

### Геолого-структурная позиция и генезис золоторудного месторождения Совиное (Чукотка)

По результатам проведённых геологоразведочных работ уточнены условия локализации крупного золото-кварцевого месторождения Совиное. Установлено, что рудные тела жильного и штокверкового типов приурочены к пологим шарьяжно-надвиговым зонам на участках их пересечения крутопадающими разрывными нарушениями. Рудоотложение протекало на фоне длительных тектонических подвижек при участии золотоносных флюидов, поступавших из глубинных магматических очагов, обогащённых метаном и углекислотой на этапе активизации орогена. Флюидный поток приурочен к разломам глубинного заложения и являлся основной причиной преобразования тектонизированных терригенно-осадочных пород в углеродистые сланцы и формирования кварцево-жильного золотого оруденения.

*Ключевые слова:* золото-кварцевое месторождение Совиное, флюидный поток, золотое оруденение, разрывные нарушения.

ЛАДНЫЙ ОЛЕГ САВЕЛЬЕВИЧ, руководитель Управления проектами Дирекции стратегического развития, OSladnyy@armz.ru

АО «Эльконский ГМК», г. Москва

### Geological-structural position and genesis of the Sovinoe gold ore deposit in Chukotka

O. S. LADNY

AO "Elkonsky GМК", Moscow

The localization conditions for the large Sovinoe gold-quartz deposit were clarified based on results of the geological exploration. It has been ascertained that the vein- and stockwork-type ore bodies are confined to gentle tectonic nappe zones in sites where they are crossed by steeply dipping faults. Ore deposition occurred under conditions of long-term tectonic movements, with participation of gold-bearing fluids enriched in methane and carbon dioxide, coming from deep-seated magmatic chambers at the stage of the orogen activation. The fluid flow was confined to deep-seated faults and represented the main factor for the transformation of tectonized terrigenous-sedimentary rocks into carbonaceous shales and for the formation of quartz-veined gold mineralization.

*Key words:* Sovinoe gold-quartz deposit, fluid flow, gold mineralization, faults.

**Введение.** В течение 1960-х гг., вслед за разведкой и освоением Ичуевемских россыпей, дошла очередь и до бассейнов рек Пильхинкууль и Рывеем, где довольно быстро были разведаны уникальные по масштабам и богатству россыпи, впоследствии давшие название Пильхинкууль-Рывеемскому золотоносному узлу (ПРЗУ). В течение сорока последующих лет здесь были добыты около 300 т россыпного золота.

До начала 1970-х гг. основной целью геологических исследований, несмотря на их комплексный характер, была оценка перспектив россыпной золотоносности, а коренные проявления золоторудной минерализации и вмещающих её структур рассматривались как поисковый признак для прогнозирования россыпей с учётом геоморфологической ситуации. Все исследователи отмечали, что золотоносность связана с жилами

кварцевого, кварц-сульфидного и кварц-карбонатного состава, а также с особым типом минерализации – зонами кварцевого прожилкования, субсогласными слоистости пород. Однако перспективы выявления коренных месторождений считались низкими.

В дальнейшем, когда были разведаны россыпи бассейнов рек Рывеем и Пильхинкууль, всё больше исследований было направлено на оценку коренной золотоносности. При этом в геологической среде производственного объединения «Севостгеология», которое объединяло 16 экспедиций Магаданской области (включая Чукотский АО), по отношению к коренной золотоносности существовало устойчивое представление о том, что в районах россыпных узлов поиски крупных месторождений коренного золота бесперспективны в связи с их «эродированностью». В тот

период в производственных отчётах при оценке золотоносности придавалось большое значение морфоструктурному анализу территории с целью определения уровня эрозионного среза коренных источников как индикаторов россыпей.

Тем не менее в 1980-х гг. была разработана модель гидротермального рудообразования в пределах ПРЗУ, основанная на результатах изучения рудопоявлений Рывеемское, Совиное, Дор (В.С. Стрешневский и др., 1975 ф, 1980 ф, О.С. Ладный и др., 1987 ф, А.А. Устинов и др. 1989 ф). В основу модели положены главные критерии коренной золотоносности: наличие гранитоидной интрузии – поставщика золота в гидротермы и доинтрузивных (дорудных) разрывных нарушений глубокого заложения северо-западного простирания, контролирующего размещение раннетриасового габброидного и раннемелового гранитоидного магматизма, играющих роль рудопроводящих каналов. Особая роль отводилась поперечным к генеральному направлению складчатости северо-восточным глубинным разломам, которые при пересечении с северо-западными нарушениями являлись благоприятными структурами для локализации оруденения. Меньшая роль отводилась литологическому критерию: наличию терригенных толщ с повышенной известковистостью и углеродистостью как осадителей золота из растворов и существенно песчаниковых отложений палеозоя, чувствительных к деформациям и благоприятных для формирования трещин растяжения и скола при образовании складчатости и миграции гидротермальных растворов.

В генетическом отношении была принята модель метаморфогенно-гидротермальной природы оруденения, обосновывалась генетическая и парагенетическая связь как с осадочными сульфидизированными комплексами, обогащёнными органическим веществом, так и с гранитоидным магматизмом. Магматические породы в районе месторождения Совиное неизвестны, однако по геофизическим данным на глубине предполагался гранитный интрузив.

Оценочные работы на рудопоявлении Совиное (Э.С. Алдаков, 1996 ф), проведённые в 1990-х гг. одновременно с рядом тематических исследований отрядами ЦКТЭ СВПО, Магаданского филиала ХПИ, СВФ ЦНИГРИ, САИГИМСА, позволили изучить многие вопросы процесса рудообразования, формирования структур рудных полей и разработать подход к пониманию золото-

носности рудного узла в целом. Сотрудниками Среднеазиатского института (САИГИМС) Х.К. Каримовым (1992 ф) и П.А. Мухиным (1993 ф) было высказано предположение о наличии на площади крупных зон пологих дислокаций, намечена этапность их формирования и указаны пространственно-временные связи этих структур с золотым оруденением.

С этого момента в научной литературе [2–7] появилось и надолго устоялось представление о месторождении Совиное как о типичном золоторудном объекте жильного типа, локализованном в замке и северо-западном крыле Рывеемской антиклинальной складки, образованной терригенно-карбонатными отложениями среднего карбона на пересечении разломов северо-восточного и северо-западного простирания. Рудные тела рассматривались как золотоносные кварцевые жилы, приуроченные к замку складки в углистых терригенных породах (переслаивание тонкозернистых песчаников с углистыми сланцами), интенсивно смятых и будинированных. Были выделены две разновозрастные группы кварцевых жил: безрудные кварцевые с пиритом и кальцитом и рудные арсенопирит-кварцевые с золотом. Последние имеют седловидную форму и аналогичны жилам месторождения Бендиго (рис. 1). При этом, по описанию тех же исследователей, жилы могут представлять собой кварцево-жильные тела сложной морфологии на крыльях и в замках мелких антиклинальных складок, в пластично-смятых и милонитизированных сланцевых толщах в зоне разлома. Протяжённость подобных рудных кварцево-жильных тел оценивалась от 120 до 800 м при мощности 0,3–2,5 м [3].

Следующая попытка оценки месторождения Совиное была предпринята в 2008–2009 гг. компанией Highland Gold Mining с целью представить золоторудный объект в виде штокверка – крупнообъёмного месторождения. По сути, по результатам предыдущих работ было выполнено оконтуривание минерализованной части жильной системы средствами ГИС-моделирования с рядом допущений. Была получена каркасная модель, включавшая все ранее установленные рудные пересечения, однако проведённая на тот момент технико-экономическая оценка не позволила подтвердить промышленную значимость месторождения. К тому же положение смоделированной минерализованной зоны не вписывалось в ранее предложенную структуру антиклинальной складки.

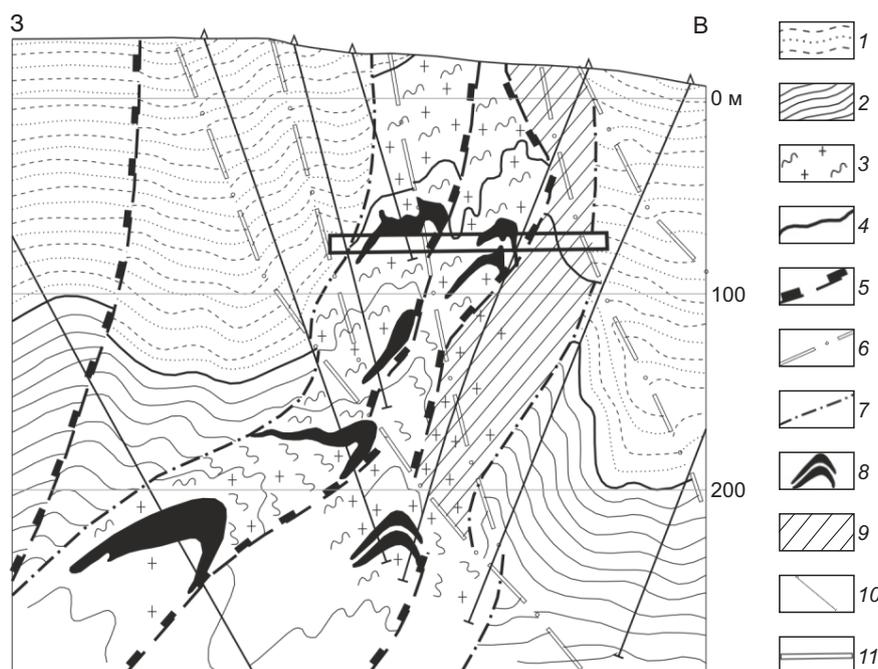


Рис. 1. Структура месторождения Совиное, профиль 56, по [3]:

1 – известковистые песчаники; 2 – сланцы; 3 – рудовмещающая зона динамометаморфизма; 4 – литологические границы; 5 – сбросо-сдвиги; 6 – сбросы; 7 – надвиги; 8 – седловидные рудные тела; 9 – предполагаемый штокверк; 10 – скважины; 11 – квершлаг

В 2020–2023 гг. геологическим подразделением АО «Эльконский ГМК» (дочерняя структура АО «АРМЗ») на месторождении Совиное был выполнен комплекс поисково-оценочных работ для расшифровки структурного положения оруденения и обоснования модели объёмного штокверка. Работы включали магнито- и электроразведку, геолого-структурное картирование, проходку скважин колонкового бурения, изотопно-геохимические и термобарогеохимические исследования. Высокоточная магнитная съёмка в комплексе с электроразведочными методами ВП-СГ (электроразведка методом ВП с установкой срединного градиента) и ЭТ-ВП (электроразведка методом ВП в варианте электротомографии) позволила существенно уточнить геологическое строение рудного поля. В результате подтверждена штокверковая модель месторождения Совиное, которое по утверждённым запасам отнесено к крупным объектам.

