

А. Ф. Читалин

ООО «Институт геотехнологий», Москва

СТРУКТУРНЫЕ ПАРАГЕНЕЗЫ И РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ БАИМСКОЙ СДВИГОВОЙ ЗОНЫ, ЗАПАДНАЯ ЧУКОТКА

Аннотация

Баимская зона сдвига была сформирована в два этапа в позднеюрское – раннемеловое время (144–137 млн лет). На первом этапе это была региональная зона левого сдвига, в которой образовались левые сдвиги и сдвиго-взбросы СЗ простирания. На втором этапе Баимская зона являлась зоной правого сдвига. Были сформированы вторичные структуры растяжения (меридиональные разломы растяжения, сбросы, трещины отрыва). Структуры сдвига и растяжения контролировали формирование раннемеловых магматических интрузивных тел и полихронных линейных штокверков медно-порфировых месторождений.

В конце второго этапа медно-порфировые месторождения были частично размыты. Вдоль меридиональных правых сдвигов и сопряженных широтных левых сдвигов образовались локальные структуры растяжения с эпитермальными низкотемпературными золотоносными кварцевыми жилами и линейными штокверками. Сдвиги и ассоциирующие с ними надвиги были активны по крайней мере до начала альбского века раннего мела. В кайнозое (?) также формировались надвиги.

Двухфазная структурная эволюция Баимской сдвиговой зоны была смоделирована на аналоговой тектонофизической модели. Эксперименты показали, что разрывы растяжения второй фазы сформировались в основном благодаря наличию разрывов первой фазы.

Моделирование выявило происхождение и распределение потенциально проницаемых для флюидов зон декомпрессии на этой территории. Структуры растяжения на модели хорошо согласуются с известными месторождениями и рудопроявлениями меди и золота, а также с перспективными областями, перекрытыми аллювиальными отложениями в крупных долинах.

A. F. Chitalin

Institute of Geotechnology LLC, Moscow

STRUCTURAL PARAGENESIS AND ORE MINERALIZATION OF THE BAIMSKAYA SHEAR ZONE, WESTERN CHUKOTKA

Abstract

The Baimskaya shear zone was formed in two stages in the Late Jurassic — Early Cretaceous time (144–137 Ma). At the first stage, this was the regional left-lateral shear zone where the sinistral strike-slip and reverse faults trending NW were formed. At the second stage, the Baimskaya zone was reactivated as the right-lateral shear zone. The secondary extensional structures (meridional extensional faults, normal faults and strike-slip faults and extensional fractures) were formed. The shear and extension structures controlled the formation of the Early Cretaceous magmatic intrusion bodies and polychronic linear stockworks of porphyry-copper deposits.

At the end of the second stage, porphyry copper deposits were partially eroded. Along the meridional dextral strike-slip faults and conjugated latitudinal sinistral strike-slip faults the local extensional structures with epithermal low-temperature gold-bearing quartz veins and linear stockworks were formed. The strike-slip faults and associated thrust faults were active at least until the beginning of the Albanian time of the early Cretaceous. Some thrusts were formed in the Cenozoic (?).

The two-stage structural evolution of the Baimskaya shear zone was modeled on an analog tectonophysical model. The experiments showed that the extensional fractures of the second stage were formed largely due to the presence of fractures of the first stage.

Modeling revealed the origin and distribution of potentially fluid-permeable decompression zones on the area. The extensional structures on the model are well consistent with the known copper and gold deposits and occurrences, as well as promising areas covered by the alluvial cover in large valleys.

Тектоническое положение и геология Баимской сдвиговой зоны

Баимская зона глубинного сдвига (которая включает одноименную рудную зону), впервые была выделена автором на основании анализа региональных геологических и геофизических карт и детального изучения ее структуры при поисках, оценке и разведке рудных объектов [Chitalin et al., 2012; Читалин и др., 2013].

Баимская сдвиговая зона принадлежит Алазейско-Олойской складчатой системе и ассоциирует с позднеюрским — раннемеловым островодужным вулканоплутоническим комплексом (рис. 1). Сдвиговая зона протягивается параллельно Южно-Ануйской сутуре покровно-складчато-надвигового

строения с наложенными правосдвиговыми деформациями. Эта коллизионно-офиолитовая сутура маркирует зону субдукции позднеюрского-раннемелового океанического бассейна и раннемеловой коллизии Колымо-Омолонского и Анюйско-Чукотского территорий [Соколов и др., 2001].

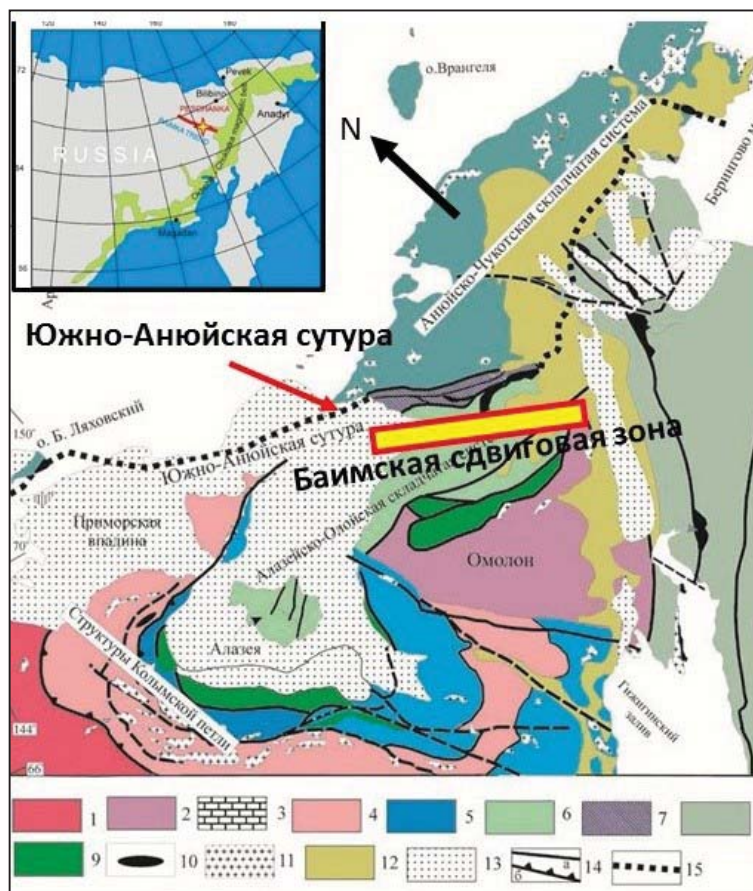


Рис. 1. Положение Баимской сдвиговой зоны на тектонической схеме Северо-восточной Азии [Nokleberg et al., 1994]. Основные тектонические элементы:

1 — Сибирская платформа; 2 — блоки с древней докембрийской континентальной корой; 3 — деформированный палеозойско-мезозойский чехол Новосибирско-Чукотской складчатой области; 4 — верхоянский комплекс и его эквиваленты; 5 — деформированный палеозойско-мезозойский чехол Верхояно-Колымской складчатой области; 6 — Алазейско-Олойская складчатая система; 7 — Южно-Анюйская су́тура; 8 — Корякско-Камчатская складчатая область; 9 — палеозойско-мезозойские островодужные комплексы; 10 — офиолиты; 11 — граниты; 12 — Охотско-Чукотский вулканогенный пояс; 13 — кайнозойский чехол; 14 — тектонические границы: *a* — сдвиги, *b* — надвиги; 15 — Южно-Анюйская су́тура

Fig. 1. The position of the Baимская shear zone on the tectonic map of the Northeast Asia [Nokleberg et al., 1994].

The main tectonic elements:

1 — Siberian platform; 2 — blocks with the ancient Precambrian continental crust; 3 — deformed Paleozoic-Mesozoic cover of the Novosibirsk-Chukotka folded region; 4 — Verkhoyansk complex and its equivalents; 5 — deformed Paleozoic-Mesozoic cover of the Verkhoyansk-Kolyma folded region; 6 — Alazey-Oloi folded system; 7 — South Anyui suture; 8 — Koryak-Kamchatka folded region; 9 — Paleozoic-Mesozoic island arc complexes; 10 — ophiolites; 11 — granites; 12 — Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt; 13 — Cenozoic cover; 14 — tectonic boundaries: *a* — shears, *b* — thrusts; 15 — South Anyui Suture

Баимская сдвиговая зона вытянута более чем на 170 км в северо-западном направлении. Ширина зоны около 20 км. На юго-востоке она перекрывается верхнемеловыми вулканитами Охотско-Чукотского магматического пояса. На северо-западе в пределах сдвиговой зоны расположена раннемеловая Мангазейская вулканоструктура, к которой приурочены рудопроявления медно-порфиrowого типа и эпитеpмальные золотосеребряные проявления (рис. 2).

Контролируемые сдвиговой зоной раннемеловые рудоносные гипабиссальные интрузии диоритового весеннинского и монцонитоидного егдыкычского комплексов прорывают смятые в складки вулканогенно-осадочные отложения верхней юры-нижнего мела.

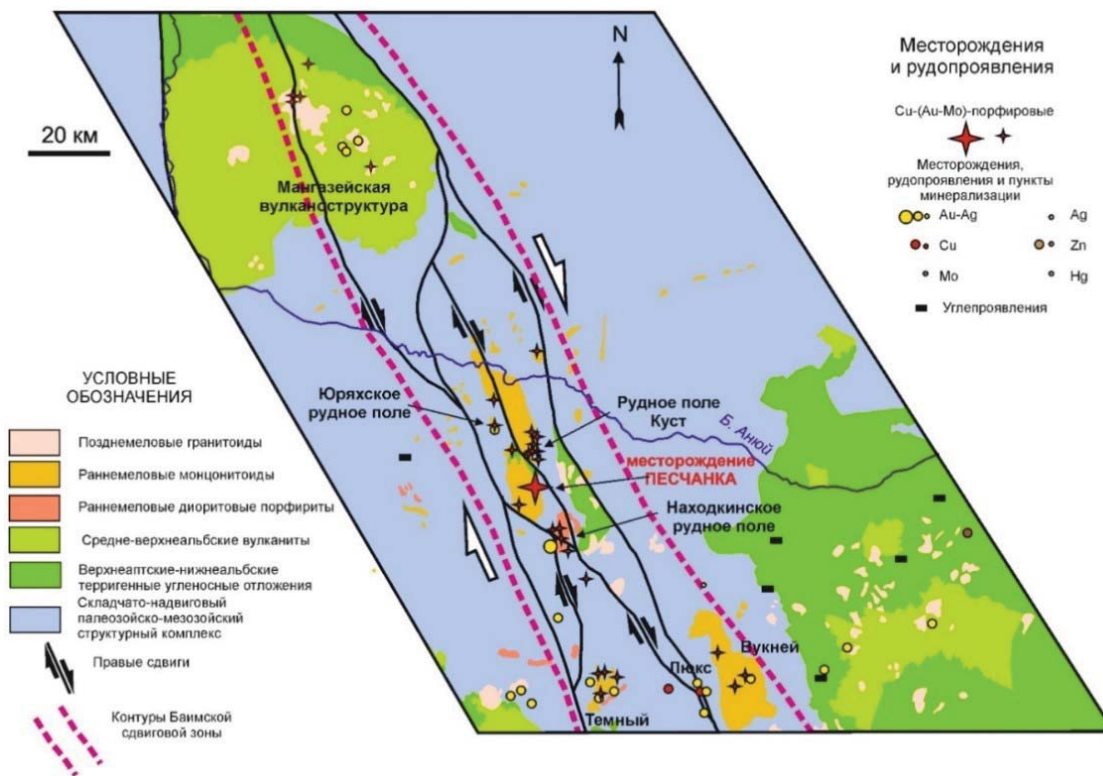


Рис. 2. Структура и минерализация Баймской сдвиговой зоны [Читалин и др., 2013].

