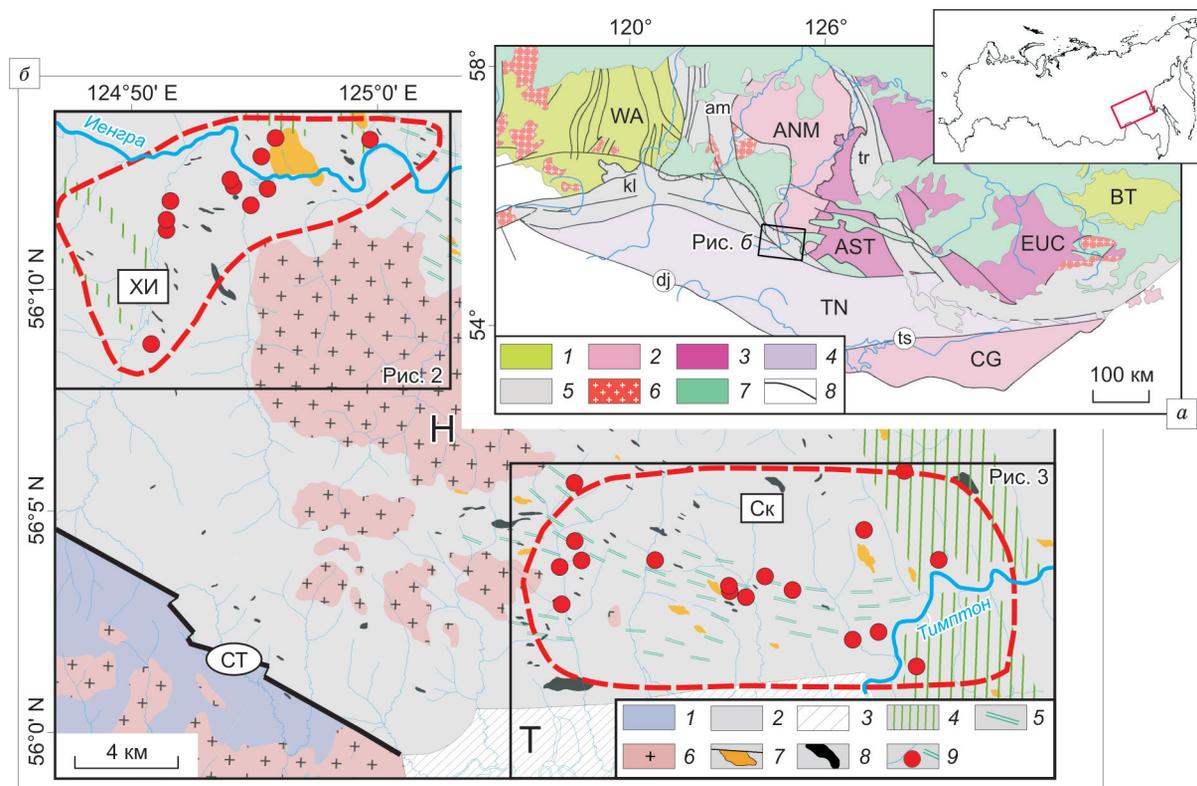


Рис. 1. Тектоническая схема Алдано-Станового щита и положение района работ (по [6] с изменениями) (а) и схема геологического строения центральной части Верхне-Тимптонского золоторудного района (по [14, 15] с изменениями и дополнениями) (б).

а: 1 – гранит-зеленокаменные террейны (WA – Западно-Алданский, BT – Батомгский); 2 – гранулит-ортогнейсовые террейны (ANM – Нимнырский, CG – Чогарский); 3 – гранулит-парагнейсовые террейны (AST – Сутамский, EUC – Учурский); 4 – тоналит-трондъемит-гнейсовый терреин (TN – Тындинский); 5 – зоны тектонического меланжа (am – Амгинская, kl – Каларская, tr – Тыркандинская); 6 – сшивающие раннепротерозойские граниты; 7 – чехол Сибирской платформы; 8 – разломы (dj – Джелтулакский, ts – Таксакандинский).

б: 1 – Становой блок; 2 – Алданский блок; 3 – Тимптонский грабен; 4, 5 – Холодниканский зеленокаменный пояс (4 – диафториты; 5 – диафторированные породы); 6 – граниты, 7 – щелочные массивы; 8 – ультраосновные породы; 9 – рудопоявления золота. Н – Неричинский гранитный массив; Т – Тимптонский грабен; Ст – Становой разлом (южная ветвь); Рудные поля: ХИ – Холодникан-Иенгрское; Ск – Скобельцинское

Fig. 1. a – Tectonic scheme of the Aldan-Stanovoy shield and the position of the work area (by [6] with changes); б – Scheme of the geological structure of the central part of the Verkhne-Timptonkiy gold ore district (by [14, 15] with changes and additions).

а: 1 – granite-greenstone terranes (WA – West Aldan, BT – Batomga); 2 – granulite-orthogneiss terranes (ANM – Nimnyr, CG – Chogar); 3 – granulite-paragneiss terranes (AST – Sutam, EUC – Uchur); 4 – tonalite-trondhjemite-gneiss terrane (TN – Tyndin); 5 – zones of tectonic mélange (am – Amga, kl – Kalar, tr – Tyrkanda); 6 – stitching Early Proterozoic granites; 7 – cover of the Siberian platform; 8 – faults (dj – Dzheltulaksky, ts – Taksakandin).