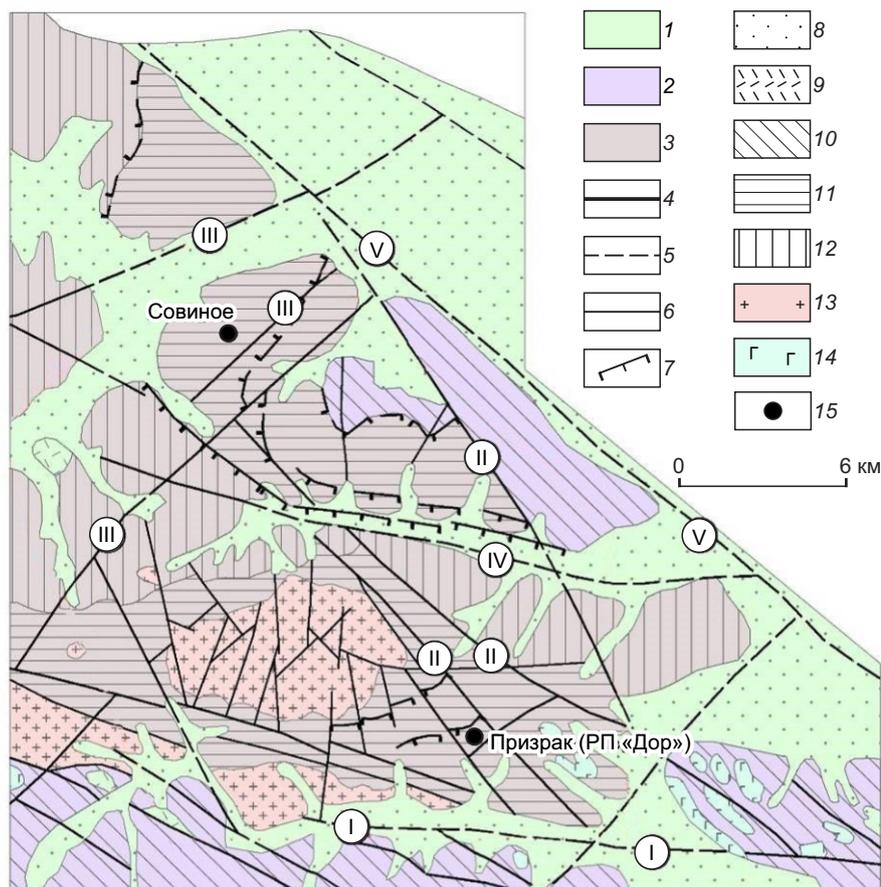
В данной статье приводятся результаты выполненных исследований, на основе которых пересмотрены концепция структуры месторождения Совиное и условия его формирования.

**Позиция месторождения в региональных структурах.** Тектоника и структура ПРЗУ (рис. 2) определяются его положением на сочленении юго-восточного окончания Куульского поднятия и Экиатапского синклиория в составе Чукотской складчатой области, в тыловой части Охотско-Чукотского вулканического пояса (С. Г. Кряжев, 2023 ф). В его пределах выделяются три структурных этажа, характеризующихся различной ориентировкой складчатых структур.

Нижний структурный этаж сложен девонскими и раннекаменноугольными терригенными флишеидными формациями. Преобладающая ориентировка складчатых деформаций в нижнем этаже северо-северо-восточная и субширотная.

Средний структурный этаж сложен терригенными породами пермско-триасового возраста, залегающими на подстилающих образованиях нижнего структурного яруса со стратиграфическим перерывом и угловым несогласием. Генеральная ориентировка складчатости – северо-западная.

Верхний структурный этаж включает верхнемеловые вулканиды и нелитифицированные осадки более позднего времени. На подстилающих по-



**Рис. 2. Структурно-тектоническая схема Пильхинкууль-Рывеемского золотоносного узла:**

1–3 – структурные этажи: 1 – верхний, 2 – средний, 3 – нижний; 4–7 – разломы: 4 – основные (сбросы, сдвиги), 5 – основные под чехлом рыхлых отложений, 6 – второстепенные, 7 – надвиги; 8–14 – формации и комплексы: 8 – четвертичные рыхлые отложения, 9 – позднемеловая туфогенно-вулканогенная трахидацит-риолитовая формация, 10 – пермско-раннетриасовая терригенная флишевая формация, 11 – нижнекаменноугольная известковисто-углеродисто-терригенная флишевая формация, 12 – девонские карбонатно-терригенные формации, 13 – ранне-меловые гранитоидные комплексы Эмнункэннингтунского и Экийчугэвеемкайского (Велиткенайского) массивов, 14 – раннетриасовый габбро-диабазовый комплекс; 15 – золото-кварцевые месторождения и рудопроявления

родах нижнего и среднего структурных этажей образования верхнего этажа лежат со стратиграфическим перерывом и резким угловым несогласием.

Складчатая структура ПРЗУ характеризуется простыми формами. К юго-востоку от Рывеемских разломов и к югу толщи имеют пологое южное падение с углами 10–45°, практически моноклинальное. Развита мелкая складчатость высоких порядков, широтного и северо-западного простирания, осложняющая строение более крупных структур, образующих юго-восточный фланг Куульского антиклинария. В зоне влияния Рывеем-

ских разломов и к западу от них ориентировка осей складок меняется на меридиональную, северо-западную. По всей территории погружение осевых плоскостей складчатых элементов южное и юго-западное, подчиняется простиранию предполагаемых структур пологих дислокаций.

Складчатые структуры ПРЗУ осложнены разрывными нарушениями: Нижне-Куэкувуньским глубинным разломом, Пильхинкуульским разломом, Вочватапской зоной глубинных разломов, Приморским глубинным разломом и Рывеемской зоной разломов. Первые два – субширотные, Вочватапская зона и Приморский разлом – северо-

западной ориентировки, Рывеевская зона – северо-восточного направления. Наиболее древними по заложению считаются зоны пологих деформаций, сопряжённые с ними субширотные разломы и региональные структуры северо-западного простирания, наиболее молодыми – северо-восточные и субмеридиональные третьего порядка. Зоны региональных разломов имеют сложное внутреннее строение, обусловленное развитием внутри них сложно построенных кулисообразных систем дислокаций и шарьяжных структур.

Образование геологической структуры ПРЗУ и становление его металлогенической специализации происходило в несколько этапов. С конца 1990-х гг. прошлого столетия сложились общие представления о геодинамической модели формирования металлогенического облика Северо-Востока Азии, базирующиеся на позициях аккреционной тектоники [8]. Согласно этой модели, границы металлогенических эпох связаны с периодами крупных тектонических перестроек территории, сопровождавшихся сменой геодинамических обстановок. Таких эпох было выделено семь: доаккреционные (рифейская, вендско-силурийская, ранне-, среднедевонская, среднедевонско-раннекаменноугольная, среднекаменноугольно-среднеюрская), синаккреционная (среднеюрско-раннемеловая) и постааккреционная (раннемеловая-палеогеновая). На территории Чукотской складчатой области в той или иной мере проявлены все эпохи, но наиболее чётко история формирования геологических структур и металлогении прослеживается начиная со среднедевонско-раннекаменноугольной эпохи.

Основные этапы развития узла, важные в связи с формированием золото-кварцевого оруденения, представляются следующим образом.