Fig. 2. The structure and mineralization of the Baimskaya shear zone [Читалин и др., 2013]

Верхнеаптская терригенная угленосная айнахургенская свита на северном фланге месторождения Песчанка несогласно, с разрывом залегает на метасоматически измененных и оруденелых монцодиоритах и монцодиорит-порфирах Егдыгкычского плутона. Севернее месторождения на участке Егдыгкыч бурением выявлен пологий надвиг (с востока на запад) минерализованных монцодиоритов на угленосные песчаники и алевролиты айнахургенской свиты.

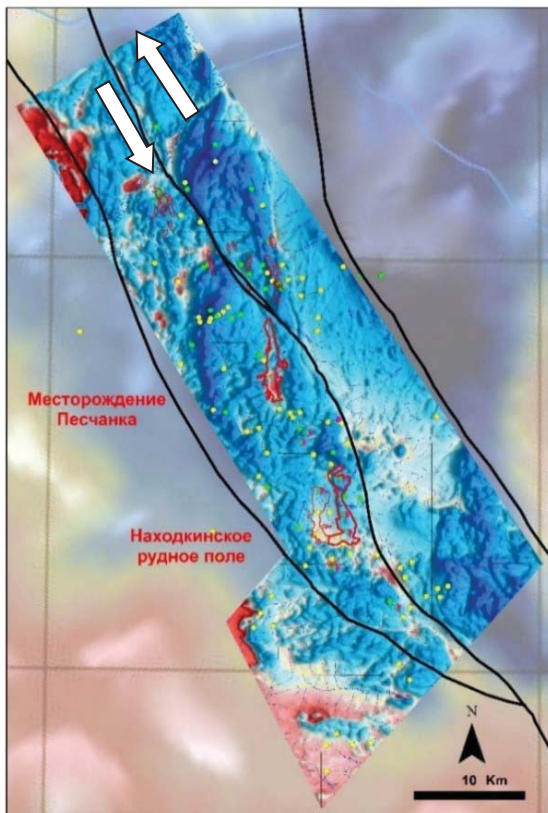
Структурные парагенезы Баймской сдвиговой зоны

Автором выявлены разномасштабные структурные парагенезы позднеюрско-раннемелового возраста, отражающие структурную эволюцию Баймской сдвиговой зоны. Выделяются следующие структурные парагенезы, от ранних к поздним: дорудные: соскладчатые, интрузивные; синрудные: золото-кварцевой минерализации, медно-порфировой минерализации, эпитепмальной золото-серебряной минерализации; пострудные.

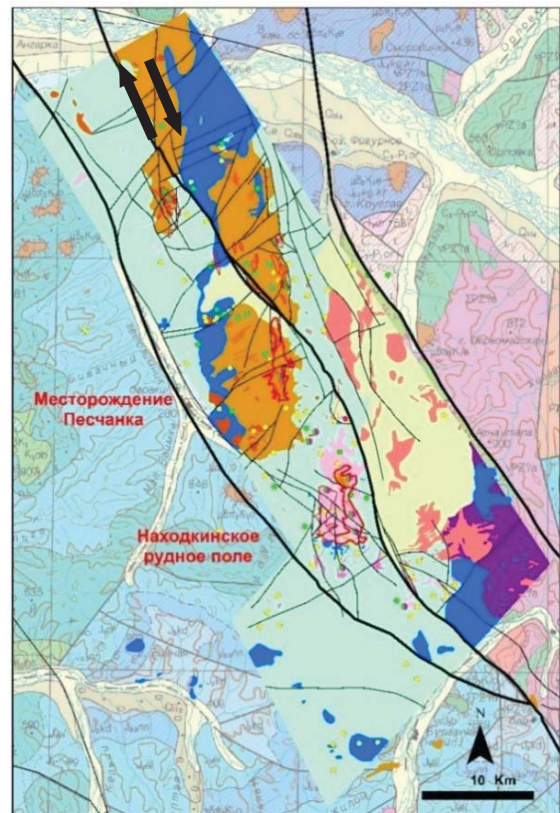
Позднеюрский соскладчатый структурный парагенез. Структурный парагенез позднеюрского возраста представлен разномасштабными складками СЗ простирания, взбросами, сдвиго-взбросами, сдвигами. В верхнеюрских песчаниках и алевролитах отмечен крутопадающий осевой кливаж. Перпендикулярно кливажу развиты горизонтальные трещины отрыва с кварцевыми прожилками.

Позднескладчатый левый сдвиг по региональному Егдыгкыч-Алучинскому разлому СЗ простирания был впервые выделен автором на основе анализа современных региональных геологических и аэромагнитных карт [Читалин, 2019] Это главный продольный разлом Баймской сдвиговой зоны. По разлому смещена в плане по типу левого сдвига линейная интенсивная положительная магнитная аномалия и вызвавшая аномалию линейная интрузия, сложенная магнитными габброидами позднеюрского баймского комплекса. Амплитуда левого сдвига 5.5 км (рис. 3, А).

Левый сдвиг пересекается линейным интрузивом монцондиоритов раннемелового егдыгкычского комплекса, который прорывает смещенные габброиды и, в свою очередь, смещается Егдыгкычским разломом уже по типу правого сдвига с амплитудой 0.7–1 км (рис. 3, Б). Таким образом, левостороннее смещение по разлому определяется как позднеюрское, а правостороннее как раннемеловое: разлом смещает раннемеловые рудоносные интрузии, а также несогласно перекрывающие их угленосные отложения верхнеаптской айнахургенской свиты.



А



Б

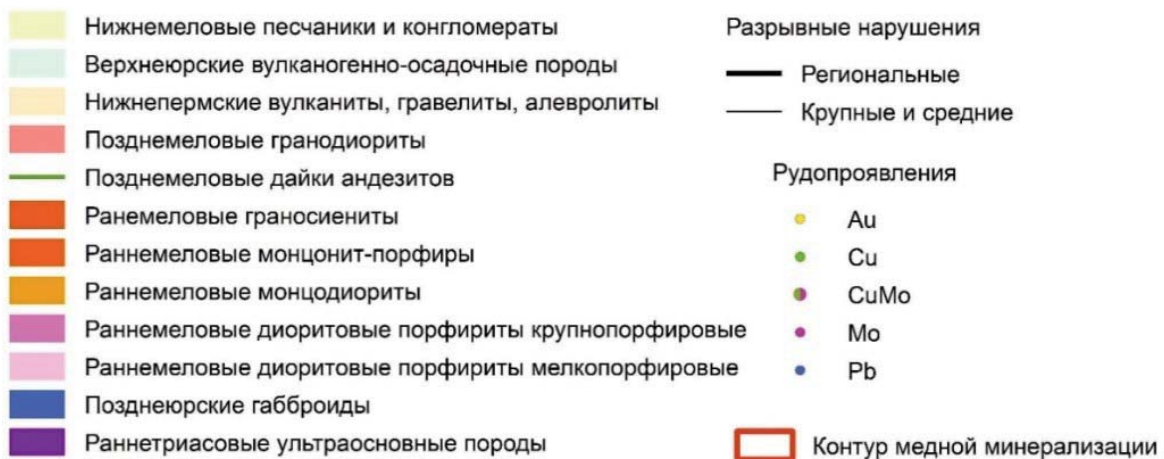


Рис. 3. Главные продольные сдвиги Баимской сдвиговой зоны. По главному Егдыгкыч — Алучинскому разлому фиксируется левостороннее смещение положительной магнитной аномалии и интрузива позднеюрских габброидов (А) и реверсивное правостороннее смещение интрузива раннемеловых монцодиоритов (Б)

Fig. 3. The main longitudinal strike-slip faults of the Bainskaya shear zone. The left-lateral displacement of the positive magnetic anomaly and the Late Jurassic gabbroid intrusion (A) and the reverse right-lateral displacement of the Early Cretaceous monzodiorite intrusion (B) by the main Yegdygkych — Aluchinsky fault are recorded

Мезоструктурный левосдвиговый парагенез отрывов и сопряженных сколов-сдвигов, выполненных кварц-кальцитовыми прожилками, установлен в кливажированных верхнеюрских алевролитах в южной части Баимской зоны, на золоторудном участке Люкс. Там же выделен более поздний правосдвиговый парагенез отрывов и сколов (рис. 4). Разновозрастные сдвиговые структурные парагенезы сформировались на разных этапах деформации в различных полях напряжений сдвигового типа. Кварц-карбонатные прожилки пересекают дайки раннемеловых диоритовых порфиритов и андезитов.