б: 1 – Stanovoy block; 2 – Aldan block; 3 – Tipton graben; 4, 5 – Holodnikan greenstone belt; 4 – diaphthorites; 5 – diafluorinated rocks; 6 – granites; 7 – alkaline massifs; 8 – ultramafic rocks; 9 – ore occurrence of gold. Letter abbreviations: Н – the Nerichin massif of granite; Т – Tipton graben; СТ – Stanovoy fault (south branch); Ore fields: ХИ – Kholodnikan-Iengra; Ск – Skobeltsinsky

копирит, галенит) минерализацией. Вмещающими породами являются интенсивно диафторированные амфибол-плагноклазовые кристаллические сланцы. При отработке россыпей в районе этих рудопоявлений отмечены крупные самородки золота и серебра, многочисленные находки галенита с примесью Au, Ag, Sb и Bi [1].

Минерализация проявлений Речное-1, Речное-2 и Иенгрское образует зоны жильного и прожилкового окварцевания в диафторитах серицит-кварц-альбитового и эпидот-серицит-хлоритового минерального состава. Основной рудный минерал – пирит. Содержание золота в зонах от 2,8 до 3,2 г/т, серебра до 58 г/т [1].

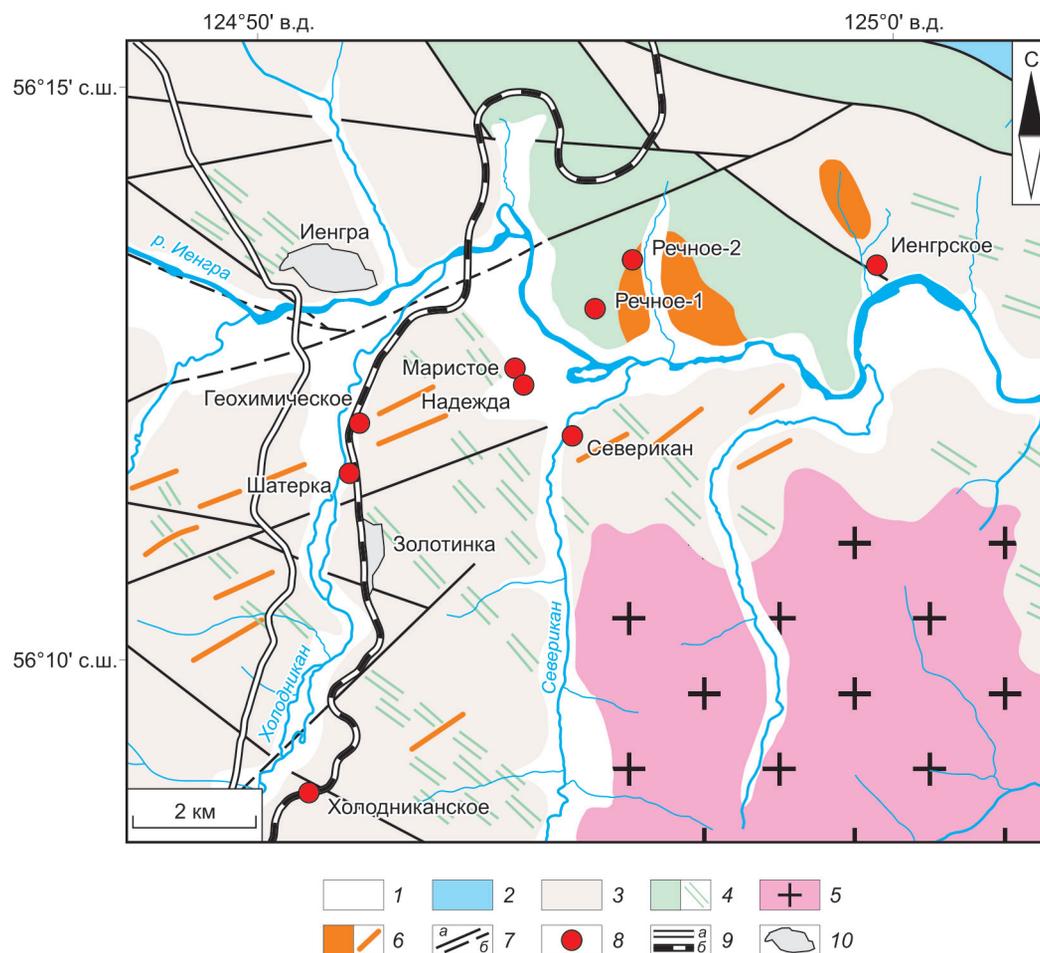


Рис. 2. Схема геологического строения Холодникан-Иенгрского рудного поля (по материалам [14, 15] с изменениями и дополнениями).

1, 2 – отложения: 1 – четвертичные, 2 – юрские терригенные; 3 – породы докембрийского фундамента; 4 – диафториты и диафторированные породы; 5 – граниты Неричинского массива; 6 – мезозойские щелочные массивы и дайки; 7 – разломы достоверные (а) и предполагаемые (б); 8 – рудопроявления золота; 9 – автомобильная (а) и железная дороги (б); 10 – населенные пункты

Fig. 2. Scheme of the geological structure of the Kholodnikan-Iengra ore field (based on materials [14, 15] with changes and additions).

1, 2 – sediments: 1 – Quaternary; 2 – Jurassic terrigenous; 3 – rock of the Precambrian basement; 4 – diaphthorite and diafluorinated rocks; 5 – granite of the Nerichin massif; 6 – Mesozoic alkaline massifs and dikes; 7 – faults reliable (a) and supposed (b); 8 – ore occurrence of gold; 9 – highway (a) and railway (b); 10 – locality

Скобельщинское рудное поле расположено к юго-востоку от Неричинского массива. Здесь известны рудопроявления Сульфидное, Гнейсовое, Пиритовое, Утанахское и др. (рис. 3).

Золотое оруденение проявления Сульфидное локализовано в зоне расланцевания и катаклаза с кварцевыми жилами протяженностью до 100 м, мощностью до 0,7–0,8 м, с гнездами и вкрапленностью пирита, халькопирита, борнита, ковеллина, малахита размером до 0,5–0,8 см. Содержание золота до 10 г/т. Вмещающие породы – серицит-хлоритовые сланцы. Основным рудным

минералом жил является пирит. Он образует в жильной массе прожилково-зернистые агрегаты мощностью до 5–10 см. В таких участках его содержание может достигать 20–40 %. Обильная вкрапленность пирита наблюдается на контакте с вмещающими породами.