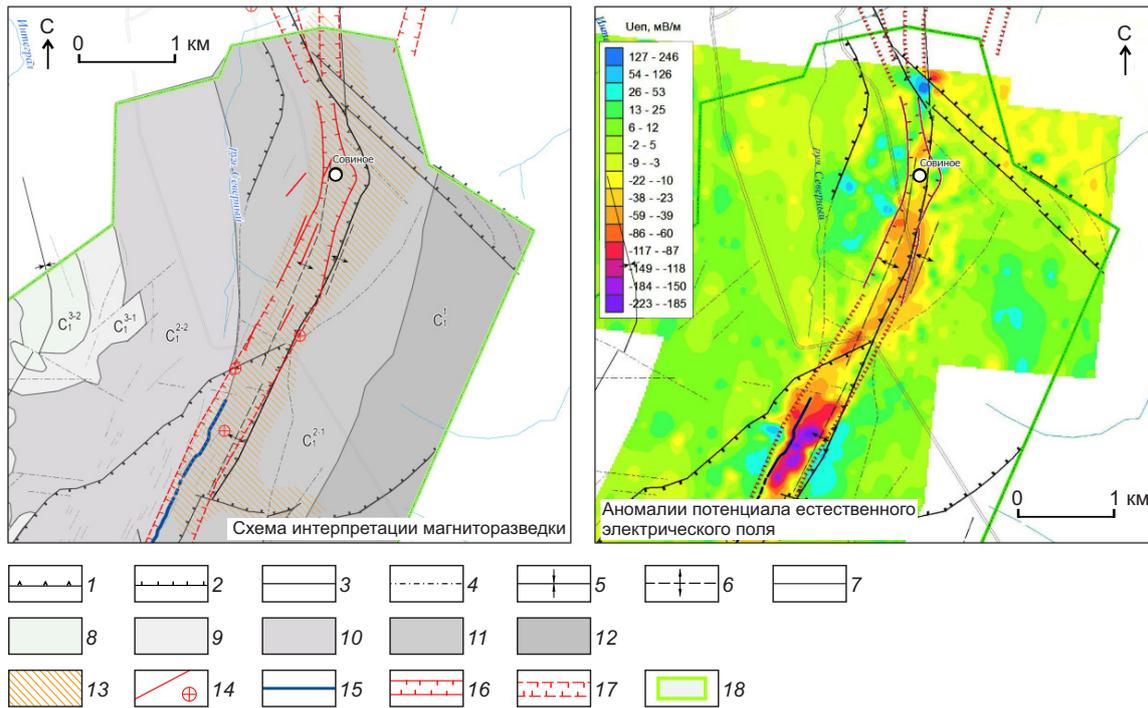
Накопление первично-осадочных терригенных флишевых отложений раннего карбона происходило в условиях континентального склона, о чём могут свидетельствовать текстурно-структурные особенности отложений, характерные для мутьевых потоков (градационная слоистость, косая слоистость, конседиментационные брекчии, плохая сортировка песчаного материала) относительно мелководного бассейна, сформированного на девонском основании в эпоху окраинно-континентального рифтогенеза в раннем карбоне. Одновременно с седиментогенезом, диагенезом и катагенезом осадков происходили формирование сингенетичной сульфидной минерализации и, воз-

можно, накопление золота. Рудоносные растворы в условиях рифтогенеза и рассеянного спрединга дна прогибов могли поступать по системам долгоживущих разломов основания. К седиментогенной минерализации пород относятся единичные каплевидные обособления пирротина, халькопирита, встречающиеся в обломках пород и реликтах породообразующих минералов, фрамбонды пирита, тяготеющие к скоплениям углистого вещества, редкая, неравномерная вкрапленность идиоморфных кристаллов ильменита, магнетита, рутила в цементирующей массе обломочных пород. Из-за последующих изменений рудная минерализация данного этапа носит реликтовый характер.

В конце палеозоя территория вовлекается в процессы герцинского орогенеза и складкообразования. Происходят закрытие каменноугольных бассейнов седиментации, активизация глубинных разломов, раскол единого до мезозоя палеозойского основания на отдельные блоки (террейны). Повидимому, на этом этапе происходило заложение зон пологих деформаций в осадочных породах, сопряжённых с ними субширотных зон разломов. Палеозойские толщи первично-осадочных пород подверглись на данном этапе региональному зеленосланцевому метаморфизму и локальному динамометаморфизму в зонах интенсивных тектонических деформаций с формированием складок, шарьяжно-надвиговых дислокаций, регионального расланцевания, зон дробления, характеризующихся повышенной проницаемостью для метаморфогенно-гидротермальных растворов.

**Структура рудного поля и месторождения Совиное.** По данным геофизических работ установлено, что месторождение локализуется в восточном крыле синклинали складки, ось которой прослеживается по правобережью р. Рывеев в северо-восточном направлении с разворотом на северо-запад в верховьях руч. Интеграл. Складка образована породами раннего карбона, в составе которых по характеру поля магнитной восприимчивости выделены несколько пачек и маркирующий магнитный горизонт, хорошо подчёркивающий характер залегания синклинали (рис. 3).

Минерализованная зона прослеживается к северу и югу от центральной части месторождения вдоль системы северо-восточных разломов (Рывеевских) с разворотом на северо-запад на северном продолжении структуры. С востока она ограничена зоной надвига.



**Рис. 3. Геолого-геофизическая модель рудного поля:**

1 – надвиги; 2 – взбросы и сбросы; разрывы: 3 – явные и 4 – предполагаемые; оси: 5 – синклиналей и 6 – антиклиналей; 7 – литологические границы; 8–12 – терригенно-осадочные комплексы пород, толщи нижнего карбона: 8 –  $C_1^{3-2}$ , 9 –  $C_1^{3-1}$ , 10 –  $C_1^{2-2}$ , 11 –  $C_1^{2-1}$ , 12 –  $C_1^1$ ; 13 – зоны ГМ изменений: карбонатизация, окварцевание, серицитизация; 14 – кварцевые жилы и штупные пробы с золотом (А. Д. Колотилов, 2006); 15 – маркирующий магнитный горизонт в толще нижнего карбона; 16 – минерализованная рудная зона месторождения Совинное; 17 – предполагаемые минерализованные зоны; 18 – контур аэромагнитной съёмки масштаба 1 : 5000

Оруденение целиком локализовано в средней толще раннего карбона, где вмещающие породы в зоне надвига характеризуются повышенными содержаниями углеродистого вещества (УВ), что проявляется на разрезах и планах удельного электрического сопротивления и отрицательной аномалией ЕП.

Зона низкого сопротивления, маркирующая зону надвиговой структуры, при прослеживании с юга на север смещается к востоку, интерпретируется как рудоносная структура в виде вязких разломов с кулисообразной системой зон смятия и расланцевания.

Полученные новые геологические данные позволяют определённо говорить о структуре месторождения, которая представляется сейчас не в виде антиклинальной складки с седловидными жилами, а в виде пологой минерализованной зоны, приуроченной к системе глубинных Рывемских разломов, имеющих трансформную при-

роду в связи со становлением Охотско-Чукотского вулканического пояса.

По данным бурения установлено, что литологический разрез характеризуется довольно однородным строением и составом как с севера на юг, так и с запада на восток. Без какой-либо закономерности наблюдается многократное чередование интервалов:

- песчаников с прослоями алевролитов в соотношении 80 : 20, 70 : 30;
- переслаивания песчаников с алевролитами (60 : 40, 50 : 50);
- алевролитов (глинистых сланцев) с прослоями песчаников (менее 10%).

Рудовмещающая средняя толща песчано-сланцевого состава характеризуется флишоидным переслаиванием, имеет текстурно-структурные особенности отложений мутьевых потоков: градиционную и косую слоистость, наличие конседиментационных брекчий. Какие-либо закономерности

переслаивания материала псефито-псаммитовой и алевро-пелитовой структуры отсутствуют при безусловном преобладании песчаников (около 70 %). Мощность прослоев песчаников достигает 8–12 м, алевролитов – 0,05–4,0 м.

Для всех литологических разностей характерна повышенная углеродистость (содержание УВ в среднем 0,2%, а в чёрных глинистых сланцах оно достигает 3–7%). Породы подвергнуты динамометаморфизму в условиях зеленосланцевой фации серицит-хлоритовой субфации, интенсивно рассланцованы, кливажированы и смяты до образования милонитов и тектонических сланцев.

Ранее в составе средней толщи карбона выделяли две пачки флишевого строения [3, 5], отличающиеся по составу: верхнюю – существенно песчаниковую и нижнюю – рудовмещающую, существенно алевролитовую, в которой преобладают тёмно-серые тонкослоистые алевролиты (до 80%) и чёрные углистые сланцы, характеризующиеся повышенными содержаниями УВ. В качестве рудовмещающих рассматривались полости отслоения пластичных пород в замке антиклинальной

складки и субгоризонтальные трещины отрыва выше пластов относительно прочных пород, с образованием седловидных кварцевых тел в замках и субогласных кварц-карбонатных жил и прожилков на крыльях (см. рис. 1).

Выделявшаяся предшественниками рудовмещающая существенно алевролитовая пачка, скорее, отражает тектоническую природу её образования в связи с процессами динамометаморфизма. Нижние углистые алевролиты-сланцы образовались в результате рассланцевания и кливажирования собственно той же песчано-алевролитовой толщи карбона в зоне пластичных разломов. На это указывает тот факт, что эти «углистые алевролиты-сланцы» вмещают зоны минерализации, локализованные в интенсивно тектонизированных, милонитизированных и рассланцованных породах в виде пологих зон западного падения под углом 15–35° (рис. 4).