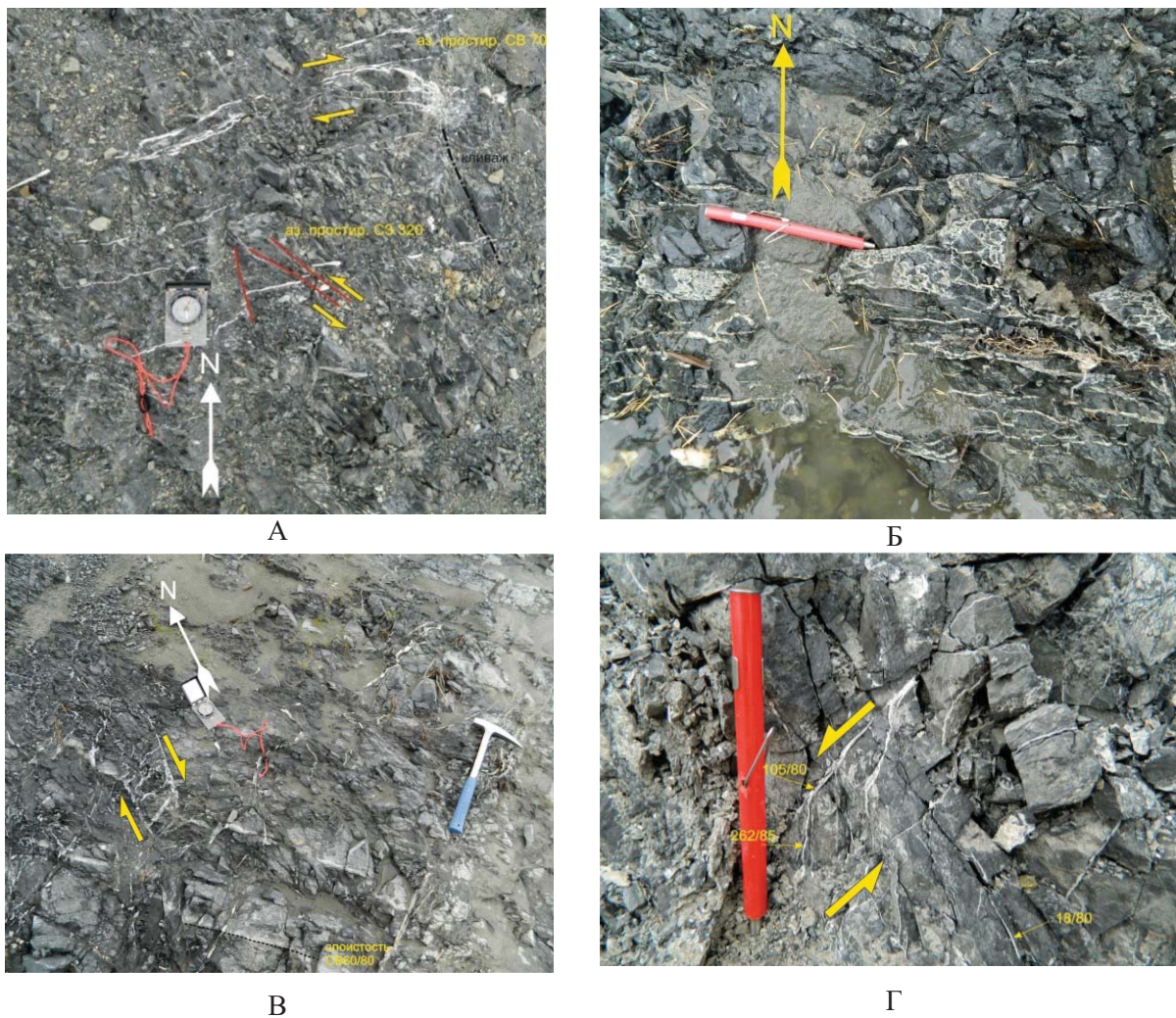


Рис. 4. Мезоструктурные парагенезы в зоне Егдыгкыч-Алучинского разлома СЗ простирания. Участок Люкс. Левосдвиговой структурный парагенез (дорудный):

А — кварцевый штокверк в кливажированных алевролитах. Левосдвиговой структурный парагенез трещин отрыва и двух сопряженных сколов (правые и левые сдвиги) образовался в обстановке широтного сжатия и меридионального растяжения в зоне регионального левого сдвига СЗ простирания. Б — линейный штокверк широтного простирания. Одна система крутопадающих кварцевых прожилков по трещинам отрыва в кливажированных алевролитах. Кварцевая жила-брекчия. Штокверк образовался в обстановке меридионального горизонтального растяжения и широтного сжатия. Правосдвиговой золоторудный структурный парагенез: В — крутопадающие кварц-карбонатные прожилки в слоистых алевролитах. Меридиональный правосдвиговой дуплекс растяжения. Г — строение зоны прожилкования в алевролитах. Парагенез двух сколов и отрыва, заполненных кварц-карбонатными прожилками

Fig. 4. Mesostructural parageneses within the zone of the Yegdygkych-Aluchinsky fault of the northwestern strike. The Lux prospect. Left-shear structural paragenesis (pre-ore):

А — quartz stockwork in cleaved siltstones. Left-shear structural paragenesis of extension fractures and two conjugated shear fractures (dextral and sinistral) was formed under conditions of latitudinal compression and meridional extension in the zone of regional left-lateral shear of NW strike. Б — linear stockwork of latitudinal strike. One system of steeply dipping quartz veins along extension fractures in cleaved siltstones. Quartz breccia-like vein. The stockwork was formed in the setting of meridional horizontal extension and latitudinal compression. Dextral-shear gold controlling structural paragenesis: В — steeply dipping quartz-carbonate veins in layered siltstones. Meridional right-shift extensional duplex. Г — the structure of the veining zone in siltstones. Paragenesis of two shear fractures and extension fracture filled by quartz-carbonate veins

Смена полей напряжений сопровождалась изменением знака сдвигового смещения по глубинному Егдыгкыч-Алучинскому разлому в раннемеловое время. Вначале это был левый сдвиг, а затем — правый. Этап правого сдвига соответствует образованию золотоносных кварц-карбонатных

жильно-прожилковых зон. Пострудные меридиональные правые сдвиги, также образовавшиеся в обстановке правого сдвига по глубинному Баймскому разлому, смещают кварцевые прожилки.

Предрудный интрузивный структурный парагенез. Раннемеловые линейные интрузии и штоки сформировались в меридиональных зонах проницаемости и растяжения, а также в узлах их пересечения с поперечными разрывами. Егдыкычский и Вукнейский линейные интрузивы, а также прорывающие их меридиональные дайкообразные тела рудоносных монцонит-порфиров внедрялись по трещинам растяжения в зоне правостороннего Баймского сдвига.

При документации рудного керна на участке Прямой Находкинского рудного поля в мелкопорфировых диоритовых порфиритах первой фазы весеннинского интрузивного комплекса были выявлены тектонические зоны бластомилонитов со сланцеватой текстурой и с новообразованиями (бластами) кварца, серицита, хлорита и эпидота. Эти стресс-метаморфиты относятся к низким ступеням фации зеленых сланцев. Бластомилониты образовались в горячих, но уже раскристаллизовавшихся породах. Отмечено постепенное увеличение интенсивности деформации от краев зоны к ее осевой части, где фенокристаллы плагиоклаза и кварца сильно сплющены, раздавлены, перекристаллизованы и будинированы, порода становится отчетливо полосчатой и напоминает флюидальные риолиты (рис. 5). Мощность зон бластомилонитов составляет первые сантиметры — первые метры. Бластомилониты контролируют распространение рудной сульфидной вкрапленности.



Рис. 5. Бластомилонит по кварцевым диорит-порфиридам с прожилками и линзами кварца, и тонкой вкрапленностью сульфидов. Участок Прямой. Скважина СН11-616/104.0 м

Fig. 5. Blastomylonite in quartz diorite porphyry with quartz veins and lenses and fine impregnation of sulfides. Pryamoy deposit. Drill hole SN11-616 / 104.0 m

В монцодиоритах Егдыкычского и Вукнейского плутонов отмечены три системы контракционных трещин Клооса. Наиболее густой является пологая трещиноватость — L, параллельно которой в породах локально отмечается слабо выраженная магматическая полосчатость. Кроме того, отмечены две системы крутопадающих сопряженных диагональных трещин скалывания сдвигового типа, указывающих на незначительное широтное горизонтальное раздавливание интрузивов после их становления.

Структурные парагенезы медно-порфировых и эпитермальных золото-серебряных руд Порфирово-эпитермальные системы Баймской рудной зоны

Порфирово-эпитермальная система (ПЭС) — полихронная рудно-магматическая система с прожилково-вкрапленной минерализацией медно-порфирового типа и парагенетически связанной с ней эпитермальной золотосеребряной минерализацией. Порфирово-эпитермальные системы формируются в магматических дугах над зонами субдукции [Sillitoe, 2010].

На рудных объектах Баймской зоны в пределах ПЭС медная минерализация развивается по порфиоровым штокам и по вмещающим их породам. Медно-порфировая система пересекается

и обрамляется эпитермальными жилами и штокверками с полиметаллической и Au-Ag минерализацией. ПЭС обладают вертикальной и латеральной рудно-метасоматической зональностью. В истории развития ПЭС выделяется два этапа: ранний мезотермальный и поздний эпитермальный этапы, которые состоят из нескольких стадий [Нагорная, 2013; Николаев и др. 2013; Сидорина, 2015; Читалин и др., 2016; Джеджева, 2019].

Медно-порфировые месторождения Песчанка и Находкинское рудное поле принадлежат разным ПЭС. Структурные парагенезы их во многом сходны. Отличие заключается лишь в том, что в пределах Находкинского рудного поля на медно-порфировую минерализацию наложена более поздняя эпитермальная жильно-прожилковая золото-серебряная минерализация.

Месторождение Песчанка. Золото-молибден-медно-порфировое месторождение Песчанка представляет собой линейный полихронный штокверк протяженностью 7 км и шириной до 1 км, разобранный на три части пострудными сбросо-сдвигами. Рудный штокверк (прожилково-вкрапленная кварц-сульфидная минерализация) сформировался по метасоматически измененным монцодиорит-порфирам второй фазы, образующим линейное тело сложного строения, а также по вмещающим их монцодиоритам первой фазы, также измененным (рис. 6).