Рудное тело проявления Гнейсовое падает на ЮЗ под углом 60–75°. По морфологии это субогласная жила альбит-карбонат-кварцевого, альбит-кварцевого, кварцевого состава мощностью до 2–3 м, которая сопровождается серией зон карбонат-кварцевого прожилкования мощностью до

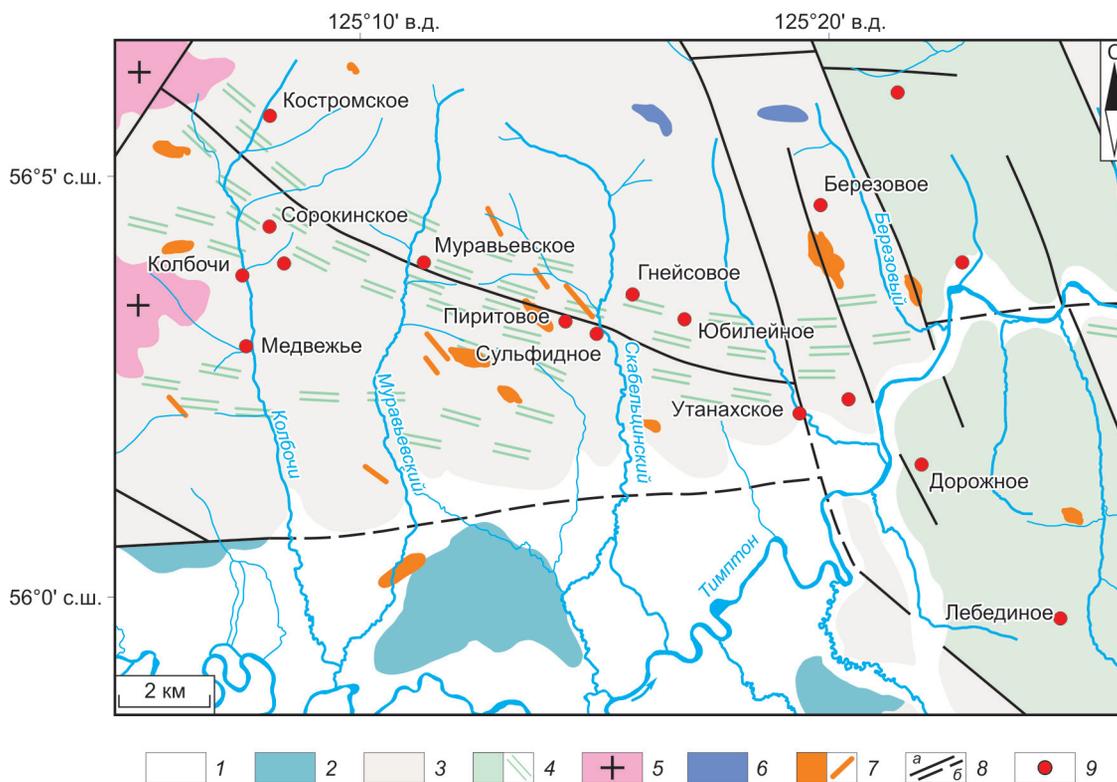


Рис. 3. Схема геологического строения Скабельцинского рудного поля (по материалам [14, 15] с изменениями и дополнениями)

1, 2 – отложения (1 – четвертичные, 2 – юрские терригенные); 3 – породы докембрийского фундамента; 4 – диафториты и диафторированные породы; 5 – граниты Неричинского массива; 6 – ультраосновные и основные докембрийские интрузии; 7 – мезозойские щелочные массивы и дайки; 8 – разломы достоверные (а) и предполагаемые (б); 9 – рудопроявления золота

Fig. 3. Scheme of the geological structure of the Scabeltsinsky ore field (based on materials [14, 15] with changes and additions). 1, 2 – sediments: 1 – Quaternary; 2 – Jurassic terrigenous; 3 – rock of the Precambrian basement; 4 – diaphthorite and diafluoridated rocks; 5 – granite of the Nerichin massif; 6 – Precambrian ultramafic and mafic rocks; 7 – Mesozoic alkaline massifs and dikes; 8 – faults reliable (a) and supposed (b); 9 – ore occurrence of gold.

первых десятков метров и вкрапленностью пирита, реже халькопирита и галенита. Содержание сульфидов не превышает 1–3 %. Вмещающие породы серицит-хлоритовые, плагиоклаз-хлоритовые сланцы, интенсивно хлоритизированные, окварцованные и карбонатизированные габбро-амфиболиты и диафторированные биотитовые, биотит-амфиболовые гнейсы с рассеянной вкрапленностью пирита.

Рудопроявление Пиритовое приурочено к мощной (>200 м) зоне карбонат-хлорит-серицит-кварц-альбитовых метасоматитов протяженностью ~2200 м в крыле складки с падением пород на юг и юго-запад под углами от 35 до 60° (в среднем 50°). Вмещающие породы хлорит-серицитовые кристаллические сланцы (рис. 4). В метасоматитах минерализация локализована в линзах и жилах кварца мощностью до 0,5–5,0 м с карбонатом, серицитом и сульфидами (1–5 %),

главным образом пиритом, реже халькопиритом, молибденитом, галенитом. В метасоматитах и сульфидно-кварцевых жилах содержание золота от 0,1 до 14 г/т. Золото мелкое (<0,2 мм), пробыность 727–989 ‰ [1]. В кварце с вкрапленностью пирита атомно-абсорбционным методом определено содержание золота 1,78 г/т.