Отмечено зональное строение этих структур, что выражается в степени переработки вмещающих пород, морфологии и характере гидротермальных образований и минерализации. Центральные части

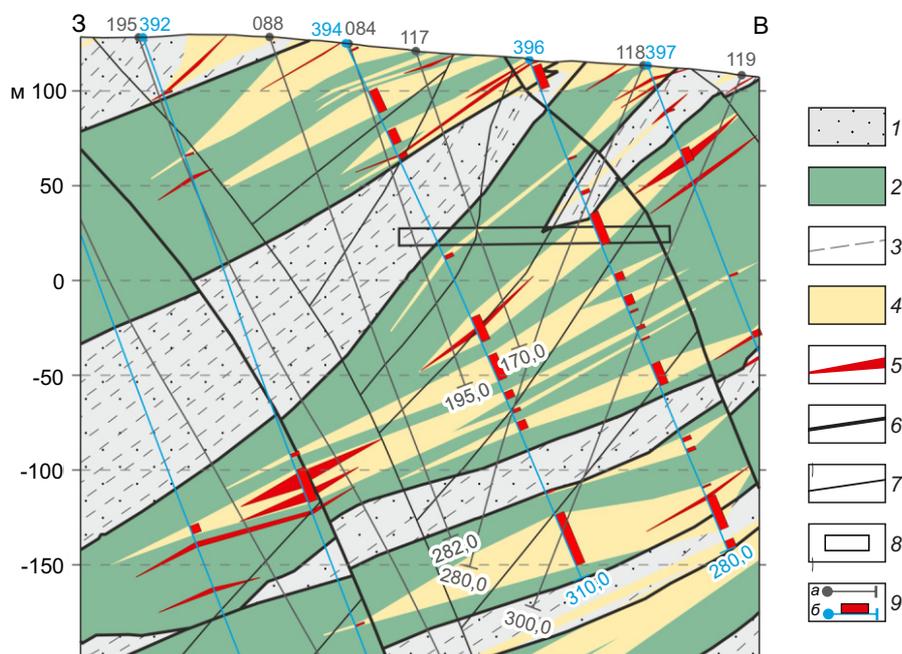


Рис. 4. Строение рудоносной зоны месторождения (разрез по профилю 56):

1 – песчано-сланцево-алевролитовая толща; 2 – смятые и рассланцованные породы; 3 – сланцеватость пород; 4 – минерализованные зоны; 5 – кварцевые жилы; разломы: 6 – главные и 7 – второстепенные; 8 – штольневой горизонт; 9 – буровые скважины, их номера и глубина: а – 1987–1993 гг., б – 2020–2023 гг. с рудными интервалами

минерализованных зон представлены либо кварцевыми жилами «книжной» структуры, сформированными в результате замещения кварцем вмещающих рассланцованных и смятых пород, которые нередко сопровождаются зонами милонитов, где те же кварцевые жилы растёрты в глину с пластинчатыми самородками золота, либо представляют собой зоны дробления и смятия в виде кварцевых брекчий, залеченных кварц-карбонатным материалом в глинистом или в алевролито-сланцевом матриксе с изоклинальной мелкой складчатостью. Часто от центра к флангам зоны переходят в брекчированные породы, состоящие из тектонической глины и обломков кварцевых жил и прожилков, которые сменяются интенсивно рассланцованными и кливажированными породами с послойным кварцевым прожилкованием и, наконец, с переходом в песчаники и алевролиты в виде окварцевания и карбонатизации по массе и тонкого сетчатого прожилкования.

Зоны кварцевого прожилкования по простиранию могут переходить в жильные тела и наоборот, от чего у предшественников сложилось впечатление о приуроченности рудных зон к слоистости пород на крыльях и отслоениям в замках антиклиналей. Наконец, о динамометаморфической природе указанных зон свидетельствует часто отмечаемое в их составе присутствие зеркал скольжения по рассланцованным породам.

Углистые алевролито-сланцы в этих минерализованных зонах представляют собой, в наиболее проработанной их части, анкерит-кварц-серицитовые микросланцы, в которых под микроскопом отчётливо установлено интенсивное развитие углеродистого вещества по трещинам кливажа, сформировавшимся на фоне метаморфизма зеленосланцевой фации хлорит-серицитовой субфации и, вероятно, при участии углеродистого метасоматоза (сланцеватая текстура, ориентированные по сланцеватости зёрна серицита и углистого вещества). Интенсивно проявлен кливаж, по трещинам которого развиваются углистое вещество, серицит, сульфиды, а в окисленной части месторождения – гидроксиды железа.

Пример строения рудной зоны и текстур вмещающих углистых сланцев в висячем боку приведён на рис. 5. Основная масса породы (см. рис. 5, А) имеет лепидогранобластовую структуру, состоит из чешуек серицита и пылеватых частиц органического вещества (УВ), ориентированных в одном направлении по кливажу (С). Порфири-

бласт арсенопирита (Ару) и прожилковые выделения пирита (Ру) разбиты трещинами, «залеченными» шестоватым кварцем и карбонатом. Прожилковидные выделения карбоната и порфириобласты располагаются согласно кливажу. Порода окварцована в виде тонких прерывистых прожилков кварцевого и кварц-сульфидного составов мощностью 0,2–0,9 мм, пересекающих породу под углом к кливажу (D) с формированием SC-текстур (D1). Положение кварцевого прожилка между микросланцами и брекчией указывает на неоднократность активизации гидротермальной и тектонической активности в пределах зоны.

На врезке D1 (см. рис. 5, Б) показана интерпретация формирования SC-текстур (фр. *schistosité-cisailement* – сланцеватость-сдвиг), дающая представление о механизме возникновения зоны рассланцевания и смятия в пределах рудных зон. Эти типоморфные структуры формируются в сдвиговых зонах [9] при развитии динамики пластичных деформаций в обстановке простого сдвига. На ранних стадиях развития плоскостные текстуры формируются под углом к сдвиговой зоне, ортогонально действующим напряжениям сжатия (см. рис. 5, В). Морфологически такие текстуры могут быть представлены сланцеватостью, выраженной преимущественной ориентировкой удлинённых кристаллов, порфирокластами со шлейфами в тенях давления, слюд, а механизмами образования являются процессы дислокационного скольжения, рекристаллизации, пассивного вращения более прочных минеральных зёрен, порфирокластов и межзернового скольжения.

Приведённый выше механизм формирования вмещающих пород рудных зон находит подтверждение в этапности и геодинамике образования структуры месторождения.

По результатам анализа и обобщения геологоструктурной информации в истории образования рудоносной структуры (о чём можно утверждать определённо) отчётливо выделяются два основных этапа (рис. 6).

Первый этап протекал в условиях консолидации орогена и СЗ-ЮВ (295–115°) сжатия с формированием рассланцевания и кливажирования пород перпендикулярно к направлению давления и в дальнейшем, с заложением пологих зон смятия по плоскостям срывов (рис. 7). Характеризуется формированием субпараллельных плоскостей сместителей 1–1,5 до 7–8 м, выполненных углефицированной глиной трения, развитием вдоль них

милонитов, катаклазитов и углеродистых филлитов, чёрных и тёмно-серых метаалевролитов (кварц-серицитовых углеродистых сланцев), вблизи зон сместителей, смятых в волнистые, набегаю-

щие изоклиналильные складки и вмещающих интенсивное кварцевое прожилкование и кварцевые жилы мощностью от первых сантиметров до нескольких метров (см. рис. 6, Б).