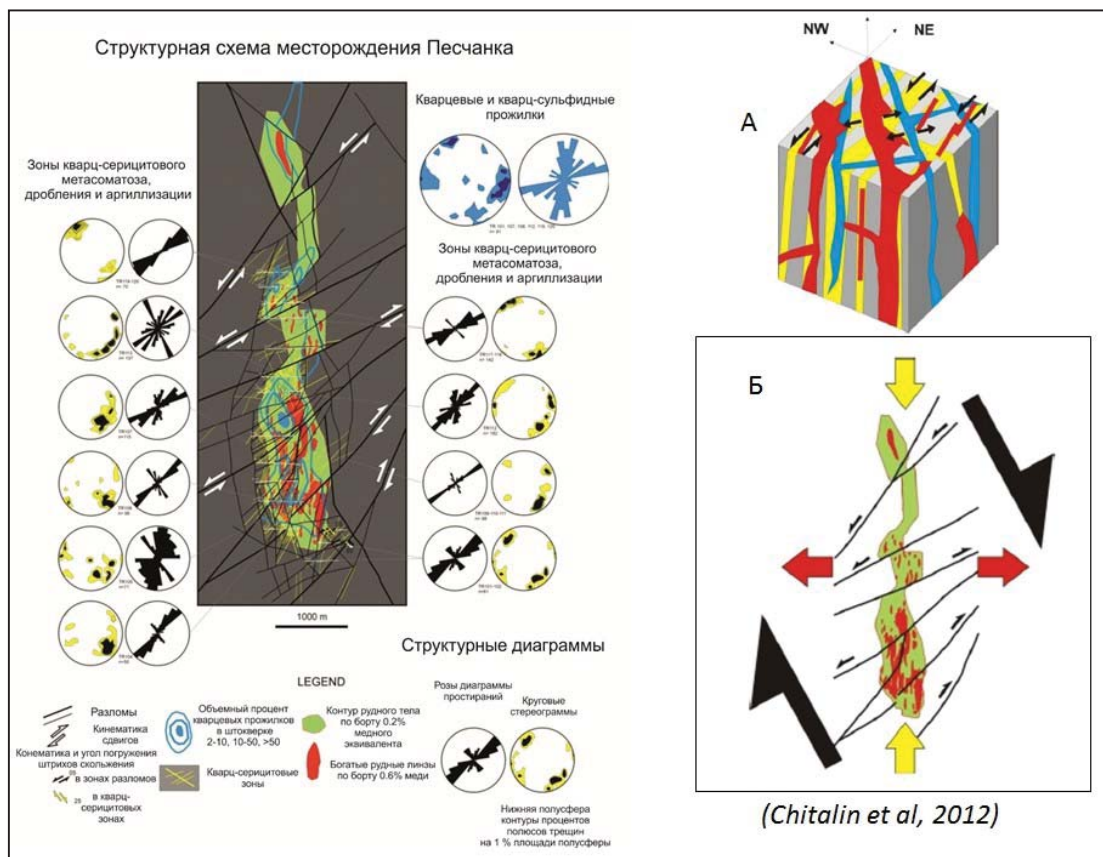


Рис. 6. Структура и структурная модель месторождения Песчанка [Chitalin et al., 2012]:

А — Принципиальная схема структуры полихронного рудного штокверка месторождения Песчанка. Желтый цвет — зоны кварц-серicitового метасоматоза, синий цвет — кварцевые прожилки, красный цвет — рудная гипогенная минерализация, черные стрелки — кинематика перемещений блоков. Б — Структурная модель месторождения Песчанка. Красным цветом показаны богатые руды, зеленым цветом — контур рудной залежи по борту 0.2 % условной меди. На структурных диаграммах показана ориентировка зон филлизитов (зоны сдвигов) преимущественно СВ простирания и кварцевых прожилков в штокверке (продольные меридиональные прожилки по трещинам отрыва и поперечно-диагональные ВСВ простирания по трещинам скалывания)

Fig. 6. The structure and structural model of the Peschanka deposit [Chitalin et al., 2012]:

А — Schematic diagram of the structure of the polychronous ore stockwork of the Peschanka deposit. Yellow color — zones of quartz-sericite alteration, blue color - quartz veins, red color — hypogene ore mineralization, black arrows — kinematics of block movements. Б — Structural model of the Peschanka deposit. Rich ores are shown in red, and the ore deposit contour on board 0.2 % of CuEq is shown in green. The structural diagrams show the orientation of the phyllic alteration shear zones mainly of NE strike and quartz veinlets in stockwork (longitudinal meridional veins filled an extensional fractures and transversely diagonal ENE trending veins filled a shear fractures)

Рудная минерализация находится в контуре биотит-калишпатовых метасоматитов, которые на флангах месторождения сменяются эпидот-хлорит-актинолитовыми пропилитами по монцодиоритам и вмещающим их ороговикованным вулканогенно-осадочным породам верхней юры.

Многочисленные разномасштабные линейные зоны (D-veins) кварц-серицитовых метасоматитов (филлизитов), несущих рудную минерализацию, образуют метасоматический штокверк, наложенный на калиевые метасоматиты и частично на пропилиты. В филлизитовом штокверке преобладают крутопадающие зоны СВ простирания и, в меньшем количестве, СЗ простирания, редко отмечаются пологие зоны. Зоны филлизитов обладают деформационно-метасоматической полосчатостью; они развивались как трещины скалывания сдвигового типа, которые сначала контролировали раннюю калишпатизацию, а затем более поздний кварц-серицитовый метасоматоз и рудную прожилково-вкрапленную минерализацию.

Филлизиты и калиевые метасоматиты пересекаются кварцевыми и сульфидно-кварцевыми прожилками выполнения, также образующими штокверк. Кварц в прожилках светло-серый, часто тонко полосчатый за счет пылевидных скоплений молибденита. Сульфиды (борнит, халькопирит, пирит, молибденит, блеклые руды) наложены на кварцевые прожилки, концентрируясь в их зальбандах, а также в секущих жильный кварц и вмещающие породы трещинах и микрозонах дробления, где часто ассоциируются с более поздним белым кварцем и карбонатом.

По объемному количеству жильного кварца в кварцевом штокверке выделяются линзовидные ядерные части, где мощность прожилков кварца достигает нескольких сантиметров, а суммарный объем кварцевых прожилков достигает 10 % и более. Как правило, ядерные части кварцевого штокверка не несут сульфидной минерализации или она крайне убогая. Выделяется до четырех систем кварцевых прожилков и минимум две генерации кварца. В разведочных канавах установлено, что преобладают (по количеству и мощности) меридиональные вертикальные кварцевые прожилки, заполняющие извилистые трещины отрыва.

Наиболее поздними являются крутопадающие сульфидные золотоносные жилы меридионального простирания, которые в корневой зоне штокверка (Песчанкинский разлом) выполняли трещины отрыва. Примеры соотношений метасоматитов, прожилков, гидротермальных брекчий, жил и пострудных даек показаны на рис. 11–13.

Таким образом, структурный парагенез медно-порфировой минерализации месторождения Песчанка является весьма сложным, полистадийным, отражающим длительную структурную эволюцию минерализованного штокверка в условиях широтного горизонтального растяжения и меридионального горизонтального сжатия. Это локальное поле напряжений возникло в обстановке правого сдвига вдоль Баймского глубинного разлома.

Находкинское рудное поле. Находкинское рудное поле (НРП) находится на западном фланге одноименной крупной порфирово-эпитермальной системы [Читалин и др., 2016] с эродированным золото-серебряным эпитермальным оруденением в центральной части и неэродированным на флангах [Нагорная, 2013].

Находкинское рудное поле включает южную часть слабо эродированного Верхне-Баймского гипабиссального штока диорит-порфиритов раннемелового возраста, который интрузирует вулканогенно-осадочные отложения верхней юры и позднеюрские габброиды и нарушен сдвигами и сбросо-сдвигами с амплитудами смещений до 1 км. Диорит-порфириты прорваны небольшими штоками и дайками раннемеловых монцонитоидов и позднемеловыми гранодиоритами (рис. 7 А, 8).

Прожилково-вкрапленная минерализация медно-порфирового типа в виде протяженных линейных штокверков и линз гидротермальных брекчий распространена преимущественно в эндоконтактной зоне Верхне-Баймского штока. На участке Весенний медно-порфировая минерализация отмечена локально на дневной поверхности и в некоторых скважинах. Более поздняя наложенная эпитермальная золото-серебряная минерализация жильно-прожилкового типа отмечена на всех участках Находкинского рудного поля, но наиболее интенсивно она проявлена на его западном фланге (участок Весенний) и на южном фланге (участок Прямой). Золотоносные полосчатые кварц-карбонатные прожилки и жилы эпитермального этапа пересекают кварц-медносульфидные прожилки и гидротермальные брекчии медно-порфирового этапа (рис. 7, А, Б, В).

В пределах Находкинского рудного поля золото-молибден-медная минерализация локализуется в Восточной зоне, в краевой части штока диоритовых порфиритов (рис. 7, Г). Здесь выделяется три участка с промышленной минерализацией медно-порфирового типа. Разведочным бурением глубиной до 500 м в их пределах оконтурено несколько линзовидных кулисообразных в плане и в разрезе рудных тел субмеридионального простирания.