Сходная с проявлением Пиритовое минерализация наблюдается в среднем и верхнем течении руч. Скабельцинский. Здесь среди хлорит-серицитовых сланцев развиты согласные и продольно секущие кварцевые жилы с пиритом и галенитом мощностью до 25 см, зоны кварцевого прожилкования мощностью около 2 м (см. рис. 4). Содержание Au в штучных пробах из кварцевых жил до 0,36 г/т. В верхьях руч. Скабельцинский среди кварцит-серицитовых сланцев, диафторированных амфибол-плагиоклазовых и амфибол-двупироксеновых гнейсов на-



Рис. 4. Минерализация рудопоявления Пиритовое (*а, б*) и среднего течения руч. Скабельцинский (*в, з*): *а* – обломки кварц-полевошпатовой жилы; *б* – хлорит-серичитовые сланцы; *в* – амфибол-двупироксеновые кристаллосланцы с вкрапленностью пирита (Py); *з* – кварцевая жила с вкрапленностью пирита (Py)

Fig. 4. Mineralization of the Piritovoe occurrence (*a, b*) and middle flow of the Scabeltsinsky creek (*v, z*): *a* – fragments of quartz-feldspar veins; *b* – chlorite-sericite crystalline schists; *v* – amphibole-two-pyroxene crystalline schists with inclusions of pyrite (Py); *z* – quartz vein with disseminations of pyrite (Py)

блюдается кварцевая жила мощностью около 70–80 см, по зальбандам которой развиваются гнезда и вкрапленность пирита (см. рис. 4, *з*). Содержание золота в кварцевой жиле по данным атомно-абсорбционного анализа составляет 0,14 г/т.

Рудопоявление Утанахское расположено в низовьях руч. Утанах. Рудные тела – серии кварц-карбонатных жил с вкраплениями и гнездами пирита и халькопирита. Вмещающие породы – эпидот-слюдистые и хлоритовые кристаллические сланцы флюидално-линзовидного строения (рис. 5).

Сопоставление проявлений

Верхне-Тимптонского рудного района и месторождений золота провинции Цзяодун

Месторождения золота провинции Цзяодун расположены на северо-восточной окраине Северо-Китайского кратона среди архейских зеленокаменных поясов. Это одна из крупнейших золотоносных провинций мира, где разведано более 5000 т золота [8]. Провинция отличается

высокой концентрацией крупных месторождений, благодаря этому здесь находится 36,7 % ресурсов золота Китая [17]. Формирование золотого оруденения происходило около 120 млн лет назад, на 2 млрд лет позже, чем региональный метаморфизм, синхронно позднемезозойской декратонизации и магматической активности [18]. Месторождения контролируются линейными региональными второстепенными разломами, связанными с литосферно-коровой шовной зоной Тан-Лу. Месторождения сформировались в транс-прессивном и транс-тенсивном тектоническом режиме в период субдукции Палеотихоокеанской плиты в условиях хрупкой деформации [18]. Вмещающими оруденение породами обычно являются позднеюрские–раннемеловые известково-щелочные граниты, реже докембрийские гнейсы. Основные рудные минералы – пирит, халькопирит, галенит и сфалерит, самородное золото, электрум, кюстелит, петцит и калаверит. Золото встречается также в небольших количествах в виде твердого раствора (Au^+) и/или наночастиц (Au^0) в пирите [8, 19]. В околорудных

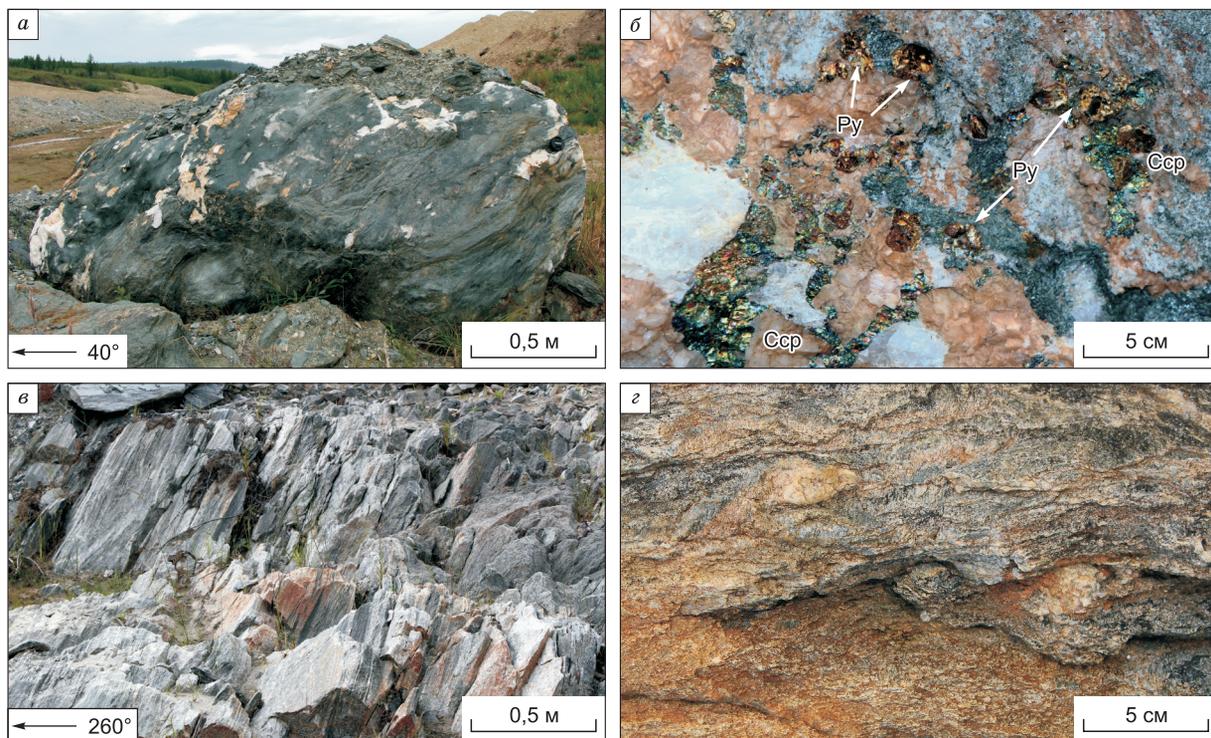


Рис. 5. Минерализация рудопроявления Утанахское. *а* – валуны хлоритовых сланцев с кварц-карбонатными жилами; *б* – вкрапления и гнезда пирита (Py) и халькопирита (Ccp) в кварц-карбонатной жиле; *в* – хлорит-кварцевые кристаллические сланцы; *г* – флюидально-линзовидные текстуры кристаллических сланцев

