ГЕОЛОГИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, 2023, том 65, № 2, с. 179–198

УДК 553.411:551.24 (575.1+571.65)

РУДОВМЕЩАЮЩИЕ НАРУШЕНИЯ ТРАНСПРЕССИОННО-КОЛЛИЗИОННОЙ ТЕКТОНИКИ ВЕРХОЯНО-КОЛЫМСКОГО СКЛАДЧАТОГО ПОЯСА (СТРУКТУРНЫЕ СЛЕДСТВИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ)

© 2023 г. Ю. С. Савчук[a], А. В. Волков[a, *], В. В. Аристов[a], К. Ю. Мурашов[a]

[a]*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Старомонетный пер., 35, Москва, 119017 Россия*

******E-mail: tma2105@mail.ru*

Поступила в редакцию 11.01.2022 г.
После доработки 23.06.2022 г.
Принята к публикации 27.09.2022 г.

Верхояно-Колымский складчато-надвиговый пояс – важнейшая металлогеническая структура Северо-Востока России. Золотоносность в его пределах распространена неравномерно и выделяются два крупных рудно-россыпных района: на северо-западе – Верхне-Индигирский (ВИР) и на юго-востоке – Центрально-Колымский (ЦКР). Золотоносность этих районов во многом обеспечена крупнейшей разрывной структурой – рудоконтролирующим Адыча-Тарынским глубинным разломом. На своем протяжении этот разлом меняет свои характеристики, от взбросо-надвига на севере, до сдвиго-взброса (Тенькинский разлом) на юге. Такая смена кинематики по латерали, основной рудоконтролирующей структуре, отразилась на строении конкретных рудовмещающих нарушений в рудных районах, что показано нами на примере месторождений Дегдекан (ЦКР) и Дражное (ВИР). На месторождении Дегдекан рудовмещающими являются синтетические взбросо-надвиги, контролирующие крупнообъемные залежи сравнительно бедных руд, а на месторождении Дражное – встречные сдвиго-взбросы, вмещающие небольшие по размерам, этажно расположенные богатые рудные тела. Смена рудовмещающих нарушений в разных рудных районах объясняется их позицией в меняющемся стрессовом поле, возникавшем во время этапов геодинамического развития: (1) связанных с коллизией Колымо-Омолонского супертеррейна с Сибирским кратоном и столкновением с Алазейской дугой (ранняя рудная минерализация Верхне-Индигирского рудного района) и Удо-Мургальской дугой (ранняя вкрапленная пиритовая минерализация Центрально-Колымского рудного района) и (2) столкновением с Чукотским микроконтинентом и реактивацией образованных ранее нарушений (основная золото-сульфидно-кварцевая минерализация Яно-Колымского металлогенического пояса).

Ключевые слова: Верхояно-Колымский пояс, Верхне-Индигирский, Центрально-Колымский, рудный район, золото, структурные исследования, месторождение, Дражное, Дегдекан, взброс, надвиг, сдвиг

DOI: 10.31857/S001677702302003X, **EDN:** LYJUMB

ВВЕДЕНИЕ

На территории Верхояно-Колымского складчато-надвигового пояса выделяются два крупных золоторудных рудно-россыпных района: на юге – Центрально-Колымский (Стружков и др., 2009) и на севере – Верхне-Индигирский (Фридовский и др., 2012, 2013; Аристов, 2019). Эти рудно-россыпные районы контролируются главными тектоническими границами, к которым относятся: (1) широкая (до 40 км), региональная зона Адыча-Тарынского разлома (Парфенов, Рожин, Третьяков, 1988) между Сибирским кратоном и Куларским террейном, продолжением которой на юго-восток является Тенькинский разлом; (2) Чай-Юрьинский и Чаркы-Индигирский надвиги между двумя турбидитовыми террейнами; и (3) надвиг Дарпир вдоль восточной окраины Полоусно-Дебинского террейна. Общая величина надвига по Дарпирской зоне, согласно расчетам Б.И. Малькова (1976), могла составить 35–40 км (Шпикерман, 1998).

Характерной является вероятностная трассировка этих региональных разломов, т.к. при признании глубинной природы, на поверхности они либо проявлены усилением трещинно-складчатых характеристик пород, порой без нарушения сплошности и без значительных смещений, либо их зоны перекрыты чехлом современного аллю-

вия. Отметим, что такие особенности полностью характерны для Адыча-Тарынского разлома и его юго-восточного продолжения – Тенькинского разлома. Падение у разломов предполагается крутое северо-восточное, навстречу аккретировавшему Колымо-Омолонскому супертеррейну.

Рудоконтролирующая роль этих разломов и надвигов давно обоснована (Шпикерман, 1998; Волков и др., 2008; Шахтыров, 2009; Аристов, 2009; Fridovsky, 2018; Фридовский и др., 2020), но конкретные позиции месторождений зависят от оперяющих нарушений, которые часто различаются значительно и определяют разнообразие структурно-морфологических типов рудных тел, залежей и их сочетания в пространстве (Гамянин и др., 2018). В качестве рудовмещающих нарушений здесь выступают различные элементы структуры складчато-надвигового пояса. Такие особенности выдвигают на первый план структурные методы исследования месторождений. Стандартные методики структурного анализа (Шахтыров, 2009; Читалин, 2016) хорошо себя зарекомендовали при изучении региональной позиции объектов и особенностей рудолокализации (Аристов и др., 2016) на верхних уровнях, но ограничены при выборе направлений поисково-разведочных работ на больших глубинах и флангах. Здесь в приоритете обычно трудоемкие статистические методы (MICROMINE и т.д.), которые, с одной стороны, позволяют визуализировать оруденение в объеме, однако с другой –страдают чисто формальным, “компьютерным” подходом.

В ЦКР лидеры по масштабу оруденения – месторождения Наталка (Гончаров и др., 2002), Павлик (Савчук и др., 2018) и Дегдекан (Михайлов и др., 2010), а в ВИР – месторождение Дражное (фиг. 1) (Аристов, 2009; Аристов и др., 2015). Все эти объекты относятся к орогенным мезозональным (Groves et al., 1998) в фанерозойском коллизионном поясе (Goldfarb et al,, 2001) или к золото-кварцевой формации согласно региональной классификации (Горячев, 1998). Также можно отметить, что при явном сходстве золоторудной минерализации этих территориально разобщенных рудных районов, месторождения характеризуются значительными структурными различиями, имеющими определяющее значение при направлении геологоразведочных работ.

Для преодоления возникающих проблем геологоразведки нами предложено использовать сочетание структурных методик и статистического анализа при изучении локализации золотой минерализации, на примере двух эталонных объектов: в Центрально-Колымском районе – месторождение Дегдекан и в Верхне-Индигирском – месторождение Дражное (фиг. 1). В настоящей статье сделана попытка объяснить особенности структуры и рудообразования этих месторождений ситуационными различиями во время главных этапов геодинамического развития рудных районов.

МЕСТОРОЖДЕНИЕ ДЕГДЕКАН (ЦКР)

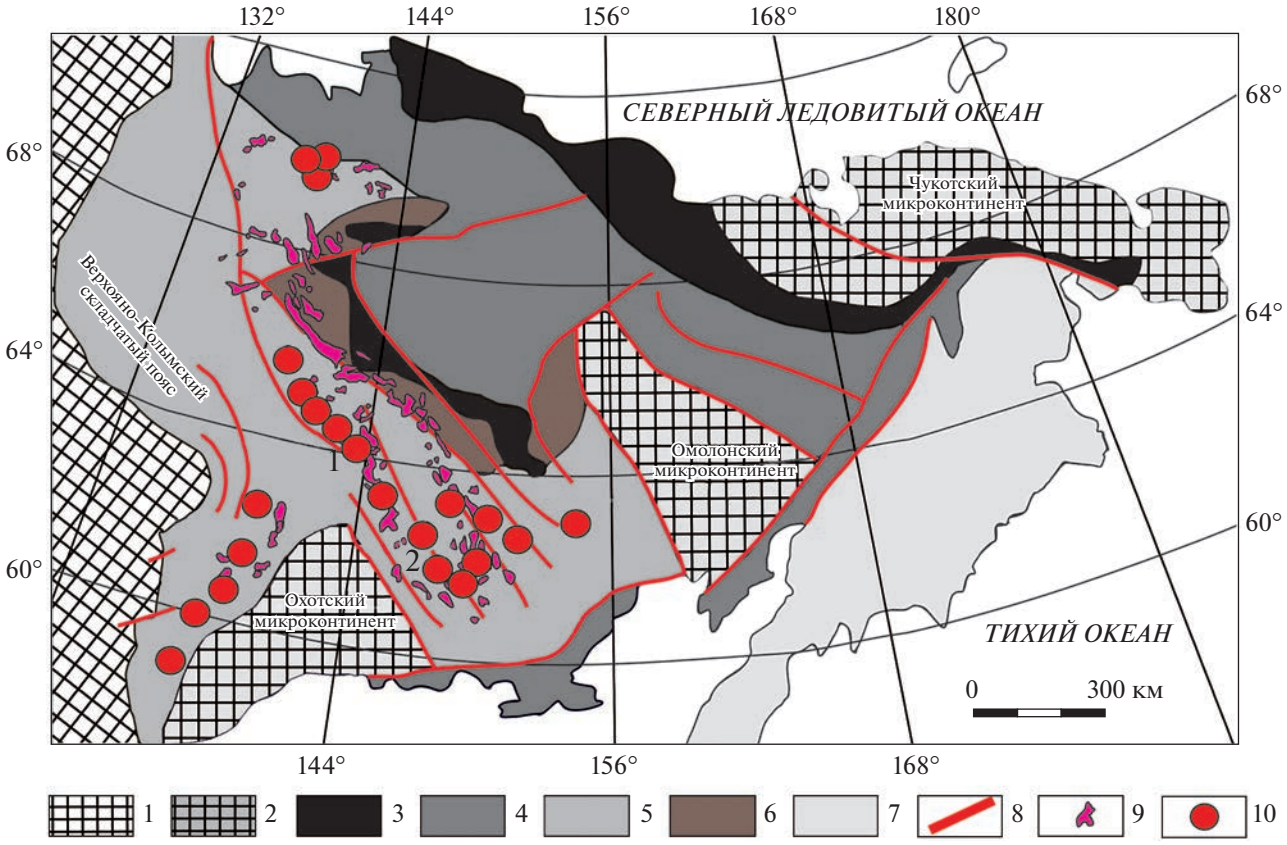
Месторождение Дегдекан разведано с поверхности канавами и траншеями, штольневыми горизонтами и небольшим количеством буровых скважин. Вмещающие породы – верхнепермские отложения нижней и средней подсвит пионерской свиты: глинистые алевролиты и алевритистые аргиллиты с линзами мелкозернистых песчаников.

В ранние периоды изучения, на восточном фланге месторождения были выявлены 15 мелких жильных тел (Ворошин, 1988). Позже, на западном фланге – участок Верный, установлены прямые признаки крупнообъемного месторождения. Основные его характеристики рассмотрены Б.К. Михайловым с соавторами (2010), выделившими крупную зону прожилково-вкрапленной минерализации, объединяющую несколько субпараллельных субширотных зон смятия, рассланцевания, дробления с многочисленными прожилками и маломощными жилами, линзами и вкрапленностью рудных минералов. Мощность зоны 250–600 м (в среднем 300 м), при протяженности не менее 1500 м. Зона прослежена до глубины 200–300 м, а средние содержания составляют 1.2–1.4 г/т. Общий прогнозный потенциал оценен в 400 т золота (Михайлов и др., 2010).

Сульфиды составляют до 2% от общей массы руды. Основной сульфид – пирит, содержания которого до 83–85% от общей массы сульфидов. Пирит представлен как минимум двумя генерациями, одна из которых – ранняя, возникшая при диагенезе осадков, вторая – гидротермального генезиса, ассоциирует с самородным золотом. Арсенопирит находится в починенном количестве – до 0.2% (Маньшин, Горячев, 2009).

На восточном фланге, в углеродистых алевролитах встречаются мелкие дайки (фиг. 2а), с элементами залегания 20 < 50. Дайки измененные, бурого цвета, мощностью десятки сантиметров, по поперечным трещинам (265 < 55) пересечены кварцевыми прожилками 0.3–4 см (фиг. 2б). Здесь же развиты зоны прожилкового окварцевания (прожилки 1–2 см) и пиритовой вкрапленности мощностью до 20 м. Пирит полуокисленный, размер зерен и вкрапленности до 0.5 см (фиг. 2в). Кварц крупнокристаллический, с пустотами, местами полосчатой “книжной” текстуры (фиг. 2г). По соотношению с оруденением, С.В. Ворошин (1988) установил три группы даек: внутрирудные, с неясными взаимоотношениями, и пострудные.