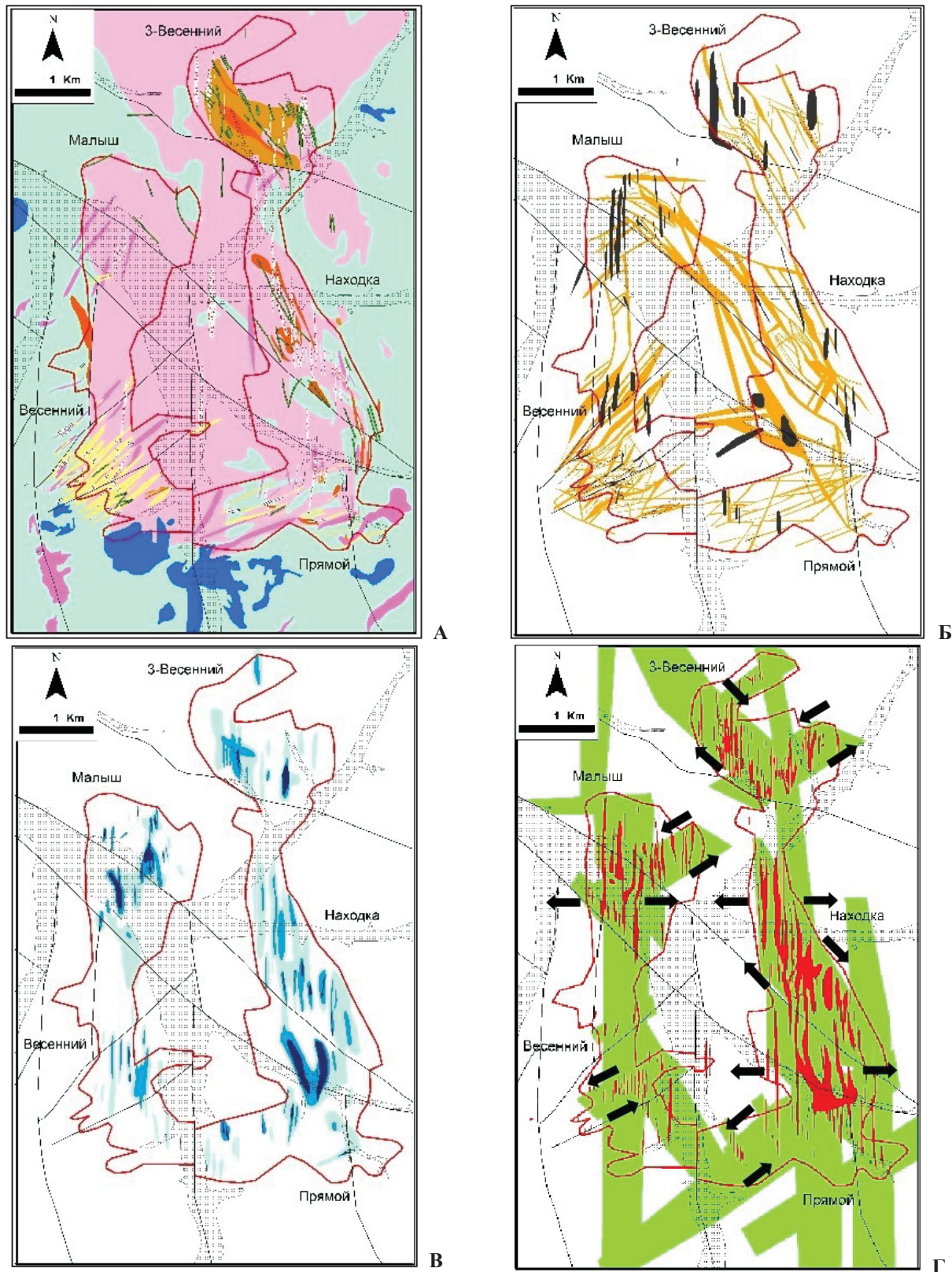


Рис. 7. Геологическая схема и рудная минерализация Находкинского рудного поля:
 А — геологическая схема; Б - метасоматиты; В — кварцевые штокверки; Г — медно-сульфидные штокверки и их кинематика. Условные обозначения см. на рис. 8

Fig. 7. The geological sketch map and ore mineralization of the Nakhodka ore field.
 А — geological sketch map; Б — metasomatites; В — quartz stockworks; Г — copper-sulfide stockworks and their kinematics. The legend is on fig. 8



Рис. 8. Условные обозначения к рис. 7

Fig. 8. Legend to Fig. 7

Рудоносными являются зоны филлизитов и кварц-сульфидные прожилки, аналогичные выделяемым на месторождении Песчанка. Установлены и аналогичные Песчанке метасоматическая и рудная зональности. Рудные тела имеют форму мощных (до 150 м) пластин, круто падающих на восток. Установлено, что самой ранней является молибден-порфировая минерализация, предшествующая продуктивной золото-медно-порфировой минерализации.

Западная зона Находкинского рудного поля характеризуется эпитермальной золотосеребряной минерализацией жильно-прожилкового типа, наложенной на сильно метасоматически окварцованные диоритовые порфиры и вмещающие их верхнеюрские андезиты и их туфы.

Наиболее изученным является золотосеребряное месторождение Весеннее, где помимо богатых кварц-карбонатных золотосеребряных-полиметаллических жил установлено крупнообъемное штокверковое оруденение с более бедными рудами. Золотоносные кварц-карбонатные штокверки образуют сближенные рудные тела (рис. 9). Нами установлено, что эпитермальная минерализация наложена на медно-порфировый штокверк, эпитермальные полосчатые жилы пересекают и «съедают» кварц-сульфидные прожилки.

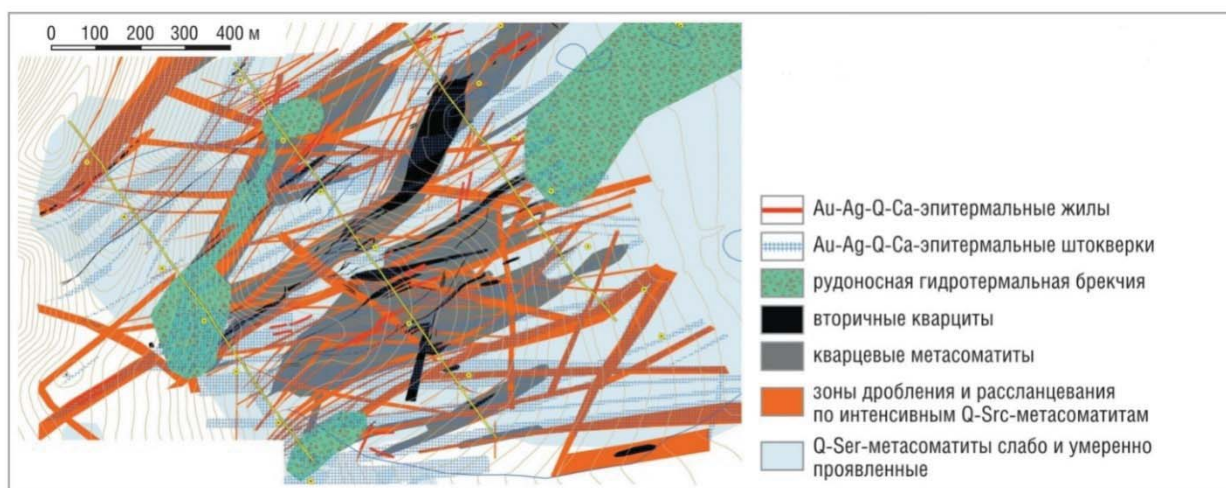


Рис. 9. Карта рудно-метасоматической зональности участка Весенний-Центр [Читалин и др., 2016]

Fig. 9. Map of ore-metasomatic zoning of the Central Vesenny deposit [Читалин и др., 2016]

В пределах НРП широко проявлены гидротермальные брекчии, часто рудоносные. Они образуют линзовидные тела и изометричные штоки, контролируемые линейными зонами филлизитов. В обломках брекчий содержатся в основном вмещающие метасоматитически измененные оруденелые породы,

реже – обломки аллохтонных пород. Цемент брекчий представлен гидротермальными минералами: кварцем, карбонатом, гематитом, магнетитом, сульфидами (халькопирит, пирит, борнит). Установлены текстуры «обломок в обломке», что свидетельствует о многоактном формировании гидротермальных брекчий. Согласно классической модели, гидротермальные брекчии характерны для верхнего уровня медно-порфировой системы, что не противоречит нашим выводам о верхнерудном эрозионном срезе Находкинского рудного поля. Гидротермальные брекчии пересекаются эпитермальными кварц-карбонатными жилами и прожилками, а также пострудными дайками андезитов.

Объемная модель рудных залежей Находкинского рудного поля показана на рис. 10, а структурная модель эпитермальной Au-Ag минерализации — на рис. 11.

Кварцевые и медно-сульфидные штокверки формировались как локальные меридиональные структуры горизонтального широтного растяжения в сопряженных сдвиговых зонах: СЗ простираения — правосторонних и СВ простираения — левосторонних.

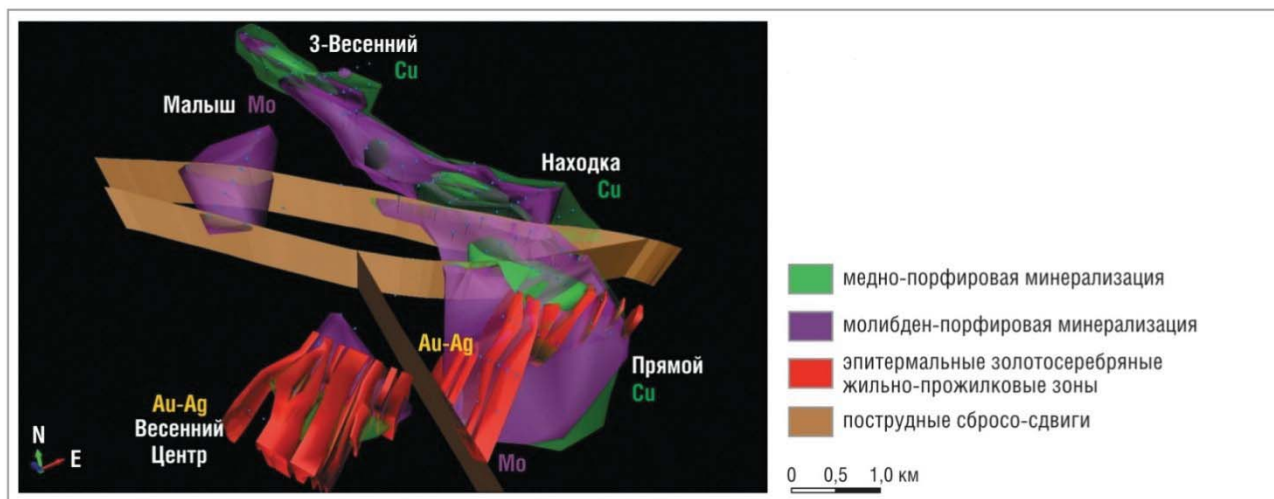


Рис. 10. Объемная модель рудных залежей Находкинского рудного поля [Читалин и др., 2016]

Fig. 10. 3D-model of ore bodies of the Nakhodka ore field [Читалин и др., 2016]

Более поздняя наложенная эпитермальная золото-серебряная минерализация также контролируется сопряженными сдвиговыми зонами – меридиональной правосторонней и широтной левосторонней. Наиболее золотонасыщенный участок Весенний Центр локализован в узле пересечения сопряженных сдвиговых зон. Золотоносные жилы и штокверки являются кулисными структурами растяжения (трещины отрыва и раскрытые сколы) в сдвиговых зонах. Сдвиговая модель предполагает продолжение рудных тел на большую глубину, где возможно обнаружение слепых рудных тел (рис. 11).

На фотографиях (рис. 12–16) видно строение рудоконцентрирующих структур и синрудная кинематика прожилков месторождения Песчанка и Находкинского рудного поля.

Пострудные структурные парагенезы. Пострудный раннемеловой структурный парагенез представлен надвигами и сдвигами, присдвиговыми складками волочения с вертикальными шарнирами, изгибающими слоистость и кливаж в алевролитах верхней юры. На северном фланге месторождения Песчанка (участок Егдыкыч-Куст) бурением установлен пологий надвиг рудоносных монцодиоритов на пострудные угленосные отложения айнахургенской свиты (рис. 17). С надвигами кинематически сопряжены правые сдвиги СЗ простираения и левые сдвиги СВ простираения, которые также смещают отложения айнахургенской свиты.

Пострудные дайки андезитов позднемелового (?) возраста наследуют трещины и разрывы предыдущих этапов деформаций. Преобладают субмеридиональные дайки. На участках 3й-Весенний и Находка Находкинского рудного поля в скважинах задокументированы также горизонтальные дайки, которые образуют с вертикальными дайками своеобразную сетчатую структуру.