Fig. 5. Mineralization of the Utanahskoe occurrence. *a* – boulder of chlorite crystalline schists with quartz-carbonate veins; *б* – disseminations and nest of pyrite (Py) and chalcopyrite (Ccp) in the quartz-carbonate vein; *в* – chlorite-quartz crystalline schists; *г* – fluid-lenticular textures of crystalline schists

измененных породах обычно калиевый полевой шпат, хлорит, серицит, кварц, а также карбонат [20, 21]. Характеристики золоторудных месторождений провинции Дзяодун типичны для орогенных месторождений золота [22]. Предполагается, что источником флюидов были субдукцированная Палеотихоокеанская плита и перекрывающие ее обогащенные пиритом осадки и/или метасоматизированная мантийная литосфера [8, 22]. Допускается незначительный вклад коровых компонентов из докембрийских пород фундамента.

В таблице приведены главные характеристики золотого оруденения провинции Цзяодун и ВТЗР. Несмотря на то что данных по рудообразующим системам проявлений ВТЗР немного и они нуждаются в дополнительном изучении, выявляется много общих черт в геологическом строении и металлогенической эволюции регионов.

Оба золоторудных района пространственно связаны с литосферно-коровыми шовными зонами. Для провинции Цзяодун это шовная зона

Тан-Лу, для ВТЗР – Амгинская. Вмещающими породами обоих районов являются докембрийские кристаллические комплексы, метаморфизованные в эпидот-амфиболитовой и гранулитовой фациях. Как правило, месторождения провинции Цзяодун и ВТЗР имеют схожие минеральные ассоциации. Основными минералами в рудах сравниваемых объектов являются пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, блеклые руды, самородное золото, кварц, полевой шпат, карбонат. Во вмещающих породах проявлены окварцевание, серицитизация, карбонатизация и березитизация. Возраст месторождений провинции Цзяодун около 120 ± 10 млн лет. Он близок, с учетом погрешности анализов, изотопному возрасту некоторых золоторудных месторождений в докембрийских комплексах Алдано-Станового щита [23, 25].

Приведенные характеристики месторождений провинции Цзяодун и их сопоставление с изученными золоторудными месторождениями ВТЗР позволяют отнести последние к орогенному типу.