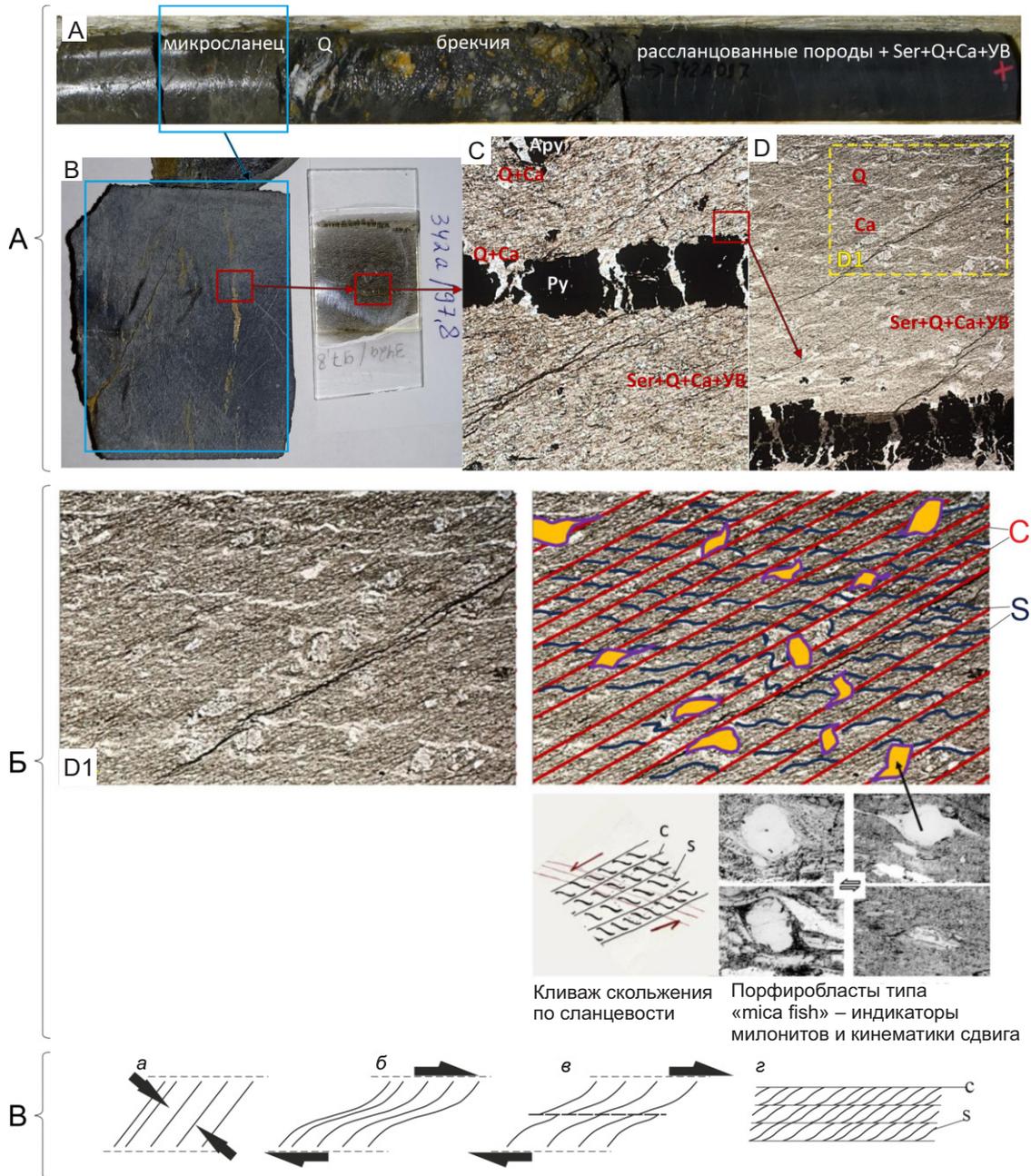
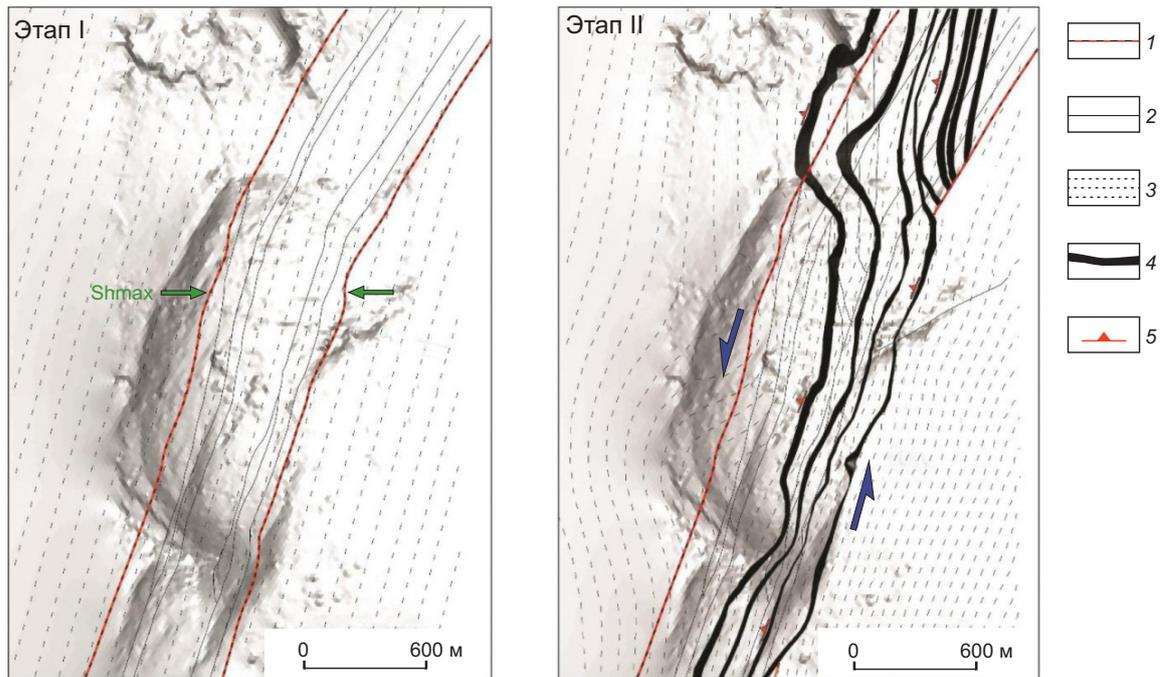


Рис. 5. Строение зоны смятия и рассланцевания в висячем боку:

А – фрагмент на 97,8 м скв. 342а; карбонат (Ca)-кварц (Q)-серицитовый (Ser) микросланец на контакте с кварцевым прожилком и брекчией, прочие пояснения в тексте; Б – увеличенный фрагмент врезки D1 с интерпретацией механизма формирования SC-текстур; В – этапность формирования SC-текстур [9]: а – образование сланцеватости, б – изгиб сланцеватости, в – сколообразование, г – результат скольжения с формированием SC-текстур



**Рис. 6. Этапы формирования структуры рудного поля:**

разломы: 1 – главные и 2 – второстепенные; 3 – сланцеватость пород; 4 – зоны смятия и рассланцевания; 5 – элементы залегания

Второй этап связан с отчётливо выраженным левосторонним сдвигом, в результате которого структура претерпела общую деформацию и усложнение её внутреннего строения. Этап характеризуется образованием субпараллельных плоскостей сдвигов ССВ простирания и парных сколов к ним ССЗ простирания, в совокупности формирующих систему левого сдвига (с опережающими сбросами) в масштабе месторождения. Наложение этой системы деформаций усилило перераспределение и концентрацию оруденения предыдущего этапа и активизировало движение по уже существующим надвиговым структурам. Нарушения этой системы маркируются зонами брекчирования и участками изоклиальной складчатости, выдавливания и растяжения.

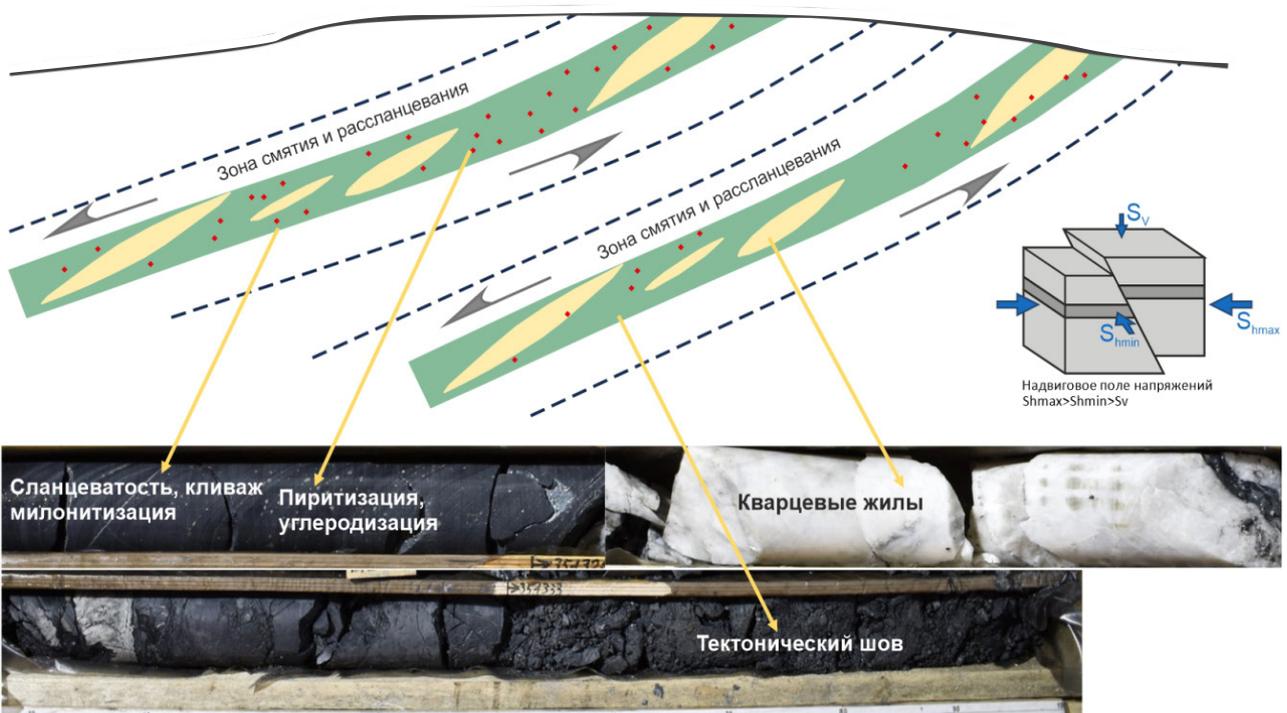
Таким образом, в генетическом отношении формирование оруденения происходило в условиях длительного тектонического развития и метаморфогенного преобразования вмещающих пород при участии металлоносных растворов. В итоге были сформированы четыре отчётливо диагностируемые зоны рассланцевания и смятия (сверху вниз по разрезу): Верхняя, Главная, Средняя и

Нижняя. Кроме этого, устанавливаются и отдельные апофизы зон рассланцевания, одна из которых – Оперяющая – локализована между Верхней и Главной, последняя является наиболее рудоносной (рис. 8). Эти зоны смятия были максимально насыщены полостями отслоения в процессе формирования структуры по сравнению с менее тектонически нарушенными участками рудного поля. Как следствие, данные структуры выступали декомпрессионными ловушками для поднимающихся гидротерм, т.е. являлись наиболее проницаемыми зонами для золотоносных флюидов в процессе тектонического развития. Этим объясняется ленточный и эшелонированный характер рудной залежи по простиранию месторождения.

Протяжённость изученной части структуры рудного поля с севера на юг составила 2400 м (профили от 0 до +120), ширина вскрытых на поверхности минерализованных зон 200–350 м. На самом деле по геофизическим, геологическим и геохимическим данным есть все основания оценивать её распространение к северо-востоку на 1700 м и на юг до 1900 м.