Наиболее поздними являются кайнозойские (?) пологие надвиги восточного падения, выявленные бурением в пределах Находкинского рудного поля (рис. 18). Надвиги сопровождаются зонами «сухого» дробления мощностью до 100 м (приразломные тектониты представлены какиритами с размерами обломков 1 см), а также кулисными горизонтальными прожилками гипса и кальцита [Читалин и др., 2016].

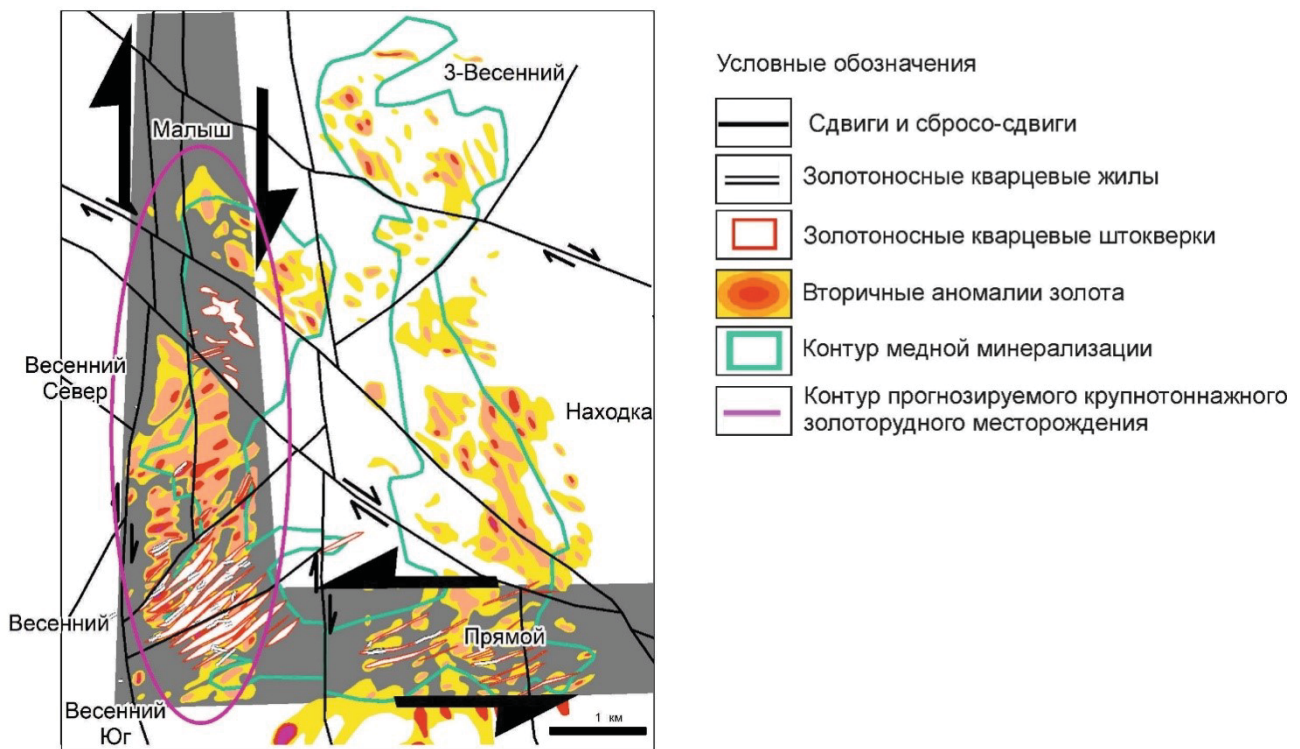


Рис. 11. Структурная модель сопряженных сдвиговых зон, контролирующей золото-серебряную эпitherмальную минерализацию [Читалин и др., 2019]

Fig. 11. A structural model of the conjugate shear zones controlling the gold-silver epithermal mineralization [Читалин и др., 2019]

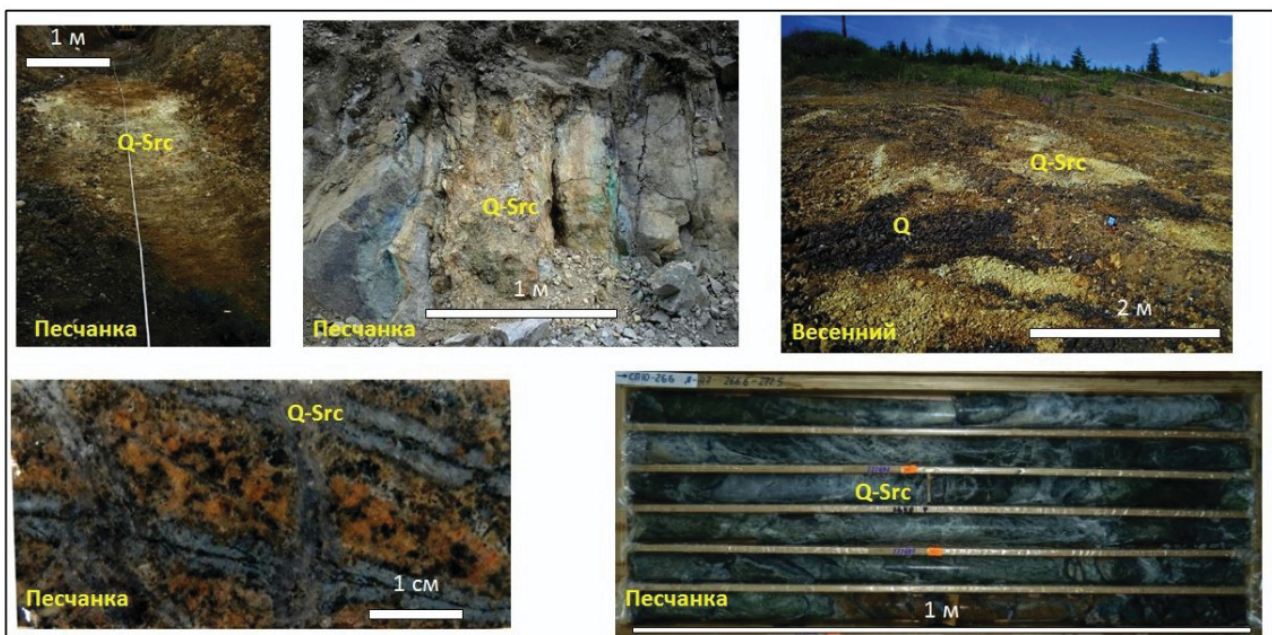


Рис. 12. Рудоносные зоны кварц-серицитовых метасоматитов (филлизитов), часто брекчированных и аргиллизированных.

Обозначения: Q-Src — кварц-серицитовые метасоматиты, Q — кварцевые метасоматиты

Fig. 12. Ore-bearing zones of quartz-sericite alteration, often brecciated and argillized.

Q-Src — quartz-sericite alteration, Q — quartz alteration

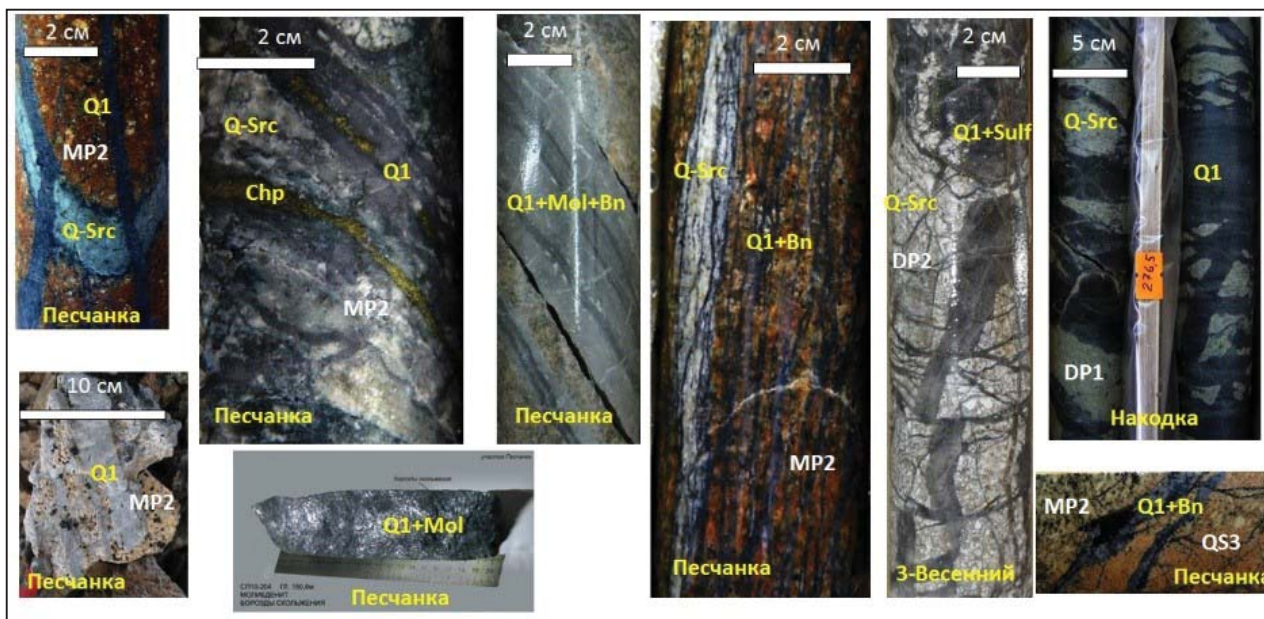


Рис. 13. Кварцевый (сульфидно-кварцевый) штокверк. Обозначения: весеннинский интрузивный комплекс: DP1, DP2 — диорит-порфиры первой и второй фаз; егдыгкычский интрузивный комплекс: MP2 — монзонит-порфиры второй фазы; Q-Src — зоны кварц-серицитового метасоматоза, Q1 — серые кварцевые прожилки первой генерации, Mol — молибденит, Bn — борнит, Chp — халькопирит, Sulf — сульфиды

Fig. 13. Quartz (sulfide-quartz) stockwork.