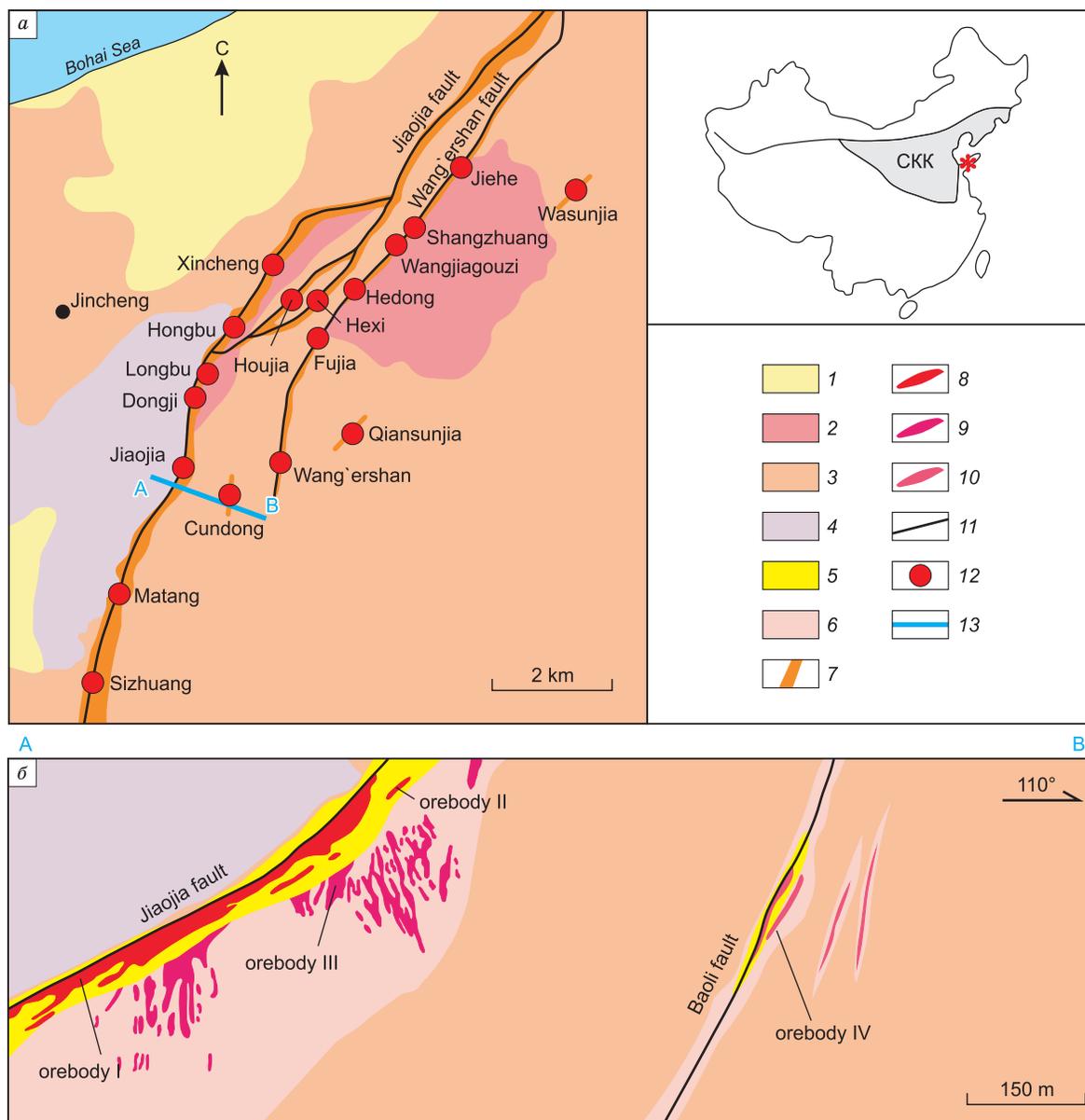


Рис. 6. Геологическая карта (а) и разрез (б) золоторудного месторождения Цзяоцзяо провинции Цзяодун [19].

1 – четвертичные отложения; 2 – раннемеловые граниты Гуоджиалин; 3 – позднеюрские граниты Линглон; 4 – архейские амфиболиты; 5 – пирит-серицит-кварцевые метасоматиты; 6 – полевошпат-хлорит-серицит-кварцевые метасоматиты; 7 – зоны метасоматоза; 8 – вкрапленная и штокверковая минерализация; 9 – минерализация в пирит-мусковит-кварцевых жилах; 10 – золотосодержащие кварц-сульфидные жилы; 11 – основные разломы; 12 – месторождения; 13 – линия разреза

Fig. 6. Geological map (a) and cross section (b) of the Jiaojiao gold deposit in the Jiaodong province [19].

1 – Quaternary sediments; 2 – Lower Cretaceous Guojialing granites; 3 – Upper Jurassic Linglong granites; 4 – Archean amphibolites; 5 – Pyrite-sericite-quartz alteration zone; 6 – K-feldspar-chlorite-sericite-quartz alteration zone; 7 – Alteration zone; 8 – Disseminated and stockwork-style mineralization; 9 – Thin pyrite-muscovite-quartz vein-style mineralization; 10 – Auriferous quartz-sulfide vein-style mineralization; 11 – Major faults; 12 – Gold deposits; 13 – Cross section

Заклучение

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Золоторудная минерализация ВТЗР, так же как и провинции Цзяодун, пространственно свя-

зана с шовными зонами. В ВТЗР такой региональной тектонической структурой является Амгинская зона тектонического меланжа. В палеопротерозое она была одной из структур, где проходила кратонизация блоков земной коры, а

Характеристика золоторудных месторождений провинции Цзяодун Северо-Китайского кратона и рудопроявлений Верхне-Тимптонского района Алдано-Станового щита орогенного типа

Typical features of gold orogenic deposits in the Jiaodong province of the North China Craton and gold occurrences in the Verkhne-Timptonskiy district of the Aldan-Stanovoy shield

Провинция / Рудный район	Цзяодун	Верхне-Тимптонский
Тектонические структуры	Второстепенные разломы литосферно-коровой шовной зоны Тан-Лу	Литосферно-коровая Амгинская зона тектонического меланжа
Вмещающие породы	Позднеархейский тоналит-гранодиоритовый комплекс (2,6–2,9 млрд лет). Гранитные батолиты мезозойского возраста (160–110 млн лет)	Архейские и протерозойские гнейсы, кристаллические сланцы, амфиболиты и кварциты
Региональный метаморфизм	Амфиболитовая и гранулитовая фация	Эпидот-амфиболитовая фация
Метасоматические процессы	Окварцевание, серицитизация, пиритизация, калишпатизация	Окварцевание, серицитизация, березитизация, карбонатизация
Рудные тела	Золотокварцевые жилы, штокверки, прожилково-вкрапленная сульфидная минерализация	Кварцевые жилы, штокверки, прожилково-вкрапленная сульфидная минерализация
Рудные минералы	Главные – пирит, второстепенные – халькопирит, галенит, сфалерит, самородное золото, электрум, кюстелит, петцит и калаверит.	Главные – пирит, второстепенные – халькопирит, галенит, сфалерит, блеклые руды, самородное золото
Возраст	120 ± 10 млн лет	Ранний мел (?)
Тип месторождения	Орогенный	Орогенный (?)
Рудные флюиды	Низкая соленость 0–11 мас. % NaCl H ₂ O–CO ₂ –NaCl ± CH ₄	Нет данных
T, P	170–335 °C 0,7–2,5 кбар	Нет данных
h, O, C изотопы	δ ¹⁸ O _{H₂O} 7,0 – 10,9 ‰, δD -81 – -64 ‰	Нет данных
Изотоп серы	δ ³⁴ S 5,8 – 7,0 ‰	Нет данных
Источники	[9–11]	[1], эта статья

позже зоной проницаемости и концентрации разновозрастных тектонотермальных и металлогенических событий.

2. Положение рудопроявлений ВТЗР определяется линейными зонами диафторитов Холодниканского зеленокаменного пояса и, локально, позднеюрско-раннемеловыми дайками и малыми интрузиями щелочного (субщелочного) состава.

3. Жильные минеральные ассоциации (пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, блеклые руды, самородное золото, кварц, полевой шпат, карбонат) и околорудные изменения (окварцевание, серицитизация, карбонатизация и березитизация) характерны для мезотермальных флюидных систем.