**Первый этап**

Сжатие. Формирование надвиговых структур, углеродизация, рассеянная минерализация



**Второй этап**

Левосторонний сдвиг в условиях сжатия и гидротермальной проработки

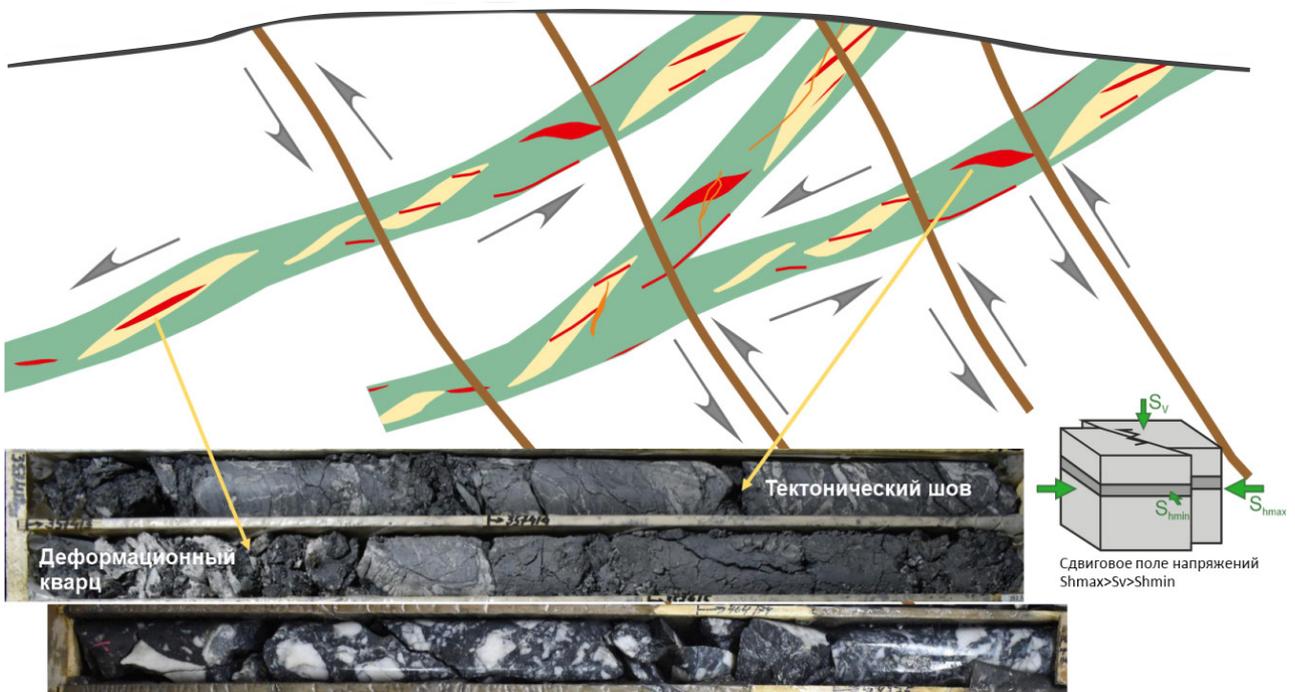
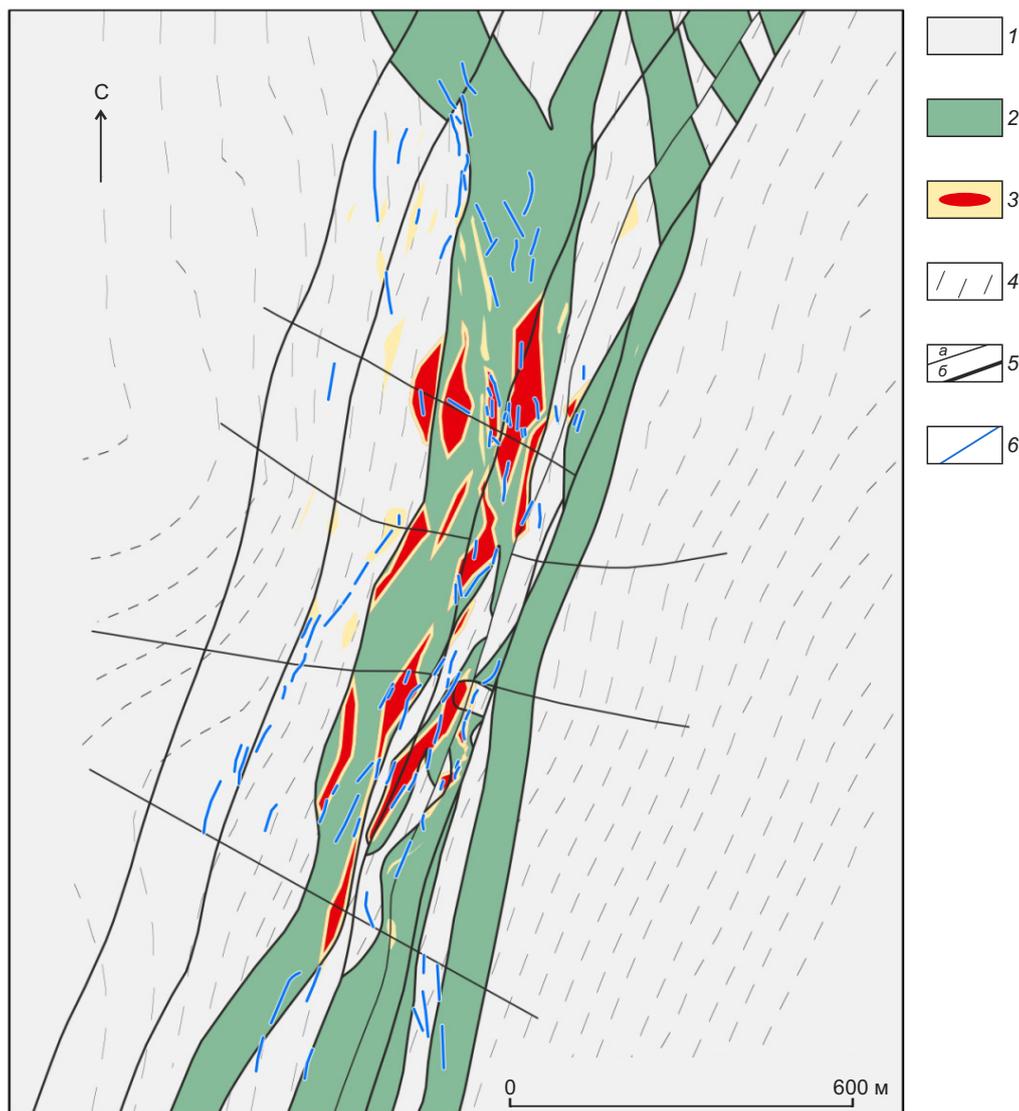


Рис. 7. Последовательность формирования минерализованных зон



**Рис. 8. Схематический план поверхности месторождения:**

1 – песчано-сланцево-алевролитовая толща; 2 – зоны смятия и рассланцевания; 3 – минерализованные зоны; 4 – сланцеватость; 5 – разломы: а – главные, б – второстепенные; б – кварцевые жилы

Складчато-разрывная структура месторождения представляет собой осложнённую приразломной складчатостью моноклираль, вмещающую пологие тектонизированные зоны смятия и рассланцевания, расположенные эшелонированно в разрезе с пологим падением 15–35° на запад по азимуту 270°.

Зоны рассланцевания и смятия вмещают субсогласные и секущие жильно-прожилковые зоны (19 рудных зон, рис. 9). По данным буровых работ оруденение по падению прослежено до глубины

400 м. Рудные зоны представляют собой лентообразные прожилково-жильные залежи и прослеживаются по простиранию от 170 до 2210 м, по падению от 60 до 260 м при невыдержанной мощности от первых метров до 60 м.

Кварцевые жилы и прожилки вне минерализованных зон самостоятельного значения как рудные тела не имеют. Они достаточно распространены на месторождении и заполняют трещины скла и отрыва вблизи тектонических нарушений во вмещающих песчано-алевролитовых отложениях.

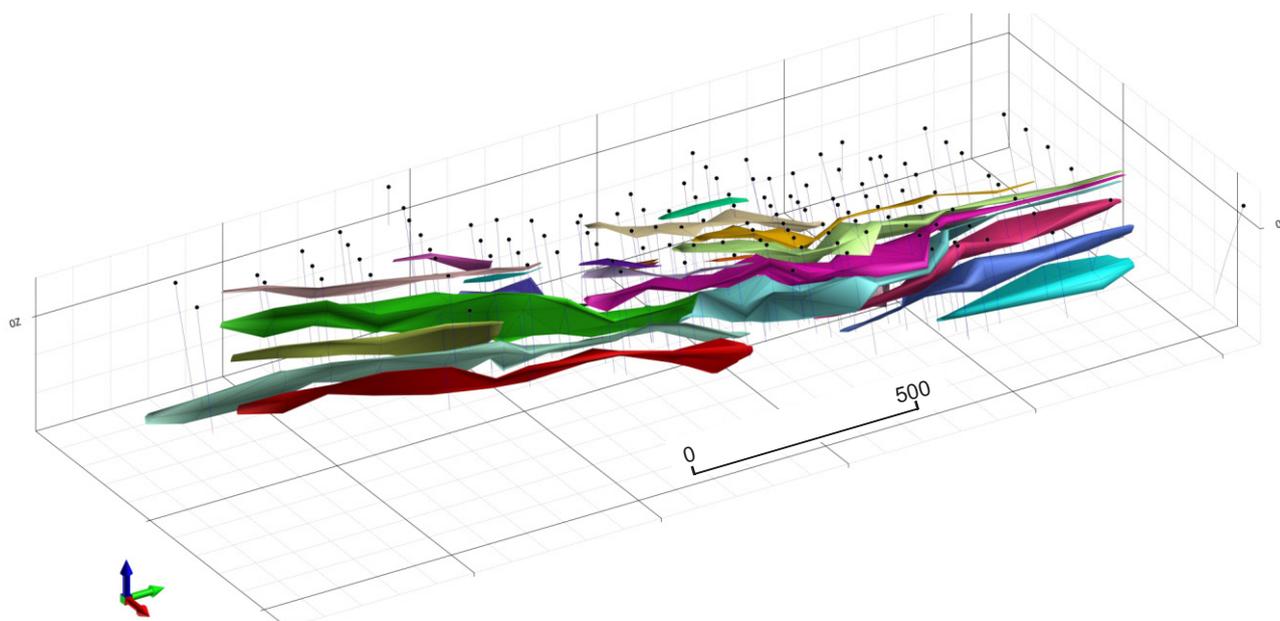


Рис. 9. Структурное положение рудных зон

Минералогия жильно-прожилковых рудных зон типична для малосульфидной золото-кварцевой формации. Жильные минералы – кварц (не менее 80–85 % объёма жильной массы), полевой шпат, карбонат, серицит, углистое вещество в подчинённом количестве. Главные рудные минералы (в порядке значимости): пирит, арсенопирит, галенит, халькопирит, бурнонит, марказит, сфалерит, редкие – самородное золото, пирротин, акантит.