Designations: Vesenninsky intrusive complex: DP1, DP2 — diorite-porphyry of the first and second phases; egdygkych intrusive complex: MP2 — second-phase monzonite porphyry; Q-Src zones of quartz-sericite alteration, Q1 — gray quartz veins of the first generation, Mol — molybdenite, Bn — bornite, Chp — chalcopyrite, Sulf — sulfides

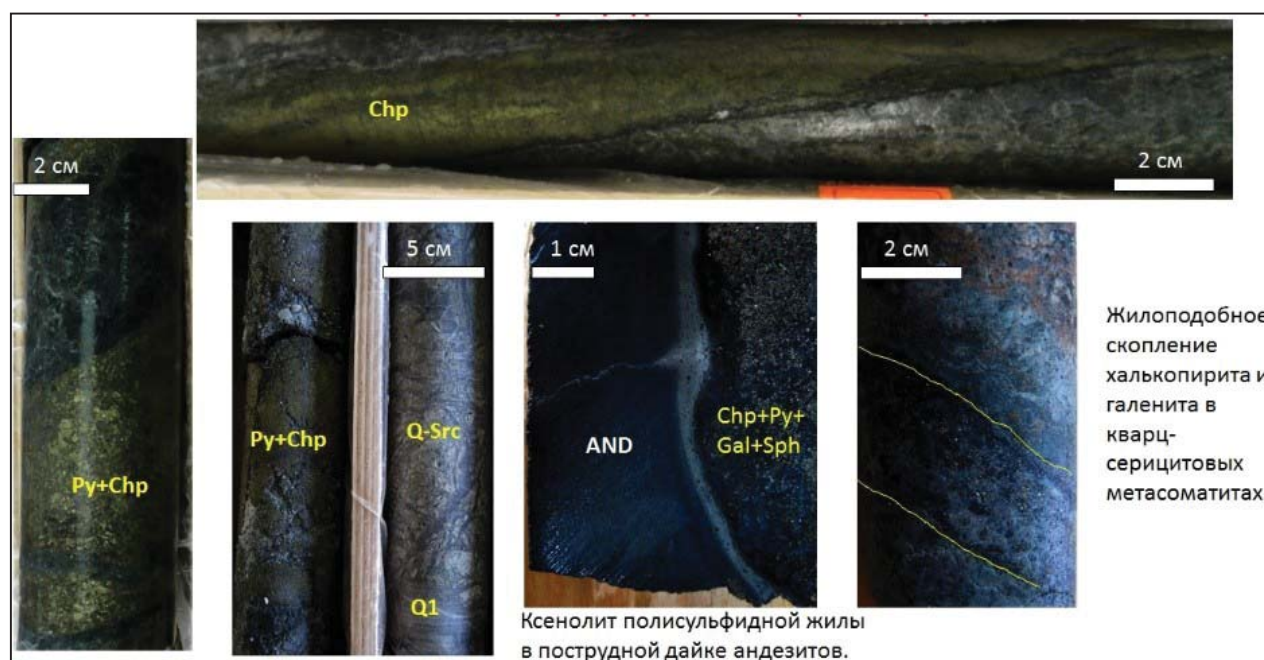


Рис. 14. Золотоносные сульфидные жилы (месторождение Песчанка).

Обозначения: Py — пирит, Gal — галенит, Sph — сфалерит. Остальные обозначения см. на рис. 13. Контакты жил бывают как четкие, так и расплывчатые-диффузные. Безрудные дайки андезитов пересекают сульфидные жилы

Fig. 14. Gold-bearing sulfide veins (Peschanka deposit).

Designations: Py — pyrite, Gal - galena, Sph — sphalerite. Other designations see in fig. 13. The vein contacts are both clear and vague-diffuse. Post-ore andesite dikes cross the sulfide veins

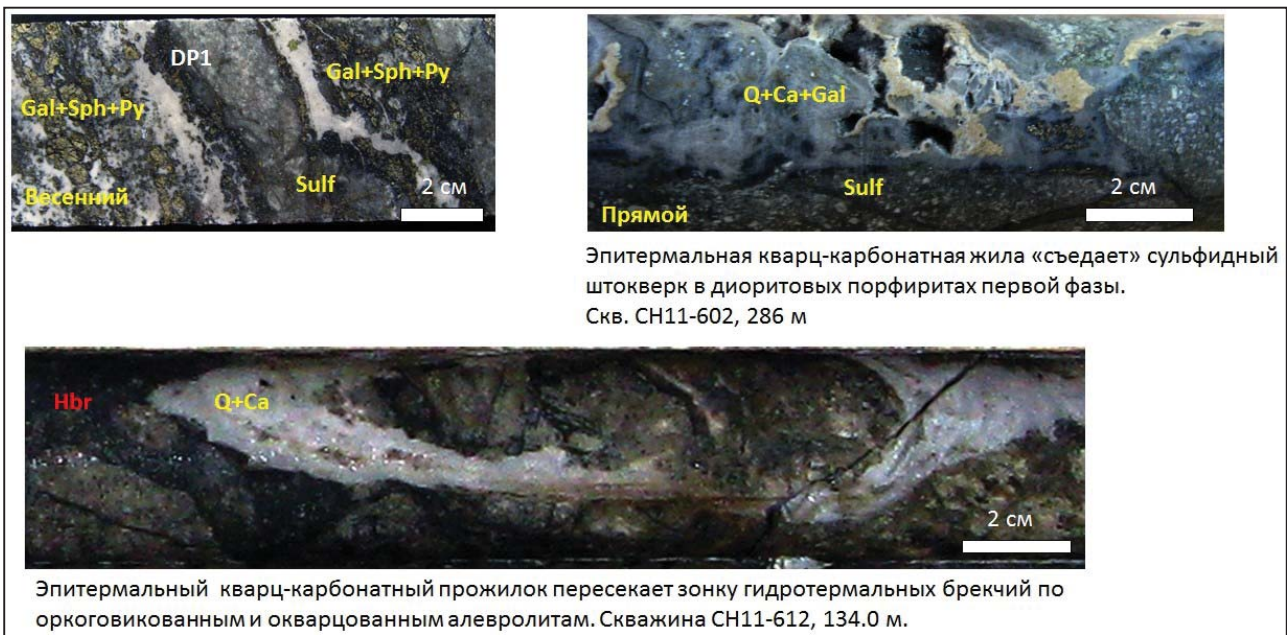


Рис. 15. Эпитермальные золотоносные кварц-карбонатные полисульфидные жилы и прожилки (Находкинское рудное поле — месторождение Весеннее, участок Прямой). Обозначения см. на рис. 12–14

Fig. 15. Epithermal gold-bearing quartz-carbonate polysulfide veins and veinlets (Nakhodka ore field — Vesennec deposit, Pryamoy deposit). Designations see in fig. 12–14

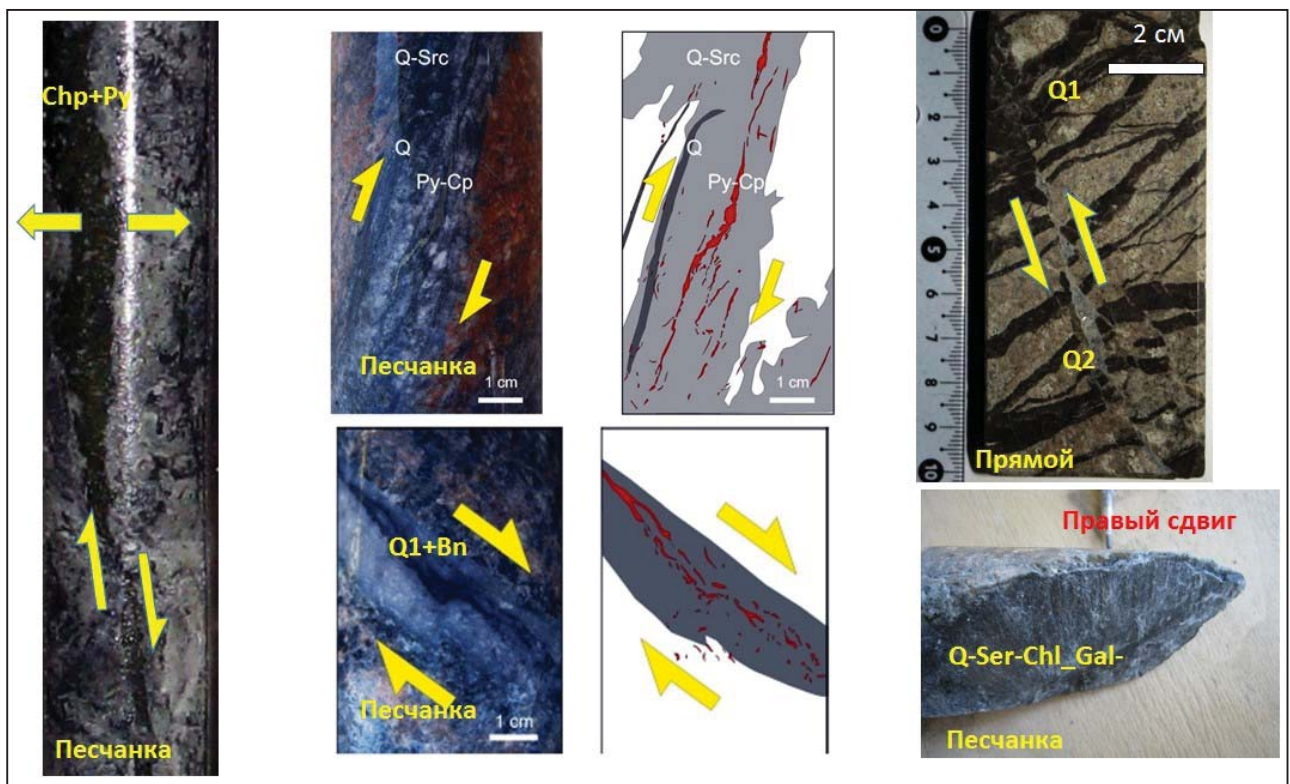


Рис. 16. Синрудная кинематика прожилков, сформировавшихся в различных тектонических условиях (надвиговые, сбросовые и сдвиговые поля напряжений).