4. Проявления золота в диафторитах Холодниканского пояса имеют характерные черты орогенного типа месторождений золота. Зоны диафторитов кроме жильно-прожилкового оруденения несут рассеянную вкрапленную минерализацию пирита с повышенными содержаниями золота.

рализацию пирита с повышенными содержаниями золота.

Список литературы / References

1. Ветлужских В.Г. Золотоносность Северо-Становой металлогенической зоны (Южная Якутия, Амурская область). *Отечественная геология*. 2007;(1):59–71.

Vetluzhskikh V.G. Gold content of the North Stanovoy metallogenic zone (South Yakutia, Amur region). *Otechestvennaya geology*. 2007;(1):59–71. (In Russ.)

2. Казанский В.И., Яновский В.М. Сопоставление мезозойских золоторудных районов Сино-Корейского и Алдано-Станового щитов. *Геология рудных месторождений*. 2006;48(1):51–70.

Kazansky V.I., Yanovsky V.M. Comparison of Mesozoic gold district of the Sino-Korean and Aldan-Stanovoi shields. *Geology of ore deposits*. 2006;48(1):51–70.

3. Молчанов А.В., Терехов А.В., Шатов В.В. и др. Золоторудные районы и узлы Алдано-Становой металлогенической провинции. *Региональная геология и металлогения*. 2017;(71):93–111.

Molchanov A.V., Terekhov A.V., Shatov V.V., et al. Gold ore districts and ore cluster of the Aldanian Metal-

- logenic Province. *Regional Geology and Metallogeny*. 2017;(71):93–111. (In Russ.)
4. Попов Н.В., Шапорина М.Н., Амузинский В.А. и др. Металлогения золота Алданской провинции. *Геология и геофизика*. 1999;40(5):716–728.
- Popov N.V., Shaporina M.N., Amuzinskii V.A., et al. Gold metallogeny in the Aldan Province. *Russian Geology and Geophysics*. 2007;48(12):1257–1275.
5. Сафонов Ю.Г., Попов В.В., Волков А.В. и др. Актуальные проблемы металлогении золота. *Геология и геофизика*. 2007;48(12):1257–1275.
- Safonov Yu.G., Popov V.V., Volkov A.V., et al. Topical problems of gold metallogeny. *Russian Geology and Geophysics*. 2007;48(12):1257–1275. (In Russ.)
6. Парфенов Л.М., Кузьмин М.И. *Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия)*. М.: МАИК «Наука/Интерпериодика»; 2001. 571 с.
- Parfenov L.M., Kuzmin M.I. *Tectonics, geodynamics and metallogeny of the territory of the Republic Sakha (Yakutiya)*. Moscow: MAIK “Nauka/Interperiodika”; 2001. P. 571 (In Russ.)
7. Khomich V.G., Boriskina N.G., Santosh M. Geodynamics of late Mesozoic PGE, Au, and U mineralization in the Aldan shield, North Asian Craton. *Ore Geology Reviews*. 2015;68:30–42.
8. Deng J., Wang Q.F., Santosh M., et al. Remobilization of metasomatized mantle lithosphere: a new model for the Jiaodong gold province, eastern China. *Mineralium Deposita*. 2020;55(2):257–274. <https://doi.org/10.1007/s00126-019-00925-0>.
9. Fun H.R., Hu F.F., Yang J.H., Zhai M.G. Fluid evolution and large-scale gold metallogeny during Mesozoic tectonic transition in the Jiaodong Peninsula, eastern China. *Geological Society. London. Special Publications*. 2007;280:303–316. <https://doi.org/10.1144/SP280.16>.
10. Qiu K.F., Goldfarb R.J., Deng J., et al. Gold deposits of the Jiaodong Peninsula, Eastern China. *Society of Economic Geologists*. 2020;23:753–773. <https://doi.org/10.5382/SP.23.35>.
11. Wen B.J., Fan H.R., Santosh M., et al. Genesis of two different types of gold mineralization in the Linglong gold field, China: Constrains from geology, fluid inclusions and stable isotope. *Ore Geology Reviews*. 2015;65:643–658. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.03.018>.
12. Радьков А.В. *Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Алдано-Забайкальская. Лист О-51 – Алдан. Объяснительная записка*. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ; 2015. 365 с.
- Rad'kov A.V. *State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000 (third generation). Aldano-Zabaikalskaya series. Sheet O-51 – Aldan. Explanatory letter*. SPb.: VSEGEI Cartographic Factory; 2015. 365 p.
13. Котов А.Б., Ларин А.М., Смелов А.П. и др. Возрастные границы проявления зеленосланцевого диафтореза в зоне Станового структурного шва. *Доклады РАН*. 2015;463(6):687–691. <https://doi.org/10.7868/S0869565215240184>.
- Kotov A.B., Larin A.M., Smelov A.P., et al. Age boundaries for the manifestation of greenschist diaphthoresis in the Stanovoi structural suture zone. *Doklady Earth Sciences*. 2015;463(6):687–691. (In Russ.)
14. Кац А.Г. *Объяснительная записка к геологической карте СССР масштаба 1 : 200 000. Алданская серия, лист О-51-XXXVI*. М: ЦСП ХП ВГФ; 1965. 115 с.
- Katz A.G. *Explanatory note to the geological map of the USSR, scale 1: 200,000. Aldan series, sheet O-51-XXXVI*. M: TsSP KhP VGF; 1965. 115 p. (In Russ.)
15. Кац А.Г. *Объяснительная записка к геологической карте СССР масштаба 1 : 200 000. Алданская серия, лист О-51-XXXV*. М: ЦСП ХП ВГФ; 1976. 120 с.
- Katz A.G. *Explanatory note to the geological map of the USSR, scale 1: 200,000. Aldan series, sheet O-51-XXXV*. M: TsSP KhP VGF; 1976. 120 p. (In Russ.)
16. Кориковский С.П. *Метаморфизм, гранитизация и постмагматические процессы в докембрии Удокано-Становой зоны*. М.: Наука; 1967. 300 с.
- Korikovskiy S.P. *Metamorphism, granitization and postmagmatic processes in the Precambrian Udokan-Stanovoy zone*. Moscow: Nauka; 1967. 300 p. (In Russ.)
17. *China Mineral Resources 2019*. Ministry of Natural Resources, PRC. Beijing: Geological Publishing House; 2019. P. 68.
18. Deng J., Yang L.Q., Li R.H., et al. Regional structural control on the distribution of world-class gold deposits: an overview from the giant Jiaodong Gold Province, China. *Geological Journal*. 2019;54:378–391. <https://doi.org/10.1002/gj.3186>.
19. Yang L.Q., Deng J., Wang Z.L., et al. Relationships between gold and pyrite at the Xincheng gold deposit, Jiaodong Peninsula, China: implications for gold source and deposition in a brittle epizonal environment. *Economic Geology*. 2016;111:105–126. <https://doi.org/10.2113/econgeo.111.1.105>.
20. Deng J., Wang C.M., Bagas L., et al. Cretaceous–Cenozoic tectonic history of the Jiaojia Fault and gold mineralization in the Jiaodong Peninsula, China: constraints from zircon U–Pb, illite K–Ar, and apatite fission track thermochronometry. *Mineralium Deposita*. 2015;50:987–1006. <https://doi.org/10.1007/s00126-015-0584-1>.
21. Li L., Santosh M., Li S.R. The ‘Jiaodong type’ gold deposits: characteristics, origin and prospecting. *Ore Geology Reviews*. 2015;65:589–611. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.06.021>.
22. Goldfarb R.J., Santosh M. The dilemma of the Jiaodong gold deposits: are they unique? *Geoscience Frontiers*. 2014;5:139–153. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2013.11.001>.
23. Степанов В.А. *Бамское золоторудное месторождение (геология, минералогия, геохимия)*. Владивосток: Дальнаука; 1998. 209 с.
- Stepanov V.A. *Bam gold deposit (geology, mineralogy, geochemistry)*. Vladivostok: Dalnauka; 1998. 209 p. (In Russ.)

