

УДК 553.41/550.3

## СТРУКТУРНО-ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РУДООБРАЗУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ Au–Q-МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИРОКИНДА (СВ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

© 2022 г. К. Ю. Мурашов<sup>1,\*</sup>, Т. М. Злобина<sup>1</sup>, член-корреспондент РАН В. А. Петров<sup>1</sup>, А. А. Котов<sup>1</sup>

Поступило 07.04.2022 г.

После доработки 17.05.2022 г.

Принято к публикации 19.05.2022 г.

Приведены новые данные о структурно-гидродинамической организации рудообразующей системы (РС) месторождения Ирокинда в архитектуре глубинных разломов. Выявлены особенности функционирования РС в сейсмическом “центроидном” поле напряжений под давлением, аномально превышающем литостатическое. Впервые обозначена область питания РС из автономных полигенных источников, формировавшихся полихронно в тектоно-магматогенных пулл-апарт структурах. Разработана 3D-модель образования полигенного источника в одной из структур. Обсуждается модель функционирования РС в постколлизионный период. Согласно этой модели, палео-землетрясения центроидного типа с гипоцентрами в зоне Беньюфа периодически вскрывали коллекторы с метаморфогенными газами, накапливавшимися в аккреционной призме, и обеспечивали их перенос в пулл-апарт структуры, смешение с магматогенными флюидами и миграцию смешанных газ-гидратов в сферу минерализации.

*Ключевые слова:* структура месторождения, рудообразующая система, сейсмический режим

**DOI:** 10.31857/S2686739722100474

Месторождения золота, сформированные гидротермально-магматическими системами на разных глубинах, в различных тектонических средах в пределах влияния конвергентных границ литосферных плит, относятся к орогенным. Особенно широко обсуждаются последние 20 лет золотоносные рудообразующие системы (РС), вопросы функционирования которых остаются противоречивыми. Современные гипотезы об образовании таких месторождений направлены на разрешение основных противоречий между генезисом минеральных систем и сроками геодинамических, структурных, метаморфических событий. Исследования [1, 2] показали, что данные (изотопно-геохимические, термобарогеохимические и др.) о золотоносных РС особенно неоднозначны для орогенных систем, что вызывает трудности при интерпретации режимов функционирования РС во времени, происхождения источников, способов переноса флюидов в зону минерализации. Гипотеза Дж.А. Хронски [3] определяет концепцию орогенного рудообразования как процесс накопления золота в режимах кратковременно активных самоорганизующихся систем (сейсми-

ческой и флюидной), осуществляющих перенос аномальных потоков энергии и флюидов в вертикальной сети пронизываемых каналов, связанных с источником. Отложение рудной минерализации происходит эпизодическими импульсами внутри проводящей системы разломов. Гипотеза связывает разномасштабные критические процессы: геодинамические; минералообразования; архитектуры активных тектонических проводников; тепловой двигатель, осуществляющий подъем флюидов по каналам в область накопления руд золота с помощью “сейсмического роя, спровоцированного инъекцией флюидов”. Последний заимствован из модели [4], в которой подчеркивается триггерный эффект гидродинамического давления флюидов, вызывающего слабое роевое землетрясение в диапазоне магнитуд 2–4. После определения параметров критических процессов, указанных в [3], можно оценивать геохимические отклики для них [5].

### МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для оценки напряженно-деформированного состояния среды (НДС) в период поступления флюидов применены методы [6]: 1) реконструкции векторов напряжений-деформаций по динамограммам скола, выполненным минералами-индикато-

<sup>1</sup> Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук, Москва, Россия

\*E-mail: kostik.mur@mail.ru

рами процессов рудообразования; 2) стереографического анализа векторов деформаций в изолиниях плотности распределения для определения фазовых портретов изменения НДС; 3) оценки напряжений по значениям  $\text{Det}(M_{ij})/\text{Det}(M_{xy})$  тензоров, отражающих изометрическое положение векторов в базисе с использованием коэффициентов асимметрии тензоров Бингхема. Соответствие палео-механизмов деформаций современным сейсмическим проверяли по схеме классификации фокальных механизмов землетрясений [7], определяющей (на основе изометрического отображения на сферу тензоров сейсмических моментов) области сферы, допустимые для механизмов деформаций DC- и NDC-типов. Для построения 3D-моделей разработан подход, расширяющий возможности использования ГИС-технологий и трехмерных визуальных моделей при изучении пространственно-временных закономерностей структурно-динамических процессов формирования месторождений [8]. Использовались отдельные модули и алгоритмы из специализированных горно-геологических информационных систем (MICROMINE), методически адаптированные под конкретную задачу. Переменные параметры флюидов ( $PT$ , изотопный состав, солёность, плотность) определялись при изучении флюидных включений (ФВ) в золотоносном кварце, захваченных в процессе минералообразования. Микротермометрические исследования ФВ выполнялись на измерительном комплексе, включающем микротермокамеру THMSG-600 "Linkam", микроскоп "Olimpus", видеокамеру и управляющий компьютер [2]. Глубина начала минералообразования определялась по  $P_{\text{max}}$  флюидов с учетом градиента литостатического давления ( $P_L = 260$  бар/км), а глубина завершения процесса — по  $P_{\text{min}}$ , с использованием градиента гидростатического давления ( $P_H = 100$  бар/км). Принцип расчета глубин сформулирован в [9]. В расчетном интервале глубин сравнивались максимальные перепады давления, полученные по ФВ ( $P_{\text{max}} - P_{\text{min}}$ ) и перепады литостатического давления ( $P_{L\text{max}} - P_{L\text{min}}$ ) между нижним и верхним уровнем формирования минерализации. При  $P_{\text{max}} - P_{\text{min}} > P_{L\text{max}} - P_{L\text{min}}$  рассчитывалось среднее для данного интервала глубины давление флюидов, превышающее литостатическое.