Детальными исследованиями на месторождении выделяются (Остапенко и др., 2004) первый

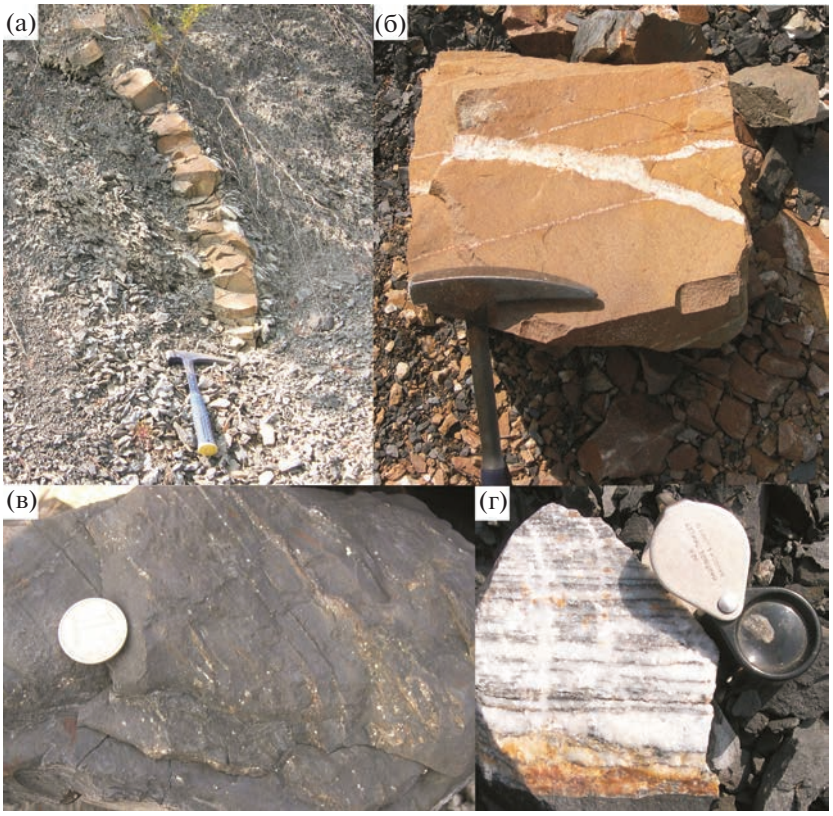


Фиг. 1. Региональное положение орогенных месторождений золота Дражное (1) и Дегдекан (2) в Верхояно-Колымском складчатом поясе, основа по (Goryachev et al., 2018; Soloviev et al., 2020), модифицирована. 1 – Сибирская платформа; 2 – микроконтиненты; 3 – океанические террейны; 4 – островодужные террейны; 5 – пассивной континентальной окраины террейны; 6 – карбонатно-терригенные толщи; 7 – аккретированные Корякско-Камчатские террейны; 8 – главные разломы; 9 – меловые гранитоидные интрузии; 10 – золоторудные месторождения Верхояно-Колымского и Южно-Верхоянского поясов.

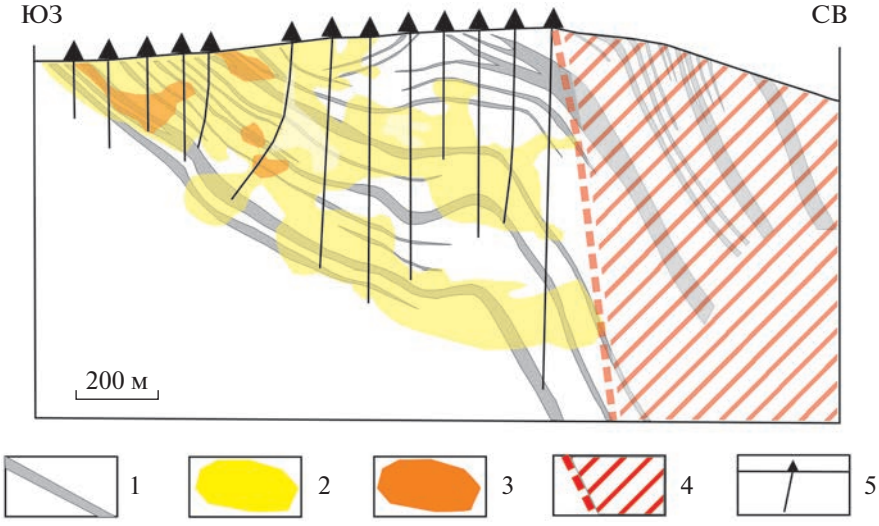
гидротермально-метаморфогенный этап, со стадиями: раннего "книжного" кварца, кварцевая (перерыв – заложение надвигов, внедрение даек диоритовых порфиритов), позднего "книжного" кварца, арсенопирит-кварцевая (перерыв – дайки фельзитов), кварц-анкеритовая, полевошпат-анкерит-кварцевая, кварц-мусковитовая (фиг. 2). Во втором гидротермальном этапе установлены стадии: продуктивная золото-арсенопирит-полиметаллическая и пострудная кварц-кальцитовая (дайки риолитов K_2). Дайки оказывали метаморфизующее воздействие на руды, так как, по данным сульфидных геотермометров, температуры метаморфизма вблизи контакта даек достигали 700°С (Ворошин и др., 2006). Золото отлагалось в ходе золото-арсенопирит-полиметаллической стадии, в узком температурном интервале от 230 до 200°С, при давлении около 100 МПа на глубине около 4 км. Основной механизм рудоотложения – повышение щелочности рудоносных растворов вследствие вскипания водно-углекислотного флюида и удаления углекислоты, что приводило к осаждению золота (Михайлов и др., 2010). Золото в рудах низко-среднепробное 751–840‰ (основное) и высокопробное 885–931‰ (Литвиненко, 2009). Отмечаются содержания Pt и Pd во вмещающих породах и рудах участка Верный от 0.01 до 1.34 г/т (Ханчук и др., 2011; Горячев и др., 2012; Соцкая, 2017).

Абсолютный возраст золотого оруденения восточного фланга Дегдеканского рудного поля оценивается В.В. Акининым с соавторами (2003) в 131 ± 5.6 млн лет (по данным U-Pb датирования), Р.Дж. Ньюбери (Акинин и др., 2003) – 133–137 млн лет (Ar-Ar метод), т.е. – начало раннего мела.

В качестве основной разрывной структуры рассматривается субширотный разлом, проходящий по долине среднего течения р. Дегдекан (Михайлов и др., 2010). Предполагается, что он представлен серией крутопадающих (80°–90°), сближенных швов интенсивного рассланцевания, дробления, мощностью 10–20 м (фиг. 3), причем южное крыло приподнято на 100–150 м. По-видимому, этот разлом является поверхностным выра-



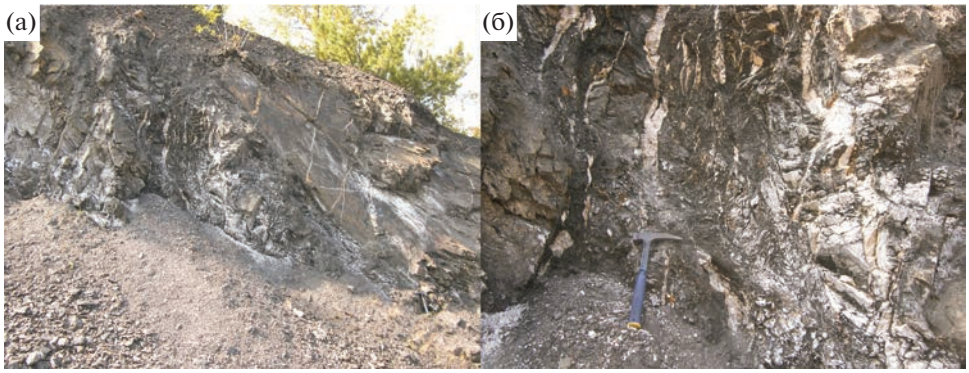
Фиг. 2. Месторождение Дегдекан: измененная дайка в алевролитах (а) и пересечение ее кварцевыми прожилками (б), вкрапленность и прожилки пирита в углеродистых алевролитах (в) и книжный кварц (г).



Фиг. 3. Строение месторождения Дегдекан (по Маньшин, Горячев, 2009, с изменениями и добавлениями). 1 – зоны интенсивного рассланцевания, милонитизации, дробления пород; 2 – ореол измененных пород (Au ≥ 0.3 г/т); 3 – рудные тела (Au ≥ 1.0 г/т); 4 – предполагаемая зона Тенькинской сдвиговой зоны; 5 – буровые скважины.

жением одной из разрывных структур глубинного Тенькинского сдвига (Шахтыров, 1997).

На месторождении выделяются несколько пологого наклоненных (надвиговых?) швов. На восточном фланге они контролируют серию жильно-прожилковых рудных тел и даек. На юго-западе месторождения (участок Верный) сгущение подобных швов, сопровождаемое прожилково-



Фиг. 4. Пологая зона углеродистых милонитов с кварцевыми прожилками сложной формы, выше зона штокверкового окварцевания (а) и внутреннее строение тектонической зоны углеродистых милонитов (б).

вкрапленной минерализацией, образует мощную рудоносную зону (фиг. 3).

К востоку от портала штольни вскрыт один из этих швов, падающий в северных румбах 10 < 45, мощностью до 2 м. Выполнен углеродистыми милонитами (фиг. 4а), насыщенными кварцевыми прожилками (фиг. 4б). Кварц до 1–10 см, перемятый, дробленый, выше зоны развиты сколовые трещины с кварцем 0.5–2 см и элементами залегания 200 < 60 и 280 < 25. Кварц "книжной" текстуры, редко в отвалах встречается белый молочный кварц до 20–30 см с редкими гнездами (1–2 см) арсенопирита, галенита, реже коричневого сфалерита.

Строение рудоносной зоны участка Верный (фиг. 3) с прожилково-вкрапленным оруденением аналогично таким зонам на других месторождениях золота вдоль магистрального Тенькинского сдвига – Наталка, Павлик, Родионовское (Гончаров, Ворошин, Сидоров, 2002; Савчук и др., 2018; Михайлов и др., 2010). Общими чертами являются: расположение оруденения к юго-западу от магистрального разлома; сравнительно пологое залегание рудовмещающих структур, иногда выполаживающихся до горизонтального залегания (Родионовское) и падающих согласно с магистральным разломом; неоднократная смена знака перемещения по этим нарушениям; выполнение нарушений углеродистыми бластомилонитами с пиритовой вкрапленностью и кварцево-прожилково-жильной минерализацией (Соцкая, Маньшин, Горячев, 2011; Соцкая, 2017). Морфологические признаки этих рудовмещающих нарушений позволяют отнести их к оперяющим взбросо-надвигам (Савчук и др., 2018) в лежачем боку круто падающего в восточных румбах (70°–80°) магистрального разлома. Подобные оперяющие взбросо-надвиги возникают при транспрессионных сдвиговых перемещениях по разломам (Морозов, 2002).

В целом для рудовмещающих нарушений на золотых месторождениях Центрально-Колымского района В.Г. Шахтыров (2009) выделяет: 1 – кинематически правосторонний соскладчатый этап флюидно-деформационной переработки терригенных углеродсодержащих толщ верхоянского комплекса (J_3), сопровождаемый слабопроявленным магматизмом в форме даек или мелких штоков, прогрессивной стадией регионального метаморфизма и золото-сульфидным оруденением с тонким "невидимым" золотом; 2 – кинематически левосторонний этап формирования метаморфогенно-гидротермального золото-кварцевого оруденения с крупным переотложенным золотом и сульфидами (K_1). Этот этап сопровождался более интенсивным магматизмом в форме даек, штоков, массивов средних размеров и регрессивной стадией регионального метаморфизма; 3 – последующие деформационные этапы ответственны уже за формирование постмагматических золотосурьмяных проявлений и т.д.

Именно во время левостороннего сдвигового этапа происходит приоткрывание полостей в ранее образованных (во время правостороннего транспрессионно-сдвигового этапа) взбросо-надвигах и рудоотложение в них и в возникающих между этими нарушениями зонах объемной трещиноватости, как показано нами на примере месторождения Павлик (Савчук и др., 2018). При этом устанавливается перемещение рудоносных флюидов снизу вверх по восстанию оперяющего взбросо-надвига в направлении от магистрального Тенькинского разлома

МЕСТОРОЖДЕНИЕ ДРАЖНОЕ (ВИР)

Месторождение Дражное располагается в северо-западной части Адыча-Тарынской металлогенической зоны (Гамянин и др., 2018). Здесь рудоконтролирующий Адыча-Тарынский разлом, по-видимому, распадается на несколько швов, ориентированных с северо-запада на юго-восток (фиг. 1). Непосредственно к западу от месторож-

дения Дражное проходит Большетарынский разлом (Фридовский и др., 2015). Вмещающие породы верхненорийского возраста (T_3n_3) – алевролиты углеродистые, массивные, неяснослоистые, кливаж эмбриональный, спорадический, косо сечет слоистость. По Г.Ю. Акимову (2004), датировки серицитов из золото-кварцевых руд месторождения Тарынское, расположенного в 20 км к юго-западу от Дражного – 130 ± 4 млн лет.