Е. Е. Лоскутов и др. ♦ Золотое оруденение в диафторитах Верхне-Тимптонского рудного района...

24. Степанов В.А. Этапы формирования и генезис золоторудных месторождений Приамурья. *Доклады РАН*. 2005;403(1):83–87.

Stepanov V.A. Stages of formation and genesis of gold deposits in the Amur region. *Doklady Earth Sciences*. 2005;403(1):83–87. (In Russ.)

25. Кардашевская В.Н. Золотое оруденение Алгоминского рудного узла Южно-Алданской металло-

генической зоны: минералогия и условия образования руд. Дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Якутск. 2022. 132 с.

Kardashevskaya V.N. *Gold mineralization of the Algominsky ore cluster of the South Aldan metallogenic zone: mineralogy and conditions of ore formation*. Diss. ... Cand. Sci. Yakutsk. 2022. 132 p. (In Russ.)

Об авторах

ЛОСКУТОВ Евгений Евгеньевич, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0001-7491-1067>, ResearcherID: ААО-4823-2021, Scopus Author ID: 57205150102, SPIN: 3030-3370, e-mail: loskutov@diamond.ysn.ru

ФРИДОВСКИЙ Валерий Юрьевич, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор, <https://orcid.org/0000-0002-4994-2141>, Scopus Author ID: 6505824025, SPIN: 3383-0398, e-mail: fridovsky@diamond.ysn.ru

ТАРАСОВ Ярослав Алексеевич, младший научный сотрудник, <https://orcid.org/0009-0002-1524-2013>, ResearcherID: RID70503, Scopus Author ID: 57220984194, SPIN: 7004-9761, e-mail: t.yaroslav_96@mail.ru

Вклад авторов

Лоскутов Е.Е. – проведение исследования, создание черновика рукописи

Фридовский В.Ю. – разработка концепции, проведение исследования, создание черновика рукописи, редактирование рукописи

Тарасов Я.А. – визуализация

Конфликт интересов

Один из авторов – член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор Фридовский В.Ю. является заместителем главного редактора журнала «Природные ресурсы Арктики и Субарктики». Авторам неизвестно о каком-либо другом потенциальном конфликте интересов, связанном с этой статьей.

About the authors

LOSKUTOV, Evgeniy Evgenievich, Cand. Sci. (Geol. and Mineral.), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-7491-1067>, ResearcherID: ААО-4823-2021, Scopus AuthorID: 57205150102, SPIN: 3030-3370, e-mail: loskutov@diamond.ysn.ru

FRIDOVSKY, Valery Yurievich, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Geol. and Mineral.), <https://orcid.org/0000-0002-4994-2141>, Scopus Author ID: 6505824025, SPIN: 3383-0398, e-mail: fridovsky@diamond.ysn.ru

TARASOV, Yaroslav Alekseevich, Junior Researcher, <https://orcid.org/0009-0002-1524-2013>, ResearcherID: RID70503, Scopus Author ID: 57220984194, SPIN: 7004-9761, e-mail: t.yaroslav_96@mail.ru

Authors' contribution

Loskutov E.E. – investigation, original draft

Fridovsky V.Y. – conceptualization, investigation, original draft, review & editing

Tarasov Y.A. – visualization

Conflict of interest

One of the authors, Fridovsky V.Yu., Corresponding member of RAS, Dr. Sci. (Geol. and Mineral.), Professor, Director is the Deputy Editor-in-Chief for the journal “Arctic and Subarctic Natural Resources”. The authors are not aware of any other potential conflict of interest relating to this article.

Поступила в редакцию / Submitted 17.01.2024

Поступила после рецензирования / Revised 20.02.2024

Принята к публикации / Accepted 12.03.2024