**Генетические аспекты рудогенеза.** На представительном фактическом материале было показано, что степень насыщенности жильного кварца углекислотно-метановыми включениями непосредственно связана с масштабами золотого оруденения в углеродисто-терригенных комплексах [10, 12]. Данная закономерность объясняется локализацией крупнообъёмных месторождений в зонах воздействия потоков магматогенных углекислотно-метановых золотоносных флюидов, длительно существовавших на фоне тектонических подвижек. По результатам валового анализа флюидных включений в кварце методом газовой хроматографии (табл. 1) установлено, что по уровню содержания углекислоты и метана ( $\text{CO}_2 + \text{CH}_4$  50–300 мл/кг) месторождение Совиное сопоставимо со средними и крупными золоторудными объектами. При этом в объёме месторождения отчётливо проявлена термобарогеохимическая зональ-

ность, которая выражается в том, что наиболее высокая газонасыщенность кварца фиксируется в пределах золоторудной зоны или вблизи неё.

Изотопные исследования показали (табл. 2), что в жильной зоне месторождения присутствуют сульфиды, сера которых заимствована из двух источников. Пирит, в значительной степени обогащённый лёгким изотопом серы ( $d^{34}\text{S}$  -25...-15‰), содержит серу осадочно-диагенетических сульфидов, которые присутствуют во вмещающих углеродистых породах [5]. Арсенопирит, имеющий околонулевые значения  $d^{34}\text{S}$ , характерные для глубинных магм, был образован в результате привноса серы магматогенными флюидами [11]. Аналогичные изотопно-геохимические характеристики установлены на крупнейших месторождениях: Наталкинское [1], Бакырчик [17], Бендиго [18].

Изотопный состав углерода в жильных карбонатах месторождения Совиное ( $d^{13}\text{C}$  в среднем -12,4‰, по [5]) говорит об участии в рудообразовании «глубинной» углекислоты [12].

Таким образом, по комплексу критериев месторождение Совиное с генетической точки зрения может быть отнесено к объектам «мурунтауского» типа [11], которые были сформированы золотоносными флюидами, поступающими из глубинных магматических очагов.

Табл. 1. Содержание углекислоты и метана в жильном кварце месторождения Совиное

Скважина	Глубина, м	Содержание газов, мл/кг	
		СН <sub>4</sub>	СО <sub>2</sub>
На удалении от рудных зон			
327	157,0	0,7	34,0
335	79,0	0,5	25,1
335	155,0	0,8	45,6
373	1,8	0,5	19,3
373	137,5	0,4	22,5
399	212,0	0,6	29,5
399	324,0	0,6	31,3
466	82,1	1,0	49,7
466	151,5	0,8	41,9
466	288,0	0,5	23,8
491	28,0	0,3	14,8
491	123,2	0,6	22,7
492	88,0	0,5	26,3
492	96,2	0,9	47,3
494	300,2	0,8	48,1
495	55,1	0,5	23,8
495	111,0	0,9	48,8
496	150,2	0,9	49,2
Среднее		0,7	33,5
В рудных зонах			
327	177,0	0,7	58,9
327	178,0	1,9	113,9
335	259,0	3,2	194,3
373	267,2	1,1	63,3
399	281,6	1,0	66,7
491	228,2	1,1	58,9
492	221,0	1,0	64,4
494	262,0	1,2	59,3
494	280,0	1,8	90,6
495	160,1	1,5	90,8
496	101,4	2,2	122,0
496	312,1	8,8	285,1
Среднее		2,1	105,7

*Примечание.* Анализ флюидных включений выполнен в ЦНИ-ГРИ методом газовой хроматографии; газы выделяли из кварца путём нагревания навески массой 1 г до 500 °С и анализировали хроматографом Agilent 6890.

**Заключение и выводы.** В региональном плане месторождение Совиное приурочено к северо-западной части Куульского поднятия Чукотской складчато-орогенной зоны. Данное блок-антиклинальное поднятие северо-западного простирания сложено флишевыми осадочными комплексами позднепалеозойского–раннетриасового возраста, сформировавшимися в условиях континентальной окраины. Чукотская складчато-орогенная зона образована в тыловой части Охотско-Чукотского вулканического пояса (ОЧВП) в результате коллизии и аккреции пассивной континентальной окраины Чукотского пояса [14].

Зона Рывеевских разломов, пересекая Куульское поднятие в северо-восточном направлении, выступала в качестве рудоконтролирующей структуры, которая в условиях сжатия выполняла роль зоны разгрузки напряжений с образованием пологих вязких разломов надвигового (шарьяжного) типа.

Рудовмещающие структуры месторождения сформировались на стадиях орогенеза и последующей активизации в связи с образованием надвигово-шарьяжных структур. Это выражено в последовательности формирования региональной сланцеватости – кливажирования – заложения пологих разломов с появлением зон смятия, которые в последующем, на этапе активизации, выступают в качестве рудовмещающих в процессе циркуляции флюидов, обогащённых глубинными (вероятно, мантийными) газами и УВ. В условиях продолжающегося динамометаморфизма, имевшего пульсационный и сдвиговый характер, глубинные флюиды являются причиной образования углеродистых сланцев, прожилково-жильных зон и золоторудной минерализации.

Подобный тип месторождений, с точки зрения структурно-динамических условий образования, можно отнести к черносланцевому шарьяжно-надвиговому типу орогенных месторождений [15]. Главную роль в контроле и распределении рудных зон в них играют пологие (или вторично наклонённые) шарьяжно-надвигово-кливажные структуры. Для них характерны пластово-седловидные наклонные залежи, состоящие из многоярусных серий сближенных метасоматически-прожилково-вкрапленных и жильных рудных тел золото-кварцевой, золото-сульфидно-кварцевой, золото-сульфидной рудных формаций.

Таким образом, результаты исследований позволили получить новые геологические данные,

Табл. 2. Изотопный состав серы сульфидов месторождения Совиное

Скважина	Глубина, м	Минерал	$\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ , ‰
327	178,0	Пирит	-4,8
335	155,0	Пирит	-21,8
335	259,0	Арсенопирит	-0,1
399	281,6	Пирит	-5,9
373	137,5	Пирит	-19,0
492	88,0	Пирит	-14,4
492	221,0	Пирит + арсенопирит	-1,5
495	111,0	Арсенопирит	-1,3
496	150,2	Арсенопирит	-2,5
466	288,0	Пирит	-23,9

*Примечание.* Анализы выполнены в ЦНИГРИ по стандартной методике [16]. Серу сульфидов переводили в  $\text{SO}_2$  посредством реакции с  $\text{CuO}$  при  $800^\circ\text{C}$  в вакууме с последующей криогенной очисткой газа и анализом изотопного состава серы на масс-спектрометре МИ-1201. Результаты пересчитаны по отношению к метеоритному стандарту CDT. В качестве эталона использован лабораторный стандартный образец ЦНИГРИ «Пирит Гайского месторождения» с  $\delta^{34}\text{S} = +0,7\text{‰}$ ; точность измерений  $\pm 0,2\text{‰}$ .

определить геолого-структурную позицию оруденения, что дало возможность реализовать на практике модель месторождения как крупнообъёмного и оценить его запасы и рудный потенциал.

Предложенная геолого-структурная схема не претендует на исключительность, тем не менее на текущей стадии изученности снимает ранее существовавшие противоречия в оценке условий локализации оруденения и позволяет целенаправленно проводить исследования по прослеживанию рудоносной структуры в ходе разведочных работ.

Основываясь на полученных результатах, со всей определённостью можно прогнозировать подобный тип оруденения в пределах Северо-Чукотской зоны, в составе аналогичных ПРЗУ горст-

антиклинальных поднятий, с которыми связана россыпная золотоносность. Наиболее перспективны для выявления подобных месторождений структуры Кувет-Иультинской и Ичувеевской металлогенических зон.

Всё это служит предметным поводом для ревизии многочисленных ранее изученных рудопроявлений золота и их оценки как крупнообъёмных месторождений. В ближайшей перспективе эти работы могут существенно повысить ресурсный потенциал и нарастить минерально-сырьевую базу золота Северо-Востока, потребность в которой определяется принятой в нашей стране концепцией развития Северного морского пути в Арктической зоне РФ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арифлулов Ч. Х., Кряжев С. Г., Арсентьева И. В., Имамендинова М. А., Цымбалюк Н. В. Золотоносные литолого-стратиграфические уровни и условия локализации прожилково-вкрапленных руд в Хакчанском и Верхне-Хатыннах-Олботском рудных узлах (Магаданская область) // Отечественная геология. – 2017. – № 4. – С. 24–43.
2. Волков А. В. Золоторудные месторождения Центральной Чукотки (Россия) // Геология рудных месторождений. – 1995. – № 6. – С. 482–499.
3. Волков А. В., Воронин И. А. Золото-кварцевое оруденение Куульской антиклинальной зоны Северной Чукотки // Колыма. – 1993. – № 1. – С. 9–15.
4. Волков А. В., Сидоров А. А., Аристов В. В., Мурашов К. Ю. Золото-кварцевые месторождения в турбидитах северо-восточной части Арктической зоны России // Арктика: экология и экономика. – 2015. – № 4 (20). – С. 48–60.
5. Гончаров В. И., Волков А. В. Геология и генезис золоторудного месторождения Совиное (Северная Чукотка). – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2000. – 220 с.
6. Гончаров В. И., Волков А. В. О метаморфогенно-магматогенном рудообразовании на золото-квар-

цевом месторождении Совиное (Северная Чукотка) // Доклады Академии наук. – 2005. – Т. 404, № 3. – С. 374–379.