Площадь перекрыта чехлом аллювиальных отложений, но на месторождении Дражное действует карьер глубиной 120 м. Скважинами разведаны две залегающие друг над другом на расстоянии до 50 м и менее рудные залежи, падающие на юго-запад под углами от 10°–15° до 50°–30°. Верхняя – I залежь, прослежена по простиранию на 735 м, по падению в наиболее широкой части – на 300 м, при мощности от 1 до 70 м (суммарная мощность рудных и минерализованных тел максимально составляет 50 м). Нижняя – II залежь, прослежена на 820 м по простиранию и на 330 м по падению в наиболее широкой части, при мощности от 1 м до 96 м (суммарная мощность рудных и минерализованных тел максимально составляет 49 м). При таких параметрах, по результатам разведочных работ, установлено, что в I залежи содержится около 26% запасов, а во II залежи – 74% запасов. Средние содержания в залежах – 3.33–6.53 г/т. На флангах (в основном к юго-востоку), по простиранию рудоконтролирующих нарушений, установлены только единичные рудные интервалы, удаленные от основных рудных залежей. По сообщениям ПАО “Высочайший” (GV Gold), в ходе геологоразведочных работ на месторождении установлены запасы 49.8 т золота (по категории $C_1 + C_2$). В 2018 году первая очередь комбината произвела 2.9 т золота.

Особенности рудообразования на месторождении изучены В.В. Аристовым с соавторами (2015), отметившими, что отложение рудных минералов происходило в термостатированных условиях при гетерогенизации флюидов за счет вероятного резкого снижения давления и смешения растворов различного генезиса.

Строение месторождения и этапность формирования его структуры рассмотрели А.Ф. Читалин с соавторами (2018), сделавшие вывод, что на втором рудном этапе формировались наклонные кварцевые штокверки золотоносных кварцевых жил. По их мнению, богатые золотом рудные интервалы сконцентрированы вдоль гипотетического рудного канала, имеющего крутое северо-восточное падение и пересекающего пакет многоэтажных штокверков в их “замковой” части, где сконцентрированы мощные золотоносные кварцевые жилы. В целом рудоконтролирующие нарушения являются секущими, и рудовмещающие породы, в силу своей однородности, по-видимому, не оказывали значительного влияния на размещение рудной минерализации. Физический смысл “гипотетического рудного канала”, выделенного А.Ф. Читалиным (Читалин и др., 2018), остался не ясным.

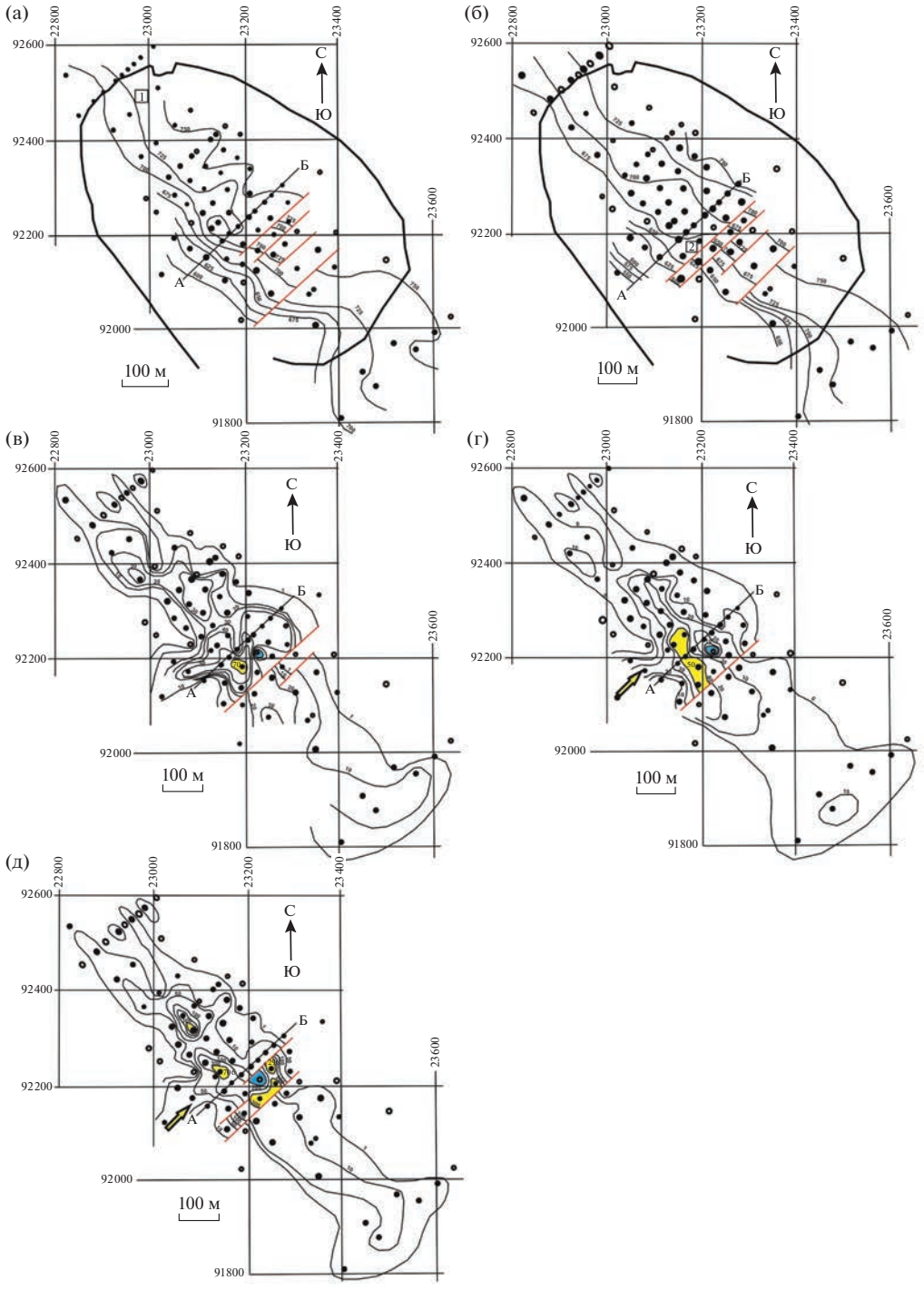
Для выявления морфологии и генетических признаков тектонических нарушений, определивших пути перемещения рудоносных гидротерм (трассы палеофлюидопотоков), нами проведена статистическая обработка данных кернового опробования центральной части месторождения (фиг. 5). Месторождение разведано 79 наклонными буровыми скважинами, расположенными на 17 профилях. Серии сближенных рудных интервалов объединены нами в геологически обусловленные рудные залежи, иногда (редко) не совпадающие с выделенными при разведочных работах по ряду экономических параметров и участвующих в подсчетах запасов залежи. Центры этих выделенных обобщенных рудных интервалов по каждой скважине проецировались на горизонтальную плоскость, с выноской следующих параметров: отметки кровли залежи, подошвы залежи, общей мощности залежи, суммарной мощности рудных и минерализованных интервалов (с содержаниями золота >0.2 г/т) в залежи, суммарного метро-грамма (фиг. 5).

Затем, на основе интерполяции вынесенных значений, с отрисовкой изолиний, проводился структурно-морфологический анализ рудовмещающих нарушений и рудных залежей. Заверка полученных результатов проводилась натурными наблюдениями в карьере месторождения Дражное (фиг. 6).

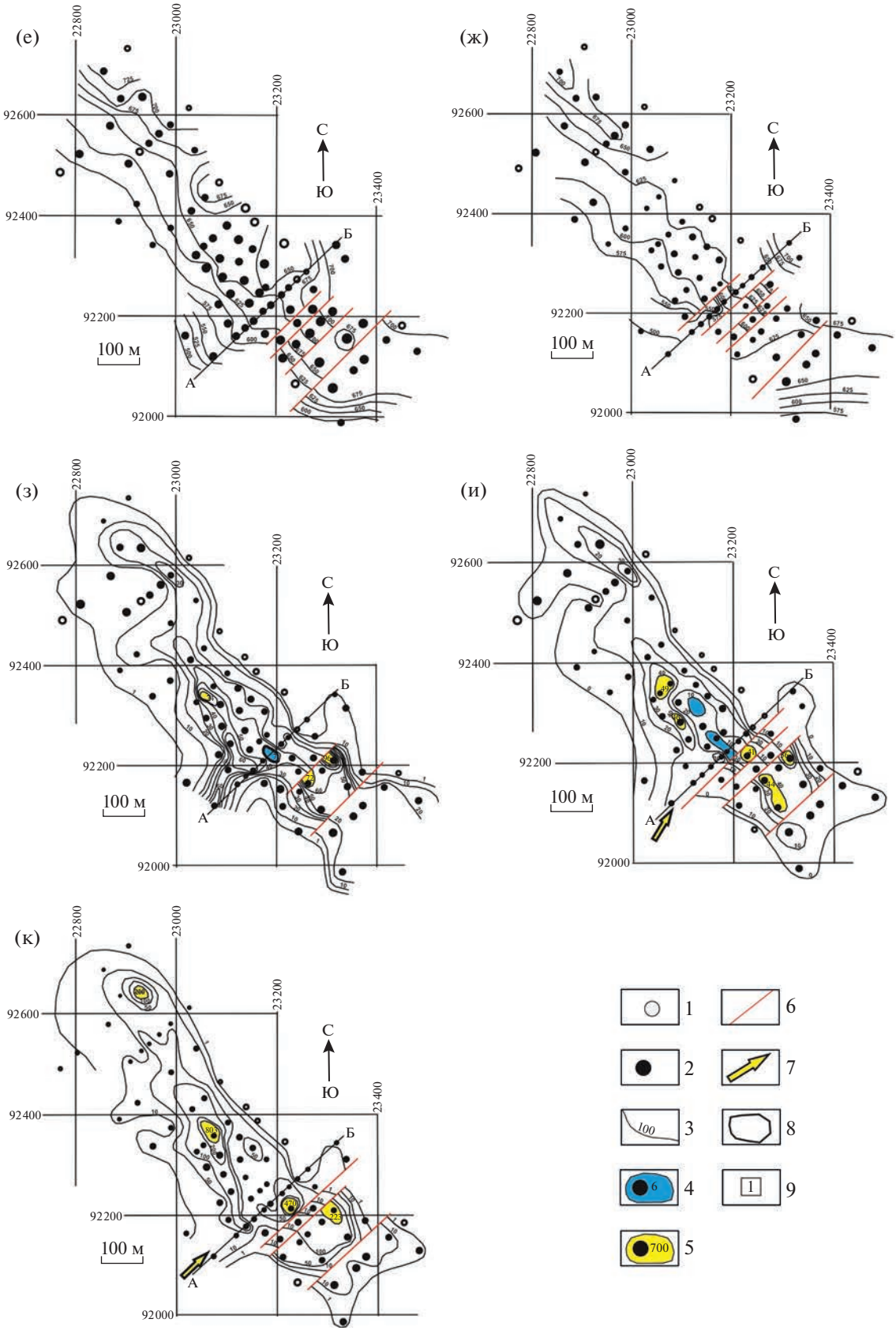
Морфология, а также продуктивность рудовмещающих нарушений изучались при анализе поведения всех установленных параметров, отдельно для каждой рудной залежи.

В I рудной залежи (фиг. 5а–д) выделены три секции, ориентированные в северо-западном направлении, вдоль простирания рудовмещающего нарушения и отличающиеся по значениям параметров. Юго-западная и северо-восточная секции характеризуются сравнительно крутым падением, до 40°–50° и очень малой мощностью – первые метры; содержания золота в маломощных рудных интервалах минимальные, и значения метро-грамма невелики. Центральная секция отличается пологим падением – 20°–30°, и здесь установлена наибольшая мощность нарушенной зоны – до 50–70 м. Соответственно, в этой пологой секции мощность оруденелой и минерализованной частей максимальная, содержания золота часто достигают многих десятков граммов на тонну, метро-грамм достигает значений сотен и до 1296 единиц (фиг. 5д).