Обозначения: Q2 — кварцевые прожилки второй генерации. Остальные обозначения см. на рис. 12–14

Fig. 16. Kinematics of mineralized veins formed in various tectonic conditions (thrust, fault and shear stress fields). Designations: Q2 — quartz veins of the second generation. Other designations see in fig. 12–14

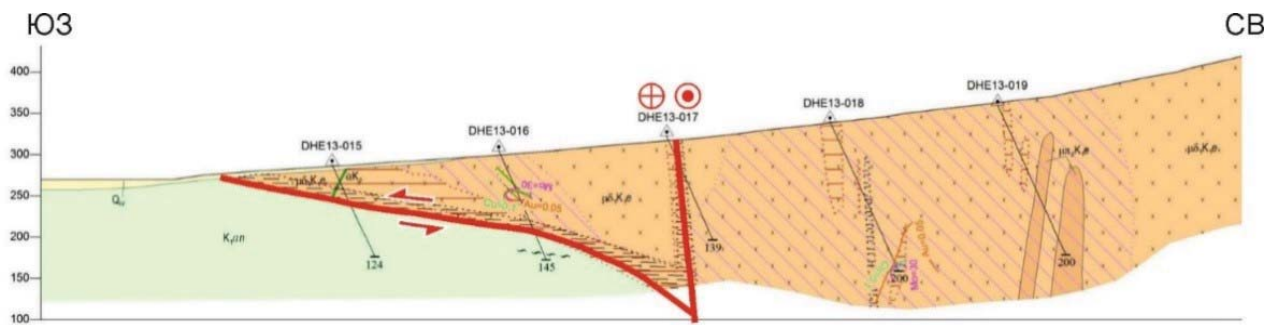


Рис. 17. Пологий надвиг рудоносных монцодиоритов на пострудные угленосные отложения айнахкургенской свиты. Участок Егдыгкыч. Надвиг сопряжен с правым сдвигом СЗ простирания

Fig. 17. The low-angle thrust fault of mineralized monzodiorites over the post-mineralisation coal-bearing sediments of the Ainakhkurgan Formation. Yegdygkych prospect. The thrust fault is associated with the dextral strike-slip fault of NW strike

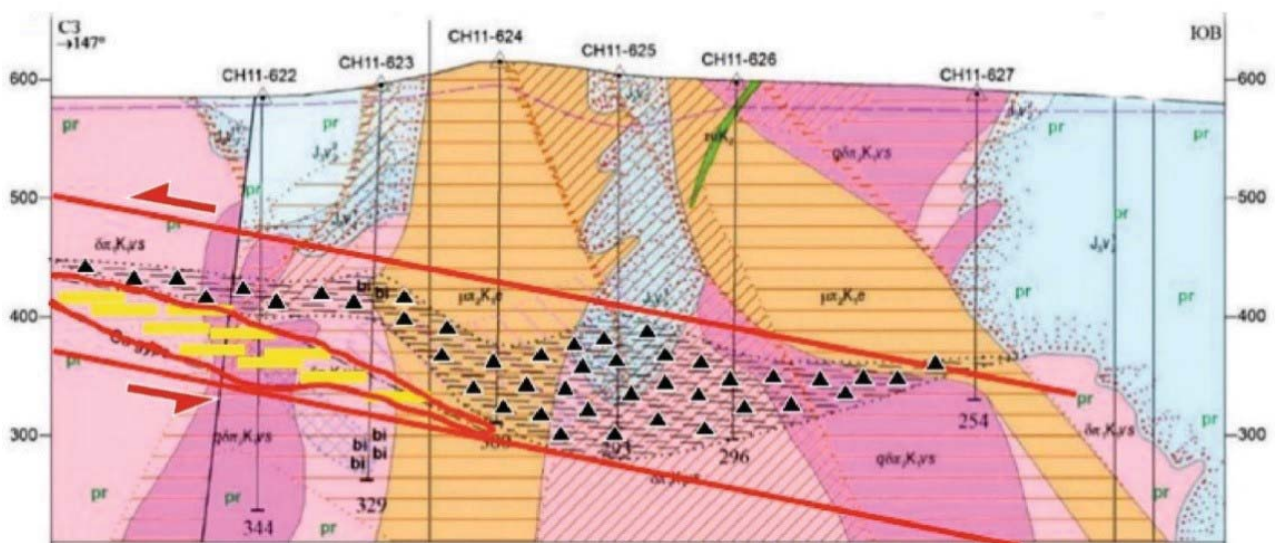


Рис. 18. Геологический разрез участка Прямой Находкинского рудного поля. Пологие зоны «сухого» дробления (какириты) и гипс-ангидритовых прожилков (желтые линии) — пострудные надвиги

Fig. 18. Geological cross-section of the Pryamoy deposit of the Nakhodka ore field. The low-angle zones of “dry” crushing (kikirite) and gypsum-anhydrite veins (yellow lines) mark the post-mineralization thrusts

Структурная эволюция Баймской сдвиговой зоны

Заложение и развитие Баймской сдвиговой зоны происходило в конце поздней юры — начале раннего мела. Датировки изотопного возраста рудоносных интрузивных пород, околорудных метасоматитов и молибденита меднопорфировых руд укладываются в возрастной интервал от позднего берриасса (144 млн лет) до раннего валанжина (137 млн лет) включительно (ссылки на публикации см. в работе [Читалин и др., 2016]). Изотопный возраст околорудных метасоматитов и молибденита в большинстве случаев моложе возраста рудовмещающих интрузивов на 2–5 млн лет. Такой временной разрыв, вероятно, является неслучайным — он характеризует длительный интервал формирования магматогенной рудной системы и указывает на запаздывание гидротермального рудного процесса по отношению ко времени становления и остывания интрузий (в научных публикациях приводятся многочисленные примеры длительного формирования эпитермально-порфировых систем). Возраст пострудной айнахкургенской свиты по споро-пыльце определен как позднеаптский.

Развитие Баймской сдвиговой зоны в конце мезозоя происходило в два этапа.

На первом этапе это была зона левого сдвига, когда сформировались позднекладчатые продольные взбросо-сдвиги Баймской зоны.

На втором этапе в обстановке правого сдвига разломы СЗ простираения были реактивированы как правые сдвиги. Заложились вторичные структуры растяжения — меридиональные сбросы и сдвигосбросы, трещины.

Сдвиги и структуры растяжения контролировали образование раннемеловых линейных интрузий и наложенных на них полихронных линейных штокверков медно-порфировых месторождений.

В конце второго этапа меридиональные разломы испытывали преимущественно сбросо-правосдвиговые перемещения, происходило поднятие и рудные штокверки были частично эродированы. Вдоль меридиональных правых сдвигов и сопряженных с ними широтных левых сдвигов образовались оперяющие их структуры растяжения ВСВ простираения, выполненные низкотемпературными золотоносными кварцевыми жилами и линейными штокверками.

Правосторонние смещения по сдвигам СЗ простираения и сопряженные левосторонние смещения по сдвигам СВ простираения, а также надвиговые перемещения происходили и позже, по крайней мере, до начала альбского века.

В кайнозое (?) образовались надвиги, незначительно нарушившие мезозойскую структуру.

Двухфазная структурная эволюция Баимской сдвиговой зоны была смоделирована на аналоговой тектонофизической модели, аналогичной Баимской сдвиговой зоне, с неоднородностями в виде продольных сдвигов и интрузивных тел. Моделирование позволило выявить происхождение и распределение на площади потенциально флюидопроницаемых зон декомпрессии. Эксперименты подтвердили двухфазную сдвиговую деформацию в Баимской зоне (сначала левый сдвиг, а затем правый сдвиг), показали, что раскрытая трещиноватость второй фазы формировалась в значительной мере благодаря наличию трещиноватости первой фазы. Сравнение модели с геологической картой Баимской зоны показывает, что участки растяжения на модели хорошо соответствуют известным месторождениям и рудопроявлениям меди, золота, а также перспективным участкам, перекрытым аллювиальным чехлом крупных долин [Фролова и др., 2018, 2019].

Литература

- Джеджея Г.Т.* Геохимическая зональность месторождения Песчанка и критерии оценки уровня эрозионного среза медно-порфировых объектов в Баимском меднорудном районе (Западная Чукотка): автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. Наук. М., 2019. 27 с.
- Нагорная Е.В.* Минералогия и зональность молибден-медно-порфирового рудного поля Находка, Чукотка: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. Наук. М.: РЕГЛЕТ, 2013. 27 с.
- Николаев Ю.Н., Сидорина Ю.Н., Калько И.А., Алеталин А.В., Прокофьев В.Ю., Читалин А.Ф.* Геохимические поля порфиново-эпитеpmальных систем, их интерпретация и оценка на основе современных геологических и генетических представлений. Разведка и охрана недр. М.: Недра, 2013. № 8. С. 45–50.
- Сидорина Ю.Н.* Геохимическая зональность Находкинской порфиново-эпитеpmальной системы (Западная Чукотка) // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2015. № 2. С. 77–83.
- Соколов С.Д., Бондаренко Г.Е., Морозов О.Л., Ганелин А.В., Подгорный И.И.* Покровная тектоника Южно-Анхойской сутуры (Западная Чукотка) // Доклады РАН. 2001. Т. 376, № 1. С. 80–84.
- Фролова Н.С., Читалин А.Ф., Кара Т.В., Корбутяк А.Н., Мишакина А.А.* Влияние двухфазной деформации на формирование трещин растяжения в зонах сдвига: результаты аналогового моделирования на влажной глине // Инновации в геологии, геофизике и географии-2018: материалы 3-й Междунар. науч.-практ. конф., Севастополь, 4 июля 2018 г. 2018б. С. 145–147.
- Фролова Н.С., Кара Т.В., Читалин А.Ф., Чернецкий Г.А.* Аналоговое моделирование сложных сдвиговых зон. Пример Баимской рудной зоны (Западная Чукотка) // Проблемы тектоники континентов и океанов: материалы LI Тектонич. совещ. М.: ГЕОС, 2019. Т. 2. С. 320–324.
- Читалин А. Ф., Усенко В. В., Фомичев Е. В.* Баимская рудная зона — кластер крупных месторождений цветных и драгоценных металлов на западе Чукотского АО // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2013. Т. 6. С. 68–73.
- Читалин А.Ф., Николаев Ю.Н., Бакшеев И.А. и др.* Порфиново-эпитеpmальные системы Баимской рудной зоны, Западная Чукотка // Смирновский сборник. М.: Макс-Пресс, 2016. С. 82–115. URL: http://www.geol.msu.ru/news/smirnov_2016.pdf.
- Читалин А.Ф.* Геолого-структурная интерпретация геофизических и геохимических аномалий Баимской рудной зоны, Западная Чукотка // ГеоЕвразия 2019. Современные технологии изучения

и освоения недр Евразии: сб. тез. Междунар. геолого-геофизической конф. и выставки. Тверь: ПолиПРЕСС, 2019. 1135 с.

Читалин А.Ф., Агапитов Д.Д., Штенгелов А.Р., Усенко В.В., Фомичев Е.В. Перспективы открытия крупнотоннажного золото-серебряного месторождения на участке Весенний Баимской рудной зоны, Западная Чукотка // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2019. № 2. С. 22–29.

Chitalin A., Fomichev E., Usenko V., Agapitov D., Shtengelov A. Structural model of Peschanka porphyry Cu-Au-Mo deposit, Western Chukotka, Russia // Structural Geology and Resources. Symposia 26–28 September 2012. KALGOORLIE WA. 2012. No. 56.

Nokleberg W.J., Parfenov L.M., Monger J.W. H. et al. Circum-north Pacific tectonostratigraphic terrane map. USGS. Open file report. 1994. 94 (714). 221 p.

Sillitoe R.H. Porphyry copper systems: Economic Geology. 2010. V. 105. P. 3–41.