7. *Горячев Н. А.* Геология Мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Восточной Азии. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1998. – 210 с.
8. *Зоненшайн Л. П., Кузьмин М. И., Натанов Л. М.* Тектоника литосферных плит территории СССР. Кн. 2. – М. : Недра, 1990. – 34 с.
9. *Кирмасов А. Б.* Основы структурного анализа. – М. : Научный мир, 2011. – 368 с.
10. *Кряжев С. Г.* Газогеохимические ореолы золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных толщах // Руды и металлы. – 2016. – № 4. – С. 94–97.
11. *Кряжев С. Г.* Изотопно-геохимические и генетические модели золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных толщах // Отечественная геология. – 2017. – № 1. – С. 28–38.
12. *Кряжев С. Г.* Флюидный режим формирования золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах // Материалы XVIII Всероссийской конференции по термобарогеохимии, 24–28 сентября 2018 г., Минералогический Музей им. А. Е. Ферсмана РАН. – М., 2018. – С. 67–69.
13. *Кулешов В. Н.* Изотопный состав и происхождение глубинных карбонатов. – М. : Наука, 1986. – 125 с.
14. *Некрасов Г. Е.* Трансформная модель тектоники Верхояно-Чукотских мезозойских // Доклады Академии наук. – 2019. – Т. 489, № 4. – С. 388–392.
15. *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.
16. *Устинов В. И., Гриненко В. А.* Прецизионный масс-спектральный метод определения изотопного состава серы. – М. : Недра, 1965. – 96 с.
17. *Soloviev S. G., Kryazhev S. G., Dvurechenskaya S. S., Trushin S. I.* The large Bakyrchik orogenic gold deposit, eastern Kazakhstan: Geology, mineralization, fluid inclusion, and stable isotope characteristics // *Ore Geology Reviews*. – 2020. – V. 127. – P. 103863.
18. *Thomas H. V., Large R. R., Bull S. W., Maslennikov V., Berry R. F., Fraser R., Froud S., Moye R.* Pyrite and Pyrrhotite Textures and Composition in Sediments, Laminated Quartz Veins, and Reefs at Bendigo Gold Mine, Australia: Insights for Ore Genesis // *Economic Geology*. – 2011. – V. 106. – P. 1–31.

## REFERENCES

1. *Arifulov Ch. Kh., Kryazhev S. G., Arsent'yeva I. V., Imamendinova M. A., Tsymbalyuk N. V.* Zolotonosnyye litologo-stratigraficheskiye urovni i usloviya lokalizatsii prozhilkovo-vkraplennykh rud v Khakchanskoy i Verkhne-Khatynnakh-Olbotskoy rudnykh uzlakh (Magadanskaya oblast') [Gold-bearing lithologic-stratigraphic levels and conditions localization of veinlet-disseminated ores in Khakchansky and Verkhne-Khatynnakh-Olbotsky ore nodes (Magadan region)], *Otechestvennaya geologiya* [Domestic Geology], 2017, No. 4, pp. 24–43. (In Russ.)
2. *Volkov A. V.* Zolotorudnyye mestorozhdeniya Tsentral'noy Chukotki (Rossiya) [Gold deposits of Central Chukotka (Russia)], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 1995, No. 6, pp. 482–499. (In Russ.)
3. *Volkov A. V., Voronin I. A.* Zoloto-kvartsevyye orudneniye Kuul'skoy antiklinal'noy zony Severnoy Chukotki [Gold-quartz mineralization of the Kuul anticlinal zone of Northern Chukotka], *Kolyma*, 1993, No. 1, pp. 9–15. (In Russ.)
4. *Volkov A. V., Sidorov A. A., Aristov V. V., Murashov K. Yu.* Zoloto-kvartsevyye mestorozhdeniya v turbiditakh severo-vostochnoy chasti Arkticheskoy zony Rossii [Gold-quartz deposits in turbidites of the northeastern part of the Arctic zone of Russia], *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2015, No. 4 (20), pp. 48–60. (In Russ.)
5. *Goncharov V. I., Volkov A. V.* Geologiya i genezis zolotorudnogo mestorozhdeniya Sovinoe (Severnaya Chukotka) [Geology and genesis of the Sovinoe gold deposit (Northern Chukotka)], *Magadan, SVKNII DVO RAN publ.*, 2000, 220 p. (In Russ.)
6. *Goncharov V. I., Volkov A. V.* O metamorfogenno-magmatogenno rudoobrazovanii na zoloto-kvartsevom mestorozhdenii Sovinoe (Severnaya Chukotka) [On metamorphogenic-magmatic ore formation at the Sovinoe gold-quartz deposit (Northern Chukotka)], *Doklady Akademii nauk*, 2005, V. 404, No. 3, pp. 374–379. (In Russ.)
7. *Goryachev N. A.* Geologiya Mezozoyskikh zoloto-kvartsevyykh zhil'nykh poyasov Severo-Vostochnoy Azii [Geology of Mesozoic gold-quartz vein belts of North-East Asia], *Magadan, SVKNII DVO RAN publ.*, 1998, 210 p. (In Russ.)
8. *Zonenshayn L. P., Kuz'min M. I., Natapov L. M.* Tektonika litosfernykh plit territorii SSSR. Kn. 2 [Tectonics of lithospheric plates on the territory of the USSR. Book 2], *Moscow, Nedra publ.*, 1990, 34 p. (In Russ.)
9. *Kirmasov A. B.* Osnovy strukturnogo analiza [Fundamentals of structural analysis], *Moscow, Nauchnyy mir publ.*, 2011, 368 p. (In Russ.)

10. *Kryazhev S. G.* Gazogekhimicheskiye oreoly zolotorudnykh mestorozhdeniy v uglerodisto-terrigennykh tolshchakh [Gas-geochemical halos of gold ore deposits in carbonaceous-terrigenous strata], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 2016, No. 4, pp. 94–97. (In Russ.)
11. *Kryazhev S. G.* Izotopno-geokhimicheskiye i geneticheskiye modeli zolotorudnykh mestorozhdeniy v uglerodisto-terrigennykh tolshchakh [Isotope-geochemical and genetic models of gold ore deposits in carbonaceous-terrigenous strata], *Otechestvennaya geologiya* [Domestic Geology], 2017, No. 1, pp. 28–38. (In Russ.)
12. *Kryazhev S. G.* Flyuidnyy rezhim formirovaniya zolotorudnykh mestorozhdeniy v uglerodisto-terrigennykh kompleksakh [Fluid regime for the formation of gold deposits in carbonaceous-terrigenous complexes], Moscow, 2018, pp. 67–69. (In Russ.)
13. *Kuleshov V. N.* Izotopnyy sostav i proiskhozhdeniye glubinykh karbonatov [Isotopic composition and origin of deep-seated carbonates], Moscow, Nauka publ., 1986, 125 p. (In Russ.)
14. *Nekrasov G. Ye.* Transformnaya model' tektoniki Verkhoyano-Chukotskikh mezozoid [Transform model of tectonics of the Verkhoyansk-Chukotka mesozoids], *Doklady Akademii nauk*, 2019, V. 489, No. 4, pp. 388–392. (In Russ.)
15. *Savchuk Yu. S., Volkov A. V., Aristov V. V.* Strukturno-dinamicheskiye usloviya formirovaniya krupnykh orogennykh mestorozhdeniy zolota Tsentral'noy i Severo-Vostochnoy Azii [Structural and dynamic conditions for the formation of large orogenic gold deposits in Central and North-East Asia], *Litosfera*, 2021, V. 21, No. 3, pp. 349–364. (In Russ.)
16. *Ustinov V. I., Grinenko V. A.* Pretsizionnyy mass-spektral'nyy metod opredeleniya izotopnogo sostava sery [Precision mass spectral method for determining the isotope composition of sulfur], Moscow, Nauka publ., 1965, 96 p. (In Russ.)
17. *Soloviev S. G., Kryazhev S. G., Dvurechenskaya S. S., Trushin S. I.* The large Bakyrchik orogenic gold deposit, eastern Kazakhstan: Geology, mineralization, fluid inclusion, and stable isotope characteristics, *Ore Geology Reviews*, 2020, V. 127, P. 103863.
18. *Thomas H. V., Large R. R., Bull S. W., Maslennikov V., Berry R. F., Fraser R., Froud S., Moye R.* Pyrite and Pyrrhotite Textures and Composition in Sediments, Laminated Quartz Veins, and Reefs at Bendigo Gold Mine, Australia: Insights for Ore Genesis, *Economic Geology*, 2011, V. 106, P. 1–31.

Статья поступила в редакцию 11.03.24; одобрена после рецензирования 10.04.24; принята к публикации 11.04.24.  
The article was submitted 11.03.24; approved after reviewing 10.04.24; accepted for publication 11.04.24.