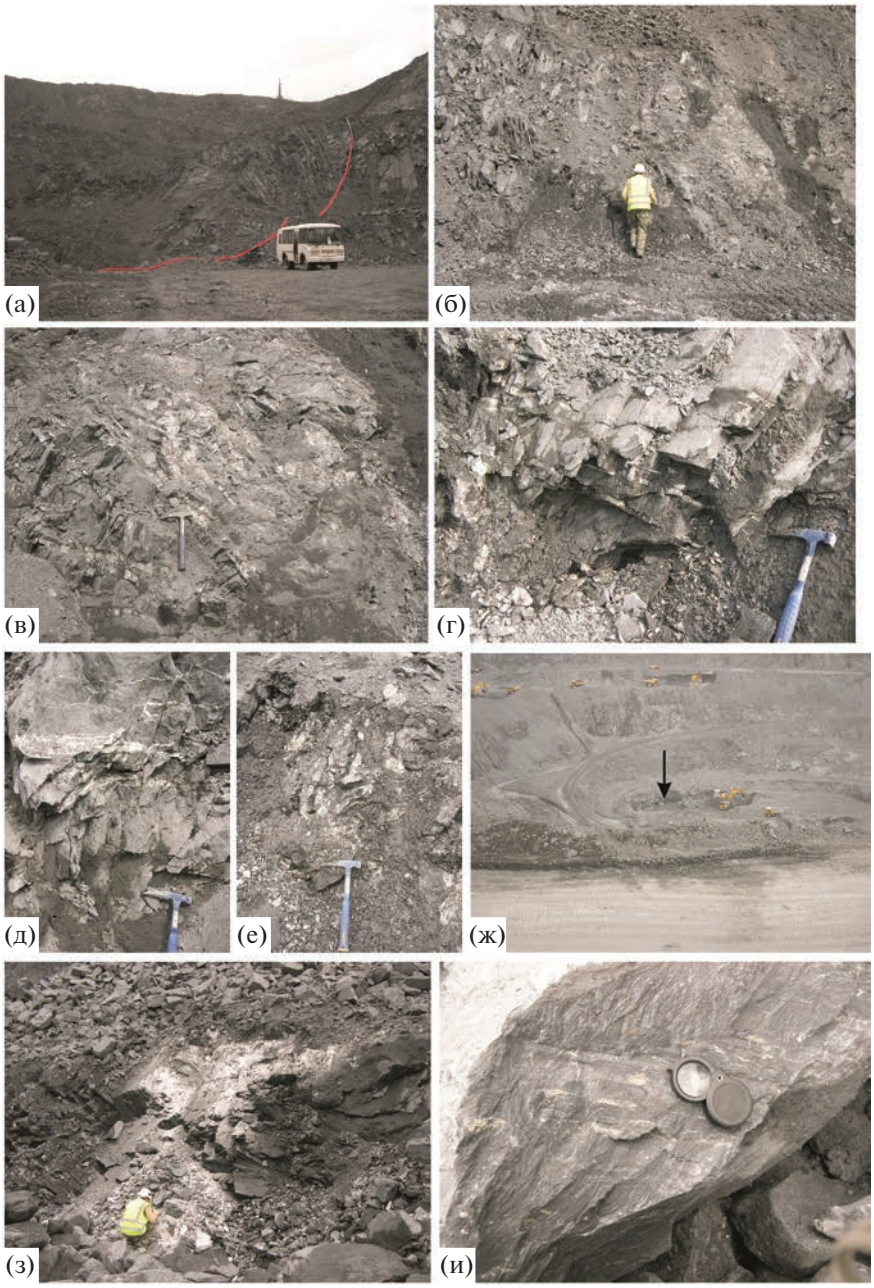
Во II рудной залежи (фиг. 5е–к) также выделено три секции, причем юго-западная наиболее



Фиг. 5. Морфология рудоконтролирующих структур и рудных залежей месторождения Дражное в изолиниях: а–д – Первая залежь: а – глубина залегания кровли в метрах (здесь и далее абсолютные отметки), б – глубина залегания подошвы в метрах, в – общая мощность нарушенной зоны в метрах, г – суммарная мощность рудных и минерализованных (>0.2 г/т) интервалов, д – суммарный метро-грамм (Σ м грамм); е–к – Вторая залежь: е – глубина залегания кровли в метрах, ж – глубина залегания подошвы в метрах, з – общая мощность нарушенной зоны в метрах, и – суммарная мощность рудных и минерализованных (>0.2 г/т) интервалов, к – суммарный метро-грамм (Σ м грамм). А–Б – разрез (см. фиг. 7). 1–2 – скважины: 1 – не вскрывшие рудные и минерализованные интервалы, 2 – вскрывшие рудные и минерализованные интервалы (цифры – пиковые значения); 3 – изолинии и их значения; 4 – заливка голубым – минимальные значения; 5 – заливка желтым – максимальные значения; 6 – тектонические нарушения, установленные по вертикальным смещениям; 7 – предполагаемое направление палеофлюидопотоков; 8 – контур карьера на конец 2019 г.; 9 – места расположения объектов на фото фиг. 5 (1 – а–е, 2 – ж–и).



Фиг. 5. Окончание



Фиг. 6. Фото в карьере месторождения Дражное. (а) – антиклинальная складка в углеродистых алевролитах (наклон осевой поверхности крутой к западу); (б) – общий вид рудной зоны (простирание 350°) на верхних уступах и ее детали (в–е); (в) – прожилковое окварцевание в рудной зоне, (г) – секущие кварцевые прожилки (20 > 30°), (д) – пологие кварцевые прожилки (340 > 20°), (е) – прожилки смятые в складки (шарниры 60 > 20°); (ж) – мощная пологая зона прожилкового окварцевания внизу карьера (стрелка указывает место фото з); (з) – богатая кварцевая руда; (и) – вкрапленность и линзовидные гнезда пирита вокруг рудного тела.

плохо охарактеризована, лишь единичными скважинами в центральной части месторождения, в связи с большими глубинами залегания. По-видимому, здесь сравнительно крутые падения зоны 40°–50°, но, в отличие от I залежи, здесь установлена значительная мощность нарушенной зоны и, соответственно, оруденения.

Центральная секция имеет пологое залегание, от 20° до 0°, здесь же максимальные мощности зоны и оруденелой ее части. Характерно крайне неравномерное распределение оруденения, наряду с проявлением наиболее интенсивного (до сотен метро-грамм), в центральной части секции выделяется продольная полоса минимальных значений

мощностей и метро-граммов (фиг. 5и–к). В северо-восточной секции вновь увеличивается угол наклона зоны до 50° и постепенно убывают мощности рудных интервалов и содержания золота.

Подобный пирит, локализующийся вдоль разломов и широко распространенный в Верхояно-Колымском складчатом поясе, отнесен к гидротермально-метаморфогенному (Горячев и др., 2020).

Следующее событие, в значительной степени определившее промышленную ценность месторождения – возобновление перемещений по ранним взбросо-надвигам. Вероятно, с этими перемещениями связано образование асимметричной (осевая поверхность круто падает к западу) антиклинальной складки прямо над взбросо-сдвигом (фиг. 6а). Ступенчатая морфология этих рудовмещающих нарушений, при преобладании **взбросовых** перемещений обусловила образование локальных зон "приоткрывания" в их пологих участках.

Эти зоны "приоткрывания" (здесь максимальное падение давления) контролируют наиболее масштабную рудную минерализацию, в них широко развиты мощные (до 1 м) пологие кварцевые жилы (фиг. 6б–з). Кварц белый, крупнокристаллический, с вкрапленностью (местами богатой) пирита, арсенопирита (мало), самородного золота (иногда видимого). Кварц содержит гнезда карбоната (анкерит?), в пустотах – прозрачные кристаллы кварца, что характеризует именно режим приоткрывания. Кроме того, совмещение суммарных мощностей рудных и минерализованных (>0.2 г/т) интервалов, а также суммарных метро-граммов (Σ м грамм) по верхней – I и нижней – II рудным залежам, показало следующее: максимумы показателей в I рудной залежи идеально совпадают с минимумами во II рудной залежи. Такое "зеркальное" распределение оруденения в пространстве позволяет предположить миграцию или перетекание рудных гидротерм по соединительному нарушению между залежами.

Структурно-морфологическими построениями (фиг. 5) на юго-восточном окончании рудных залежей установлена наложенная зона секущих северо-восточных нарушений, в целом **сбросового** характера, шириной около 200 м. Здесь по морфологии кровли и подошвы залежей выявляется опущенный блок. Перемещения по отдельным трещинам 10–50 м. Знаменательно, что именно в этом блоке наблюдаются максимальные перепады значений как содержаний золота в пробах, так и суммарного метро-грамма, что может свидетельствовать об интенсивном проявлении процессов переконцентраций металла.

Комплексный анализ полученных результатов позволяет наметить пути миграции рудоносных гидротерм – трассы локальных палеофлюидопотоков. По нашему мнению, миграция происходила снизу вверх с юго-запада на северо-восток по сравнительно узкому (около 100 м) каналу небольшой мощности на юго-западном фланге месторождения (фиг. 7). При достижении пологой секции рудовмещающего нарушения происходило растекание гидротерм вдоль нарушения в основном к северо-западу на значительное расстояние – до 500 м. К юго-востоку распространение было не таким значительным – до 200 м. Примечательным также является установленная "зеркальность" интенсивности оруденения в I и II рудных залежах (фиг. 7). Вероятно, основной поток гидротерм проходил вдоль рудоконтролирующего нарушения нижней II рудной залежи, а верхняя I залежь является дополняющей, что подтверждается и ее меньшей продуктивностью.

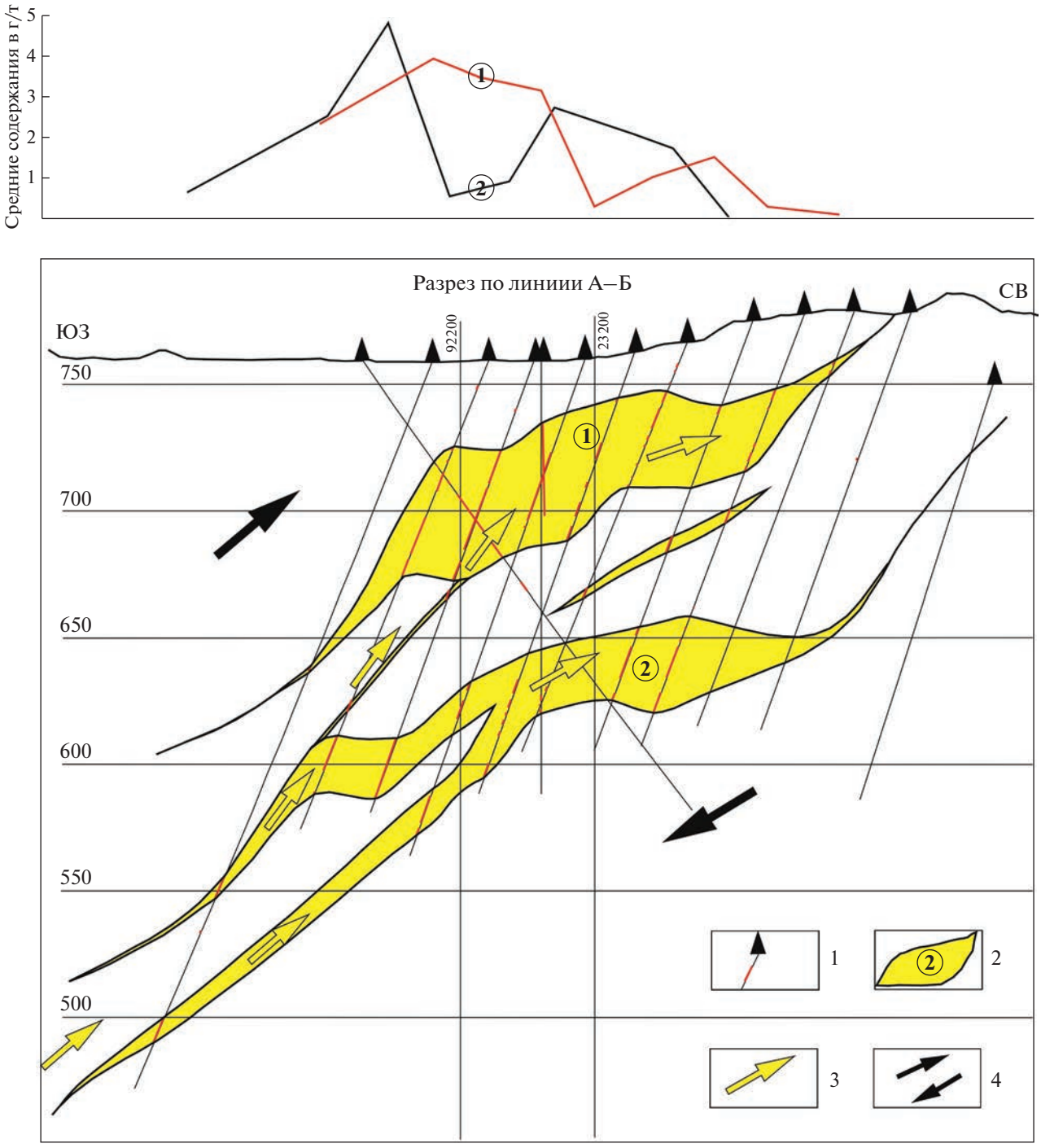
Источник гидротерм, которые поступали в зону рудоотложения, должен располагаться к юго-западу от месторождения, вниз по падению изученных взбросо-надвигов, в узле их сочленения с одной из ветвей Адыча-Тарынского разлома. С учетом крутого (принято 70°) падения разлома на северо-восток и сравнительно пологого (около 45°) встречного падения взбросо-надвигов, узел их сочленения может находиться на глубине около 1 км.

Возможно, изученные залежи месторождения Дражное – верхние, а ниже может располагаться еще одна залежь. Признаками ее присутствия являются рудные сечения, установленные на уровнях около 510–530 м в некоторых глубоких скважинах.

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ И ГЛАВНЫЕ СТРУКТУРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ВЕРХОЯНО-КОЛЫМСКОГО СКЛАДЧАТОГО ПОЯСА

Рассмотренные месторождения – типичные представители для Центрально-Колымского и Верхне-Индигирского рудных районов, которые входят в Верхояно-Колымский складчато-надвиговый пояс, образованный при столкновении восточной окраины Сибирского кратона с Колымо-Омолонским супертеррейном. Геодинамическую историю этой территории рассмотрели Р. Голдфарб с соавторами (Goldfarb et al., 2014), выделив в ней ряд этапов (фиг. 8).

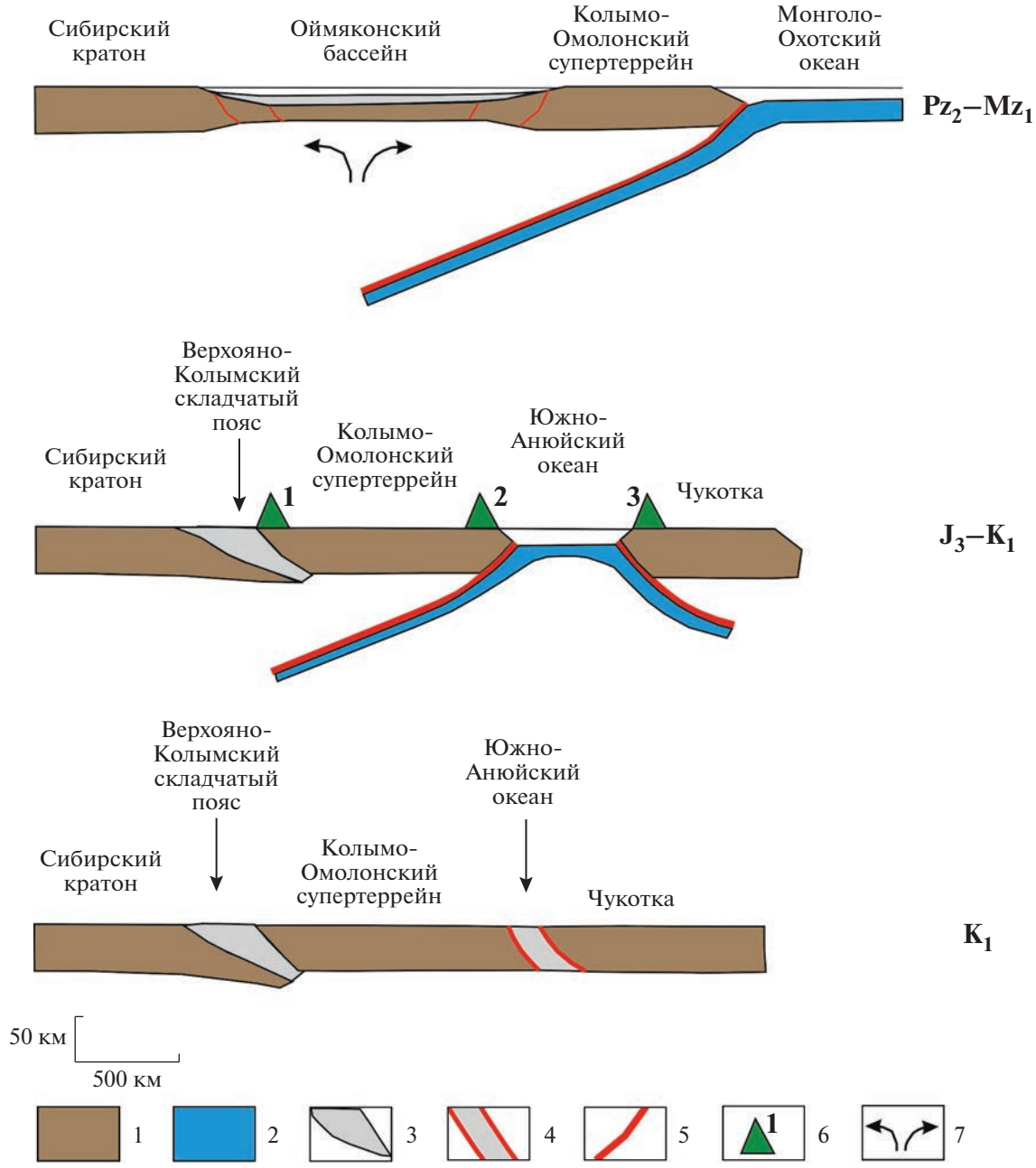
Несколько докембрийских блоков-микроконтинентов были оторваны от окраины Сибирского кратона в **девоне** (Шпикерман, 1998; Goldfarb et al., 2014), в результате субдукционного воздействия со стороны Монголо-Охотского океана. Они существовали как изолированные террейны и большие микроконтиненты в карбоновое-позднеюрское время в Оймяконском бассейне, располагаясь вдоль окраины кратона. Наиболее крупным блоком является Колымо-Омолонский супертеррейн, от которого в результате рифтогенеза в ***конце девона–раннем карбоне*** от-



Фиг. 7. Разрез через центральную часть месторождения Дражное и графики средних содержаний в рудных залежах по этому сечению. 1 – буровые скважины, рудные и минерализованные (>0.2 г/т) интервалы в них; 2 – рудные залежи и их номера; 3 – предполагаемые трассы палеофлюидопотоков; 4 – направление перемещения блоков по взбросам.

делился Омолонский террейн. Природа Оймяконского бассейна остается неясной, одними исследователями он рассматривается как образованный на океанической коре (Оксман и др., 1998, 2003а), а другими – как окраинный или задуговой бассейн на утоненной (деструктированной), но все же континентальной коре (Прокопьев, Тронин, 2004). В последующей истории территории выделяются следующие этапы.

1. В ***начале средней юры*** Оймяконский бассейн был закрыт во время причленения Колымо-Омолонского супертеррейна к восточной окраине Сибирского кратона (Парфенов, 1995; Парфенов, Кузьмин, 2001; Оксман и др., 2003б; Ханчук и др.,



Фиг. 8. Профильная модель геодинамической эволюции Верхояно-Колымского складчатого пояса в позднем палеозое–мезозое (на основе реконструкций из Goldfarb et al., 2014). 1 – кора континентального типа; 2 – кора океанического типа; 3 – карбонатно-терригенные отложения Верхояно-Колымского складчатого пояса; 4 – зона Южно-Анюйской сутуры; 5 – зоны субдукции; 6 – надсубдукционные вулканические дуги (1 – Уяндино-Ясачненская, 2 – Олойская, 3 – Нутесынская); 7 – рифтогенез.

2006). Верхояно-Колымский складчато-надвиговый пояс образовался в результате деформации отложений окраины кратона и Оймяконского бассейна, представленных карбонатными и терригенными образованиями. В связи с отсутствием в составе складчатого пояса типичных офиолитов, являющихся реликтами океанической коры и наличие которых позволило бы предположить субдукционный механизм закрытия палеобассейна при образовании пояса, как альтернатива был предложен коллизионный вариант (Горячев, Бердников, 2006), либо рассматриваются небольшие размеры закрывшегося бассейна и задуговая позиция региона (Fridovsky et al., 2020). Отмечается, что пока не ясно, был супертеррейн пододвинут под кратон или наоборот (Goldfarb et al., 2014). Основной шов между окраиной кратона и супертеррейном имеет протяжен-

ность более 1500 км, его слагают позднепермско-триасовые отложения Куларского террейна и юрский Полоусно-Дебинский террейн, располагающийся восточнее (Константиновский, 2007).

2. М.В. Герцева и И.В. Сысоев (2020), на основе анализа абсолютных определений возраста магматических пород различными методами, делают вывод, что на ***рубеже средней и поздней юры*** произошла коллизия Колымо-Омолонского супертеррейна и Алазейской энсиматической островной дуги. С этим событием авторы связывают глубинную магмогенерацию гранитоидов колымского комплекса, которые в результате непосредственной коллизии супертеррейна с Сибирским континентом на ***границе юры и мела,*** прорвались по ослабленным зонам на верхний уровень (3–7 км), что зафиксировано в биотитах Ar-Ar методом (146.2–132.6 млн лет).

С другой стороны, юго-восточнее (в современных координатах), в это время происходила аккреция Охотского и палеозойско-раннемезозойских океанических террейнов, образовалась протяженная (3500 км) Уда-Мургальская дуга вдоль окраины Северо-Восточной Азии (Ханчук и др., 2006), сопровождаемая синаккреционным магматизмом.

3. В следующий этап, в ***начале мелового*** периода (Акинин и др., 2009), образуется Олойско-Чукотский складчатый пояс вдоль современной северной окраины Сибирского кратона (Ханчук и др, 2006). В результате Южно-Анюйская сутура маркирует зону столкновения Арктического Аляска-Чукотского террейна (Соколов, 2010).

4. Пост-аккреционная Охотско-Чукотская вулканическая дуга, образованная около 105–77 млн лет назад (Акинин, Миллер, 2011), запечатала все террейны Российского Дальнего Востока.

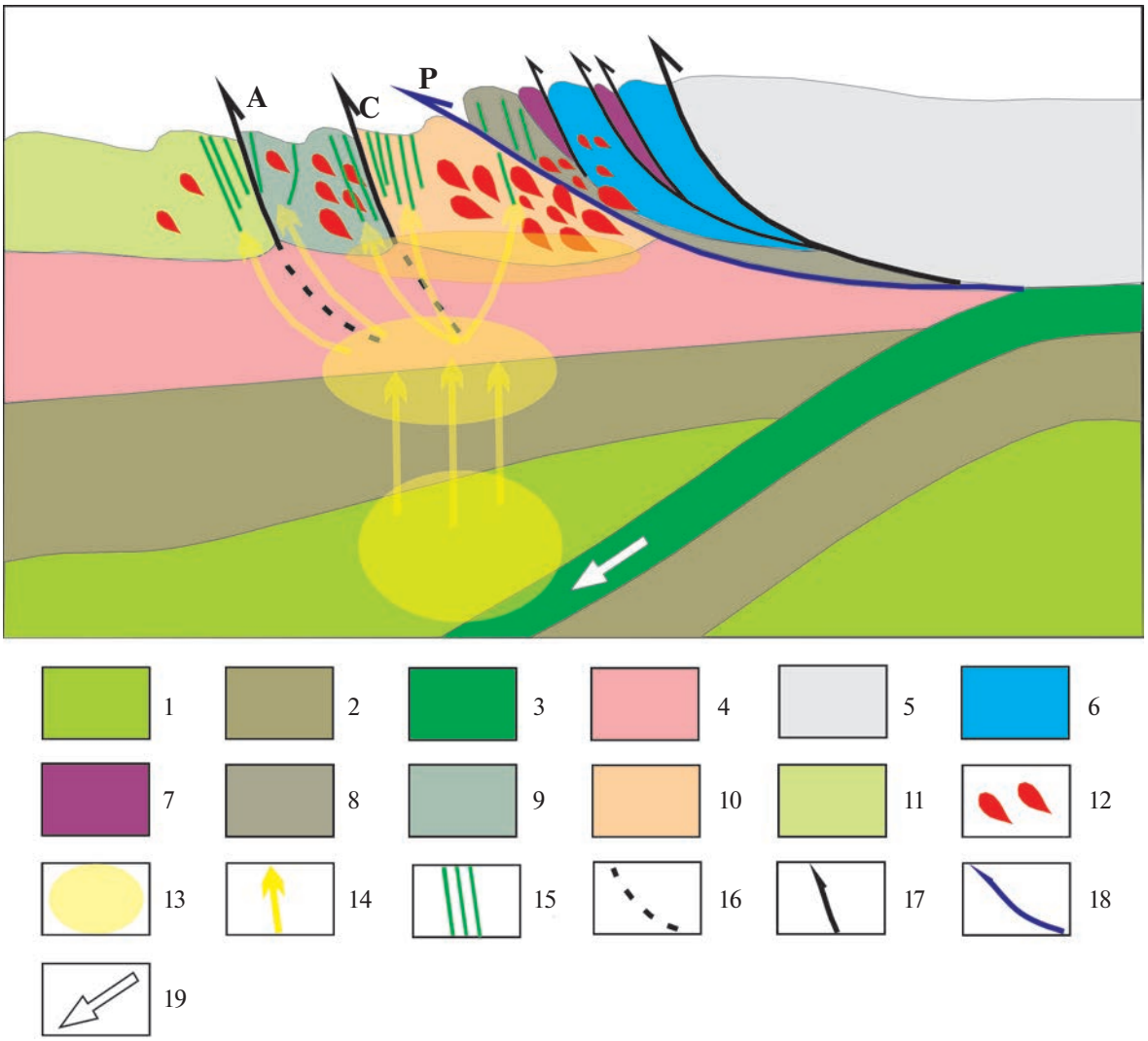
Спорная трактовка природы Оймяконского бассейна и неясность способа его закрытия не позволяют однозначно определить, к какому типу поясов – верхнему или нижнему – относится Верхояно-Колымский складчато-надвиговый пояс. В пользу варианта задуговой природы Оймяконского бассейна свидетельствуют отсутствие реликтов офиолитов и глубоководных образований в поясе, а также распространенные вулканические образования на западной и восточной окраинах супертеррейна. Эти вулканиты (Уяндино-Ясачненская, Олойская дуги) интерпретируются как надсубдукционные (Шпикерман, 1998; Гедько, 1988; Дылевский, 1994), и в таком случае наиболее вероятна трактовка Верхояно-Колымского пояса как представителя верхнего складчато-надвигового пояса (фиг. 9), что отразилось в слабом уровне и степени структурно-метаморфических преобразований слагающих его террейнов, а также металлогенических особенностях.

Близкую модель предлагают Н.А. Горячев и Н.В. Бердников (2006). Здесь на схематическом разрезе между двумя кристаллическими массивами выделена наклонная коллизионная зона с зеленосланцевым и амфиболитовым метаморфизмом и плавлением, в верхних частях которой располагаются золото-кварцевые жилы. В качестве поверхностного выражения такой зоны для Центрально-Колымского района можно принять полосу вдоль разлома Дарпир, где наиболее широко проявлены гранитоидные массивы и нера-бохапчинская дайковая серия – Полоусно-Колымская сутура по В.Ю. Фридовскому (Fridovsky et al., 2020).

По В.Ю. Фридовскому (1999) золотое оруденение формировалось при косой коллизии Колымо-Омолонского и Охотского микроконтинентов с окраиной Северо-Азиатского кратона. Обосновывается, что тектонофизические условия и механизмы формирования структур золоторудных месторождений Верхояно-Колымской орогенной области определяются условиями регионального тектонического сжатия двух этапов. С верхнеюрско-нижненеокомовым этапом связано формирование раннеколлизионного золотого оруденения взбросово-надвиговых зон чешуйчатых вееров; с верхненеокомовым этапом – позднеколлизионного золотого оруденения сдвиговых зон. Основное оруденение размещается в транспрессионных и сдвигово-дуплексных структурах, и таким образом, основными структурными элементами Верхояно-Колымского пояса, разделяющими террейны и контролирующими золоторудные металлогенические зоны, являются коллизионные взбросо-надвиги и взбросо-сдвиги. На севере это Адыча-Тарынский разлом и Чакры-Индигирский надвиг, Полоусно-Колымская сутура. На юге – Тенькинский, Чай-Юрьинский, Дебинский разломы и Дарпирская сутура. Металлогенические зоны образуют закономерные латеральные ряды – во внешней зоне развито раннеколлизионное оруденение фронтальных структур чешуйчатых вееров, сменяющееся в тылу позднеколлизионными металлогеническими зонами сдвиговых структур с комбинированной кинематикой (Фридовский, 1999).

ОБСУЖДЕНИЕ

Одной из главных структур раннеколлизионного этапа является Чакры-Индигирский надвиг, разделяющий верхнетриасовые терригенные отложения Кулар-Нерского сланцевого пояса внешнего шельфа пассивной континентальной окраины Сибирского кратона (автохтон) и среднеюрские песчаники с пластами алевролитов и аргиллитов Иньяли-Дебинского синклинория (аллохтон). В.Ю. Фридовский с соавторами (2020) отмечают, что с зоной надвига ассоциирует обильная (1–10%) пиритизация пород, мощностью десятки – первые сотни метров. В висячем крыле надвига развиты линейные изоклинальные и сжатые асимметричные складки северо-западного простирания с пологими шарнирами, причем северо-восточные крылья длинные, а юго-западные – короткие, что свидетельствует о надвигании на юго-запад. Подобные складки в районе месторождения Павлик имеют субширотную ориентировку шарниров (Савчук и др., 2018).



Фиг. 9. Модельный разрез через северо-восточную окраину Сибирского континента на позднеюрское время. А – Адыча-Тарынский сдвиг, С – Чакры-Индигирский сдвиг, Р – Полоусно-Колымская сутура (По Fridovsky et al., 2020 с изменениями). 1 – астеносфера; 2 – литосферная мантия; 3 – океаническая кора; 4 – Сибирский кратон; 5 – Колымо-Омолонский супертеррейн; 6 – Уяндино-Ясачненская вулканическая дуга (J_3); 7 – офиолиты; 8 – Омулевский террейн; 9 – Кулар-Нерский террейн; 10 – Полоусно-Дебинский террейн; 11 – Верхоянский складчато-надвиговый пояс; 12 – коллизионные гранитоиды главного пояса (155–144 млн лет); 13 – активные магматические очаги; 14 – пути продвижения расплавов; 15 – дайки основного (162–145 млн лет), среднего (158–150 млн лет) и кислого (162–145 млн лет) состава; 16 – главные сдвиговые зоны, проникающие в фундамент; 17 – главные сдвиговые зоны в складчатом поясе; 18 – сутура; 19 – направление поддвига океанической плиты.

По-видимому, главным коллизионным событием, обусловившим образование протяженных глубинных сдвигов в поздней юре–начале раннего мела, было причленение островных дуг (в современных координатах): на востоке – Алазейской и на юго-востоке – Уда-Мургальской. В позднем неокоме происходит смена направлений движения Колымо-Омолонского и Охотского микроконтинентов на северо-западное (Фридовский, 1999) в связи с аккрецией Чукотского террейна с окраиной северо-востока Азии (Парфенов, 1995; Шпикерман, 1998). Происходит трансформация ранних надвигов и взбросов в нарушения с комбинированной транспрессионной и транстенсионной кинематикой. Продольные взбросы активизируются ***левосторонними*** перемещениями. Связь золотоносности Центрально-Колымского региона с этапами развития региональной сдвиговой тектоники обоснована В.Г. Шахтыровым (2009, 2010). А.Ф. Читалин (2016) на основе анализа средне- и крупномасштабных геологических карт выделил шесть этапов сдвиговых деформаций, причем сделал акцент на втором этапе, в который проявлены протяженные (400–600 км) и широкие (10–20 км) субмеридиональные сдвиговые зоны, ***левосдвиговой*** кинематики, косо пересекающие более ран-

ние структурно-тектонические образования и контролирующие золотую минерализацию.

Недавно большой коллектив авторов (Прокопьев и др., 2018) обобщил результаты изотопно-геохронологического исследования ряда рудных месторождений и проявлений и плутонов и даек северо-западной части Верхояно-Колымской складчатой области. На основе корреляции тектономагматических, геодинамических событий и рудогенеза предложена новая систематизация металлогенических единиц. Предполагается, что формирование месторождений, входящих в состав позднеюрско-раннемелового Яно-Колымского металлогенического пояса и тяготеющих к зоне Адыча-Тарынского разлома, происходило на заключительных этапах коллизии Сибирского (Северо-Азиатского) кратона и Колымо-Омолонского микроконтинента. Зафиксировано два импульса рудогенеза – ранний и поздний, что согласуется с результатами структурных исследований. Ранний импульс рудогенеза установлен на Малотарынском месторождении (~**143**–**144** млн лет) на рубеже юры и мела, а поздний импульс также на Малотарынском месторождении и месторождении Дора-Пиль (~**126** млн лет) в конце раннего мела.

По расположенной западнее от Чакры-Индигирского надвига Адыча-Тарынской металлогенической зоне, в состав которой входит рассмотренное месторождение **Дражное**, опубликовано большое количество работ, которые, с учетом последних исследований, недавно обобщены Г.Н. Гамяниным и др. (2018). Намечена генеральная последовательность развития и связь с региональными геодинамическими процессами основной рудоконтролирующей структуры региона – Адыча-Тарынского разлома.

Наши данные позволяют уточнить последовательность развития оперяющих рудовмещающих структур и их кинематики, включая: образование взбросо-надвиговых зон при ***левосдвиговых*** транспрессионных перемещениях по магистральному разлому, что сопровождалось вкрапленностью слабозолотоносного пирита вдоль этих зон; последующие взбросовые перемещения с приоткрыванием вдоль пологих граней и отложение большой массы кварцевых руд в этих пологих секциях; поперечные крутопадающие северо-восточные трещины сбросового характера, вероятно отражающие движения по поперечным разломам в фундаменте.

Отметим, что в районе месторождения, среди терригенных позднетриасовых и раннеюрских отложений, широко распространены близмеридиональные открытые складки, образование которых возможно при ***левосторонних*** движениях по глубинному разлому. Именно с этими движениями связывается образование “ранних” надвигов (Гамянин и др., 2018). Но при левосторонних перемещениях по северо-западному рудоконтролирующему Адыча-Тарынскому разлому встречное, сравнительно пологое (40°–50°) падение рудовмещающих структур месторождения Дражное, не может определять их как трещины R_1, как предлагается А.Ф. Читалиным с соавторами (Читалин и др., 2018). Более вероятно отнести эти нарушения к ***оперяющим взбросо-надвиговым структурам.***

Необходимо отметить, что В.Ю. Фридовский с соавторами (2020), на основании исследований более северных районов, для этапа сдвиговых деформаций предлагают: по разломам северо-западного направления – ***взбросо-правосдвиговые*** перемещения, а по структурам северо-восточного простирания – ***взбросо-левосдвиговые***. Возможно подобное несовпадение знака перемещения для рудоконтролирующих разломов – правое, вместо регионально определенного левого (см. выше), обусловлено вторичными движениями по этим зонам в рудный этап.

В расположенном южнее Центрально-Колымском рудном районе, месторождения **Дегдекан**, Наталка и Павлик контролируются зоной Тенькинского разлома. Нами на примере месторождения Павлик выделено два основных этапа развития рудоконтролирующих оперяющих структур (Савчук и др., 2018). Здесь, на структурно-кинематический модели месторождения Павлик показано соотношение магистрального нарушения с рудовмещающими структурами, отнесенными к листрическим взбросо-сдвигам. Судя по северо-западной ориентировке этих нарушений, на первом этапе магистральный Тенькинский разлом характеризовался ***правыми*** перемещениями. Были образованы верхний и нижний взбросо-сдвиги и мощная зона объемной трещиноватости между ними. Этот этап, по-видимому, является дорудным, подготовительным, происходило внедрение даек, отложение дорудного кварца и вкрапленной пиритовой минерализации. Подобная вкрапленная пиритовая минерализация является характерной для зон крупных разломов Яно-Колымского пояса (Горячев и др., 2020). В следующий, собственно рудный этап, произошла смена знака перемещений по разломам на противоположный – ***левосторонний,*** с преобладанием сдвиговых перемещений, а взбросовая компонента обеспечивала приоткрытие ранее заложенных нарушений (взбросо-сдвигов, трещин скола) и отложение золотоносных минеральных ассоциаций. В целом эта последовательность совпадает и для месторождения Дегдекан, причем на участке Верный, по-видимому, широко развита ранняя вкрапленная сульфидная минерализация.

Сравнение основных этапов структурообразования на месторождениях Верхне-Индигирского и Центрально-Колымского рудных районов (табл. 1) показывает их некоторые различия, что с учетом размещения их в пределах одного Верхояно-Колымского складчатого пояса, но на значительном удалении друг от друга, приводит к выводу об изменчивости тектонической обстановки вдоль рудоконтролирующего Адыча-Тарынского разлома и его южной ветви – Тенькинского разлома. Наиболее вероятная причина такой изменчивости – смена геодинамической обстановки

Таблица 1. Сравнение основных этапов структуро- и рудообразования на месторождениях Дражное и Дегдекан

Месторождение	Дражное	Дегдекан
Рудный район	Верхне-Индигирский	Центрально-Колымский
Рудоконтролирующий разлом	Адыча-Тарынский (Большетарынская ветвь)	Тенькинский
Падение разлома	Крутое северо-восточное	Крутое северо-северо-восточное
Ориентировка рудовмещающих нарушений	Два этажно расположенных, встречных взбросо-надвига, с падением около 45° на юго-запад	Серия синтетических взбросо-надвигов и зона объемной трещиноватости между ними, с падением 45°–60° на северо-восток
Возраст оруденения, млн л.	Ранний импульс – 143–144; поздний импульс – 126 (Малотарынское, Дора-Пиль) (Прокопьев и др., 2018)	131 ± 5.6 (Акинин и др., 2003)

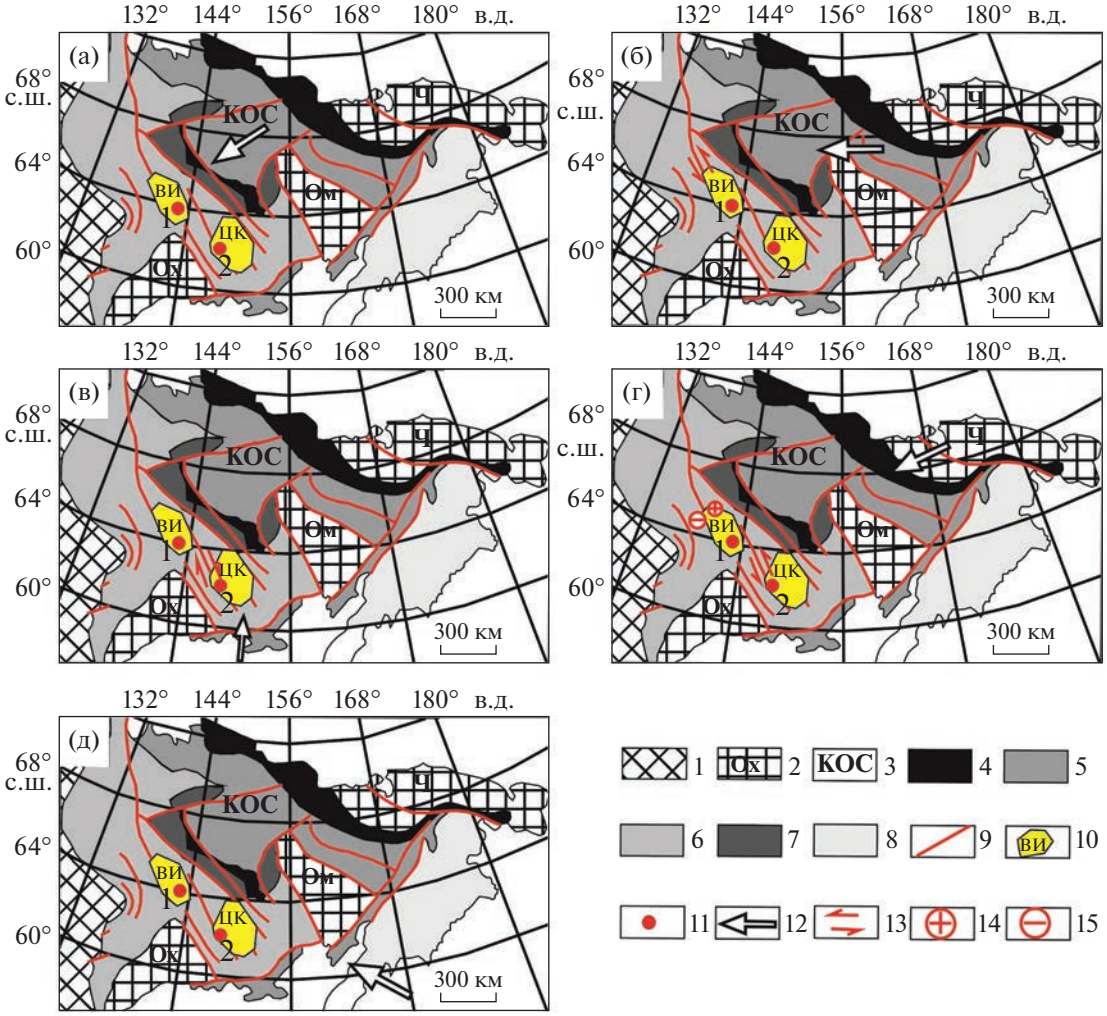
Таблица 2. Основные геодинамические обстановки во время рудообразования в различных сегментах Верхояно-Колымского складчатого пояса

Структурные преобразования	Рудные районы		Основные этапы геодинамического развития
	Верхне-Индигирский	Центрально-Колымский	
Ранние надвиги юго-западной вергентности	Редкий кливаж	Кливаж, мелкие складки близширотной ориентировки, кварцевые прожилки	Раннеколлизионный этап, начало средней юры. Закрытие Оймяконского бассейна, причленение Колымо-Омолонского супертеррейна к восточной окраине Сибирского кратона
Образование региональных глубинных сдвигов и первоначальные перемещения по оперяющему рудовмещающему нарушению	Левый сдвиг, внедрение даек и отложение вкрапленной пиритовой минерализации (~143–144 млн лет; Прокопьев и др., 2018)		Коллизионно-транспрессионный этап, поздняя юра–начало раннего мела. Причленение Алазейской энсиматической островной дуги (146.2–132.6 млн лет; Герцева, Сысоев, 2020)
		Правый сдвиго-взброс, внедрение даек, отложение вкрапленной золото-сульфидной минерализации	Аккреция Охотского и океанических террейнов на юге, поздняя юра–начало раннего мела. Образование Уда-Мургальской дуги
Реактивация в главный рудный этап рудовмещающих нарушений	Взброс, отложение золотоносной золото-сульфидно-кварцевой минерализации (~126 млн лет; Прокопьев и др., 2018)	Левый сдвиго-сброс, отложение рудоносной золото-сульфидно-кварцевой минерализации (131 ± 5.6 млн лет; Акинин и др., 2003)	Столкновение с Чукотским микроконтинентом, ранний мел. Образование Южно-Анюйской сутуры
Пострудная тектоника	Северо-восточные взбросо-левосдвиги, кварц-кальцитовые прожилки	Правосторонние северо-восточные сбросы, кварц-кальцитовые прожилки	Пост-аккреционная Охотско-Чукотская магматическая дуга, поздний мел (105–77 млн лет; Акинин, Миллер, 2011)

вдоль восточной окраины Сибирского кратона во время коллизии (табл. 2, фиг. 10).

Постаккреционное развитие региона в альбе-кампане определялось уже субдукционными процессами на активной континентальной окраине востока Азии, а связанное с ними оруденение получило максимальное развитие среди вулкано-плутонических комплексов Охотско-Чукотского пояса (Фридовский, 1999).

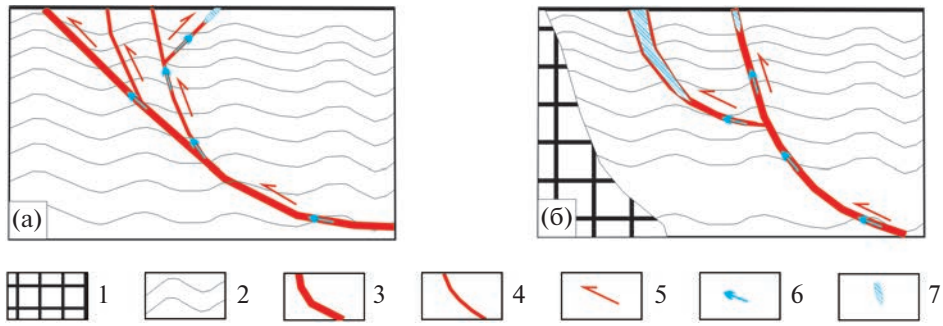
Анализ геодинамической обстановки (фиг. 10) указывает на размещение Верхне-Индигирского рудного района ближе к ***форландовой*** области складчатого пояса, где напряжения во время коллизии реализовывались в основном в виде взбро-



Фиг. 10. Позиция месторождений Дражное и Дегдекан в Верхояно-Колымском складчатом поясе и предполагаемая ориентировка стрессовых напряжений во время коллизии (основа по Soloviev et al., 2020; направления перемещения террейнов и микроконтинентов в разные этапы по Ханчуку и др., 2006). а – ранние надвиги (начало средней юры); б – столкновение с Алазейской дугой (поздняя юра–начало раннего мела); в – столкновение с Удо-Мургальской дугой (поздняя юра–начало раннего мела); г – столкновение с Чукотским микроконтинентом (ранний мел); д – Охотско-Чукотская магматическая дуга (поздний мел). 1 – Сибирский кратон; 2 – микроконтиненты: Охотский (Ох), Омолонский (Ом) и Чукотский (Ч); 3 – Колымо-Омолонский супертеррейн; 4–8 – террейны разного состава: 4 – океанические; 5 – островных дуг; 6 – пассивной континентальной окраины (терригенные); 7 – пассивной континентальной окраины (карбонатные); 8 – аккретированные Корякские и Камчатские террейны; 9 – главные разломы; 10 – рудные районы: Верхне-Индигирский (ВИ) и Центрально-Колымский (ЦК); 11 – месторождения золота: Дражное (1) и Дегдекан (2); 12 – предполагаемая ориентировка перемещения Колымо-Омолонского суперконтинента и террейнов при коллизии; 13–15 – направления перемещения блоков по разломам: 13 – латеральные по сдвигам, 14–15 – вертикальные по взбросам и сбросам: 14 – вверх, 15 – вниз.

со-надвигов (Чакры-Индигирский надвиг, Адыча-Тарынский разлом). В отличие от этой обстановки, Центрально-Колымский рудный район приурочен к области, ограниченной с запада упором в виде Охотского континентального блока (микроконтинент, террейн), и здесь уже преобладают сдвиго-взбросовые нарушения (Тенькинский разлом). Постоянное наличие сдвиговой компоненты в разные этапы развития структуры на обоих месторождениях, свидетельствует о косой коллизии, а значительное сокращение территории (Шпикерман, 1998) и взбросовый характер нарушений позволяют предположить коллизионно-транспрессионный режим.

Генерализованая модель образования оперяющих рудовмещающих структур в различных геодинамических позициях Верхояно-Колымского складчатого пояса представлена на фиг. 11. Отметим, при описании этих структур авторы не стремились охватить все возможные варианты, тем более что известны небольшие месторождения и проявления с северо-восточной ориентировкой рудных тел и залежей, а также приуроченные к близгоризонтальным надвигам. Так, пологие за-



Фиг. 11. Схемы циркуляции рудоносных растворов (локальные палеофлюидопотоки) в тектонических нарушениях различных обстановок Верхояно-Колымского складчатого пояса (разрез). а – удаленная обстановка (Верхне-Индигирский рудный район – месторождение Дражное); б – обстановка с жестким упором (Центрально-Колымский рудный район – месторождения Дегдекан, Павлик, Наталка). 1 – Охотский континентальный массив; 2 – осадочная толща (пермь–триас); 3 – основной рудоподводящий разлом (сдвиго-взброс); 4 – рудораспределяющие и рудовмещающие нарушения; 5 – направления перемещения блоков пород; 6 – направления перемещения рудоносных флюидов; 7 – рудные тела и залежи (размер примерно соответствует соотношению запасов).

легания имеют рудоконтролирующие нарушения месторождений Пиль, Базовское (Фридовский и др., 2017) и т.д. В данной статье рассмотрены лишь наиболее рудоносные и значительные по масштабам случаи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Основные золоторудные районы Верхояно-Колымского складчатого пояса располагаются в различной обстановке, обусловленной длительной и сложной геодинамической историей территории в юрском–меловом периоде. Давление со стороны Колымо-Омолонского супертеррейна и причленившейся Алазейской дуги реализовывалось во форландовой части (ВИР) в виде удаленных надвигов, постепенно воздымающихся и переходящих во взбросо-сдвиги. Функционирование Уда-Мургальской дуги инициировало образование системы глубинных сдвигов на юго-восточном фланге пояса (ЦКР).

2. Главными для рудообразования являются: (1) образование региональных глубинных сдвигов, связанных с коллизией Колымо-Омолонского супертеррейна с Сибирским кратоном и столкновением с Алазейской дугой (ранняя рудная минерализация ВИР) и Удо-Мургальской дугой (ранняя вкрапленная пиритовая минерализация ЦКР) и (2) столкновение с Чукотским микроконтинентом и реактивация образованных ранее нарушений (основная золото-сульфидно-кварцевая минерализация Яно-Колымского металлогенического пояса).

3. Различие в позициях рудных районов выразилось в особенностях строения основных рудовмещающих нарушений. Месторождение Дегдекан (участок Верный) приурочено к синтетическим взбросо-надвигам, контролирующим крупнообъемные залежи сравнительно бедных руд, а месторождение Дражное – к встречным сдвиго-взбросам, вмещающим небольшие по размерам, этажно расположенные богатые рудные тела.

4. Детальный структурный анализ золоторудных месторождений в коллизионных сдвиговых зонах, в комплексе со статистическими методами, позволяет наметить основные пути локальных палеофлюидопотоков и прогнозировать невскрытые части рудных тел и залежей.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны руководству компании ЗАО “ТЗРК” и Главному геологу рудника Дражное – Олегу Александровичу Михайлову, благодаря которым удалось ознакомиться с геологическим строением месторождения.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (грант № 13.1902.21.008).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Акимов Г.Ю. Новые данные о возрасте золотокварцевого оруденения в Верхне-Индигирском районе // ДАН. 2004. Т. 398. № 1. С. 80–83.

Акинин В.В., Ворошин С.В., Гельман М.Л., Леонова В.В., Миллер Э.Л. SHRIMP- датирование метаморфических ксенолитов из лампрофира на золоторудном месторождении Дегдекан: к истории преобразований континентальной земной коры в Аян-Юряхском антиклинории (Яно-Колымская складчатая система) / Геология, магматизм и минерагения континентальных окраин Севера Пацифики. Т. 2. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003. С. 142–146.

Акинин В.В., Прокопьев А.В., Торо Х, Миллер Э.Л. Вуден Дж., Горячев Н.А., Альшевский А.В., Бахарев А.Г., Трунилина В.А. U-Pb-SHRIMP-возраст гранитоидов Главного батолитового пояса (Северо-Восток Азии) // ДАН. 2009 Т. 426. № 2. С. 216–221.

Акинин В.В., Миллер Э.Л. Эволюция известково-щелочных магм Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Петрология. 2011. Т. 19. № 3. С. 249–290

Аристов В.В. Перспективы выявления крупных богатых золотокварцевых месторождений в Тарынском рудно-россыпном узле // Разведка и охрана недр. 2009. № 6. С. 3–11.

Аристов В.В. Закономерности размещения золоторудных объектов Яно-Колымской провинции // Геология и геофизика. 2019. Т. 60. № 8. С. 1108–1125.

Аристов В.В. Прокофьев В.Ю., Имамендинов Б.Н., Кряжев Г.С., Алексеев В.Ю., Сидоров А.А. Особенности рудообразования на золотокварцевом месторождении Дражное (Восточная Якутия, Россия) // ДАН. 2015. Т. 464. № 1. С. 65–70.

Аристов В.В., Бабарина И.И., Григорьева А.В., Алексеев В.Ю., Прокофьев В.Ю., Узюнкоян А.А., Заболотская О.В., Титов С.Г. Золото-кварцевые месторождения Жданинского рудно-россыпного узла (Восточная Якутия). Структурный контроль и условия образования // Геология руд. месторождений. 2016. Т. 58. № 6. С. 559–594.

Волков А. В., Егоров В. Н., Прокофьев В.Ю., Сидоров А.А., Горячев Н.А., Бирюков А.В. Золоторудные месторождения в дайках Яно-Колымского пояса // Геология руд. месторождений. 2008. Т. 50. № 4. С. 275–298.

Ворошин С.В. Соотношение оруденения и даек на месторождении Дегдекан // Геология руд. месторождений. 1988. Т. XXX. № 4. С. 30–37.

Ворошин С.В., Тюкова Е.Э.,Гибшер Н.А. Метаморфизм сульфидов и жильного кварца на Дегдеканском и Гольцовском золоторудных месторождениях (Магаданская область) // Геология руд. месторождений. 2006. Т. 48. № 3. С. 249–272.

Гамянин Г.Н., Фридовский В.Ю., Викентьева О.В. Благороднометалльная минерализация Адыча-Тарынский металлогенической зоны: геохимия стабильных изотопов, флюидный режим и условия рудообразования // Геология и геофизика. 2018. Т. 59. № 10. С. 1586–1605.

Гедько М.И. Уяндино-Ясачненская позднеюрская островная дуга (Северо-Восток СССР) // Геотектоника. 1988. № 3. С. 88–100.

Герцева М.В., Сысоев И.В. Этапы формирования Главного Колымского плутонического пояса // Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики. Т. 1. Материалы LII Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2020. С. 165–170.

Гончаров В.И., Ворошин С.В., Сидоров В.А. Наталкинское золоторудное месторождение. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002. 230 с.

Горячев Н.А. Геология мезозойских золотокварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998. 210 с.

Горячев Н.А., Бердников Н.В. Типы рудоносных гранитов юго-восточной части мезозоид Северо-Востока России и их флюидная специализация // Тихоокеанская геология. 2006. Т. 25. № 3 С. 40–52.

Горячев Н.А., Соцкая О.Т., Михалицина Т.И., Горячева Е.М., Маньшин А.П. Оценка Au-Pt-Pd-Ni в рудах типовых месторождений (Наталка, Дегдекан) в черносланцевых толщах Яно-Колымского золоторудного пояса // Проблемы минерагении России. Вестник ОНЗ РАН, спецвыпуск. 2012. С. 325–336.

Горячев Н.А., Соцкая О.Т., Игнатьев А.В., Веливецкая Т.И., Горячева Е.М., Семышев Ф.И., Бердников Н.В., Малиновский М.А., Альшевский А.В. О сульфидной минерализации зон крупных разломов Яно-Колымского орогенного пояса // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2020. № 1. С. 11–29.

Дылевский Е.Ф. Зональность Уяндино-Ясачненского вулканического пояса и его тектоническая природа // Геотектоника. 1994. № 4. С. 52–62.

Константиновский А.А. Структура и геодинамика Верхоянского складчато-надвигового пояса // Геотектоника. 2007. № 5. С. 3–22

Литвиненко И.С. Условия нахождения и типоморфизм самородного золота в рудах Дегдеканского (Северо-восток России) месторождения в черносланцевых толщах // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 6. С. 691–697.

Мальков Б.И. Тектоника Верхояно-Колымских мезозоид (Северо-Восток СССР): Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Л., 1976. 20 с.

Маньшин А.П., Горячев Н.А. Геологическое строение участка “Верный” золоторудного месторождения Дегдекан // Чтения памяти академика К.В. Симакова. Тез. докл. Всеросс. научн. конф. (Магадан, 25–27 ноября 2009 г.) Магадан: СВНЦ ДВО РАН. 2009. С. 125–126.

Михайлов Б.К., Стружков С.Ф., Наталенко М.В, Цымбалюк Н.В. Многофакторная модель крупнообъемного золоторудного месторождения Дегдекан (Магаданская область) // Отечественная геология. 2010. № 2. С. 20–31.

Морозов Ю.А. Структурообразующая роль транспрессии и транстенсии // Геотектоника. 2002. № 6. С. 3–24.

Оксман В.С., Прокопьев А.В., Карякин Ю.В., Тарабукин В.П. Фрагменты Оймяконского палеоокеана в коллизионном поясе Черского (Северо-Восток Азии) // Тектоника и геодинамика: Общие и региональные аспекты. М.: Геос., 1998. Т. 2. С. 69–72.

Оксман В.С., Ганелин А.В., Соколов С.Д. Офиолитовые пояса Арктических регионов Верхояно-Чукотской орогенной области: геодинамическая модель формирования // Тихоокеанская геология. 2003а. Т. 22. № 6. С. 62–75.

Оксман В.С., Соколов Е.Д., Бондаренко Г.Е. Орогенные пояса северо-западного сектора Пацифики // Геодинамика, магматизм и минерагения континентальных окраин Севера Пацифики: матер. Всеросс. совещ. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН. 2003б. С. 55–57.

Остапенко Л.А., Стружков С.Ф., Рыжов О.Б., Цымбалюк Н. В., Евтушенко М. Б. Оценка достоверности опробования руд на крупнообъемных золоторудных месторождениях в терригенных толщах (на примере Дегдеканского месторождения) // Руды и металлы. 2004. № 2. С. 42–55.

Парфенов Л.М. Терейны и история формирования мезозойских орогенных поясов Восточной Якутии // Тихоокеанская геология. 1995. № 6. С. 32–43.

Парфенов Л.М., Рожин С.С., Третьяков Ф.Ф. О природе Адыча-Тарынской зоны разломов (Восточное Верхоянье) // Геотектоника. 1988. № 4. С. 90–102.

Парфенов Л.М., Кузьмин М.И. (отв. ред). Тектоника, геодинамика и металлогения территории республики Саха (Якутия). М.: МАИК “Наука/ Интерпериодика”, 2001. 571 с.

Прокопьев А.В., Тронин А.В. Седиментологические и структурные особенности зоны сочленения Кулар-Нерского пояса и Иньяли-Дебинского синклинория // Отечественная геология. 2004. № 4. С.49–56.

Прокопьев А.В., Борисенко А.С., Гамянин Г.Н., Фридовский В.Ю., Кондратьева Л.А., Анисимова Г.С., Трунилина В.А., Васюкова Е.А., Иванов А.И., Травин А.В., Королева О.В., Васильев Д.А., Пономарчук А.В. Возрастные рубежи и геодинамические обстановки формирования месторождений и магматических образований Верхо-

яно-Колымской складчатой области // Геология и геофизика. 2018. № 10. С. 1542–1563

Савчук Ю. С., Волков А. В., Аристов В.В., Сидоров В.А., Лямин С.М. Строение и состав золоторудных залежей месторождения Павлик // Руды и металлы. 2018. № 2. С.77–85.

Соколов С.Д. Очерк тектоники Северо-Востока Азии // Геотектоника. 2010. № 6. С. 60–78.

Соколов С.Д., Тучкова М.И., Бондаренко Г.Е. Тектоническая модель Южно-Анюйской сутуры и ее роль в формировании структур Восточной Арктики // Строение и история развития литосферы. М.-Спб.: Паулсен, 2010. С. 205–228.

Соцкая О.Т. Минералогические и геохимические особенности месторождений золото-сульфидно-вкрапленного типа в южной части Яно-Колымского золотоносного пояса: Автореф. дисс. ... канд. геол.-минер. наук. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН. 2017. 28 с.

Соцкая О.Т., Маньшин А.П., Горячев Н.А. Новые данные по минералогии руд Дегдеканского месторождения. Золото Северного обрамления Пацифика. II Международный горно-геологический форум, посвященный 110-летию со дня рождения Ю.А. Билибина. Тезисы докладов горно-геологической конференции (Магадан, 3–5 сентября) Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2011. С. 205–207.

Стружков С.Ф., Наталенко М.В., Цымбалюк Н.В. Уникальные золоторудные регионы Витватерсранд (ЮАР) и Центрально-Колымский (Россия) – сопоставительный анализ // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2009. № 4. С. 72–81.

Фридовский В.Ю. Структуры месторождений золота Верхояно-Колымской орогенной области: Автореф. дисс. ... докт. геол.-минер. наук. Якутск: Изд-во ЯГУ, 1999. 33 с.

Фридовский В.Ю., Гамянин Г.Н., Полуфунтикова Л.И. Дора-Пильское рудное поле: строение, минералогия и геохимия среды рудообразования // Руды и металлы. 2012. № 5. С. 7–21.

Фридовский В.Ю., Гамянин Г.Н., Полуфунтикова Л.И. Золотокварцевое месторождение Сана Тарынского рудного узла // Разведка и охрана недр. 2013. № 12. С. 3–7.

Фридовский В.Ю., Гамянин Г.Н., Полуфунтикова Л.И. Структуры, минералогия и флюидный режим формирования руд полигенного Малотарынского золоторудного поля (Северо-восток России) // Тихоокеанская геология. 2015. Т. 34. № 4. С. 39–52.

Фридовский В.Ю., Полуфунтикова Л.И., Горячев Н.А., Кудрин М.В. Рудоконтролирующие надвиги золоторудного месторождения Базовское (Восточная Якутия) // ДАН. 2017. Т. 474. № 4. С. 462–464.

Фридовский В.Ю., Кудрин М.В., Яковлева К.Ю. Тектонические деформации пород в зоне Чаркы-Индигирского надвига (Верхояно-Колымская складчатая область, Северо-Восток России) // Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики. Т. 2. Материалы LII Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2020. С. 368–371.

Ханчук А.И., Голозубов В.В., Горячев Н.А., Родионов С.М. Геодинамические реконструкции и металлогения Востока России / Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 2. С. 880–897.

Ханчук А.И., Плюснина Л.П., Никитенко Е.М., Кузьмина Т.В., Баринов Н.Н. Распределение благородных металлов в черных сланцах золоторудного месторождения Дегдекан (Северо-восток России) // Тихоокеанская геология. 2011. Т. 30. № 2. С. 3–11.

Читалин А.Ф. Сдвиговая тектоника и золотоносность Колымского региона // Золото и технологии. 2016. № 4 (34). С. 128–133.

Читалин А.Ф., Воскресенский К.И., Гришин Е.М., Сивков Д.В., Усенко В.В., Фомичев Е.В., Чикатуева В.Ю. Структурно-кинематическая модель золоторудного месторождения Дражное // Геофизика. 2018. № 3. С.106–114.

Шахтыров В.Г. Тенькинский глубинный разлом: тектоническая позиция, инфраструктура, рудоносность // Геологическое строение, магматизм и полезные ископаемые Северо-Восточной Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН. 1997. С. 62–64.

Шахтыров В.Г. Верхне-Колымский золотоносный район в свете сдвиговой тектоники // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. 2009. № 2. Вып. 35. С. 89–98.

Шахтыров В.Г. Сдвиговые структурные ансамбли и золотое оруденение Яно-Колымской складчатой системы: Автореф. дис. ... докт. геол.-минер. наук. Иркутск: Иркут. Гос. техн. ун-т, 2010. 51 с.

Шпикерман В.И. Домеловая минерагения Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998. 333 с.

Fridovsky Yu.V. Structural control of orogenic gold deposits of the Verkhoyansk-Kolyma folded region, northeast Russia // Ore Geol. Rev. 2018. V. 103. P. 38–55.

Fridovsky Yu.V., Yakovleva K.Y., Vernikovskaya A.E., Vernikovsky V.A., Matushkin N.Y., Kadilnikov P.I., Rodionov N.V. Geodynamic emplacement setting of late jurassic dikes of the Yana–Kolyma Gold Belt, NE folded framing of the Siberian Craton: geochemical, petrologic, and U–Pb zircon data // Minerals. 2020. V. 10. 1000. 27 p.

Groves D.I., Goldfarb R.J., Gebre-Mariam M, Hagemann S.G., Robert F. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit type // Ore Geol. Rev. 1998. V. 13. P. 7–27

Goldfarb R.J., Groves D.I., Gardoll S. Orogenic gold and geologic time: a synthesis // Ore Geol. Rev. 2001. V. 18. P. 1–75.

Goldfarb R.J., Taylor R.D., Collins G.S., Goryachev N.A., Orlandini O.F. Phanerozoic continental growth and gold metallogeny of Asia // Gondwana Research. 2014. V. 25. P. 48–102. *Goryachev N.A., Shpikerman, V.I., Church, S.E., Gvozdev, V.I.,* Calcic skarn ore deposits of the North-East Russia // Ore Geol. Rev. 2018. V. 103. P. 3–20.

Soloviev S.G., Kryazhev S.G., Dvurechenskaya S.S. Geology, mineralization, and fluid inclusion characteristics of the Agylki reduced tungsten (W-Cu-Au-Bi) skarn deposit, Verkhoyansk fold-and-thrust belt, Eastern Siberia: tungsten deposit in a Gold-Dominant Metallogenic Province // Ore Geol. Rev. 2020. V. 120. 25. 103452.