Месторождение Ирокинда размещено на окраине юго-восточного сегмента Байкало-Муйского пояса, в Южно-Муйской глыбе (AR-PR<sub>1</sub>), вовлеченной в субдукционно-коллизионные процессы байкальских циклов тектогенеза (~800 и 600 млн лет), вокруг которой формировалось складчато-орогенное сооружение ранних и поздних байкалид, проявлялся синтетектонический магматизм, гипабисальный вулканизм (PR-PZ). Относительно позиции Южно-Муйской глыбы

пока нет однозначного мнения — является ли она кратонным выступом или фрагментом кратонного террейна (микроконтинента), аккрецированным к Сибирскому континенту в конце рифея, венде [10] или частью микроконтинента, аккрецированным дважды к Сибирской платформе вместе Северо-Муйским блоком [11]. Ранее отнесение Байкало-Муйского пояса к офиолитовым, последующее — к позднерифейским вулканическим, имеют свои геологические и магматические обоснования [12, 13]. Принципиальным в различных схемах является выражение коллизионных, островодужных структур и время становления магматических комплексов. Приведенные данные по золоторудным месторождениям не согласуются с современными представлениями как о проявлении плюмового магматизма и сопровождающих его тектонических процессах [14, 15], так и с конкретной информацией [16] о возрасте золоторудной минерализации в регионе (~270–280 млн лет). Представления о ранне- и позднепалеозойской тектоно-магматической активизации в рифейском подвижном поясе в настоящее время заменяются концепцией связи рудообразования с Ангаро-Витимским мегабатолидом. В связи с особенностями геодинамического и тектонического развития Муйского рудного района необходимо рассматривать различные модели золотоносных рудообразующих систем, учитывая вероятность корового и мантийного их зарождения, явлений регенерации ранних рудных образований, совместного размещения полихронных рудных концентраций [17].

Тектоническая позиция в области влияния конвергенции литосферных плит, а также полихронный метаморфизм — зеленосланцевый в PR и гранулитовый в венде [11] позволяют отнести месторождение к орогенным. Термобарические параметры флюидов соответствуют орогенной рудообразующей системе, связанной с магматизмом и глубинными метаморфогенными процессами [2]. Минерализация жил формировалась из магматогенных флюидов при  $T = 453\text{--}320^\circ\text{C}$ ,  $P = 3.3\text{--}1.1$  кбар, а из метаморфогенных — при  $T = 384\text{--}270^\circ\text{C}$ ,  $P = 5.0\text{--}1.4$  кбар. Прямые измерения изотопного состава углерода в газовых ФВ показали присутствие газов, происхождение которых мы связали с процессами коллизионного метаморфизма в зоне субдукции при поглощении океанической коры мантией [2]. Однако особенности вариаций изотопного состава Pb, S, Sr и Nd рудных и жильных минералов дают основание заключить, что минералообразующие компоненты поступали в гидротермальную систему месторождения из разных источников [18]. Один из них авторы связывают с породами докембрийской коры, второй — с внутриплитным раннепермским щелочным магматизмом, а развитие рудообразующих процессов на месторождении — с возрас-

том около 270 млн лет назад. Такие данные указывают на противоречия между генезисом минеральной системы и сроками геодинамических и метаморфических событий, оторванных по времени на сотни млн лет от периодов поступления флюидов. По мнению Дж. Гровса и соавт. [5], большинство генетических гипотез орогенных месторождений золота, которые связаны с магмато-гидротермальными флюидами, в настоящее время опровергаются в рамках модели глобальной минеральной системы. Правдоподобные модели включают метаморфические флюиды (коровые), но источник флюида был сомнительным. Это происходит из-за дегазации ( $\text{CO}_2$ ) субдуцированной океанической плиты с лежащей на ней золотосодержащей, богатой сульфидами осадочной пачки или высвобождения  $\text{CO}_2$  из мантийной литосферы, которая была метасоматизирована во время субдукции [5].

Южно-Муйский блок, вмещающий Ирокиндинское рудное поле, ограничен на юге зоной Южно-Муйских глубинных разломов, на западе и востоке — Келяно-Ирокиндинской и Тулдуньской мобильными зонами глубинных разломов. В зонах присдвигового растяжения и сбросов по поперечным перемычкам на изгибах разломов в условиях *право-сдвиговой* трансформации были образованы в  $\text{PR}_1$  пулл-аппарт структуры с объемными камерами декомпрессии на глубине, которые определены с помощью 3D-модели поверхностной толщи осадков по ромбовидной форме прогибов в наложенных кайнозойских впадинах. Эволюция тектоно-магματοгенных пулл-аппарт структур происходила при кинематической инверсии сдвигов малой амплитуды в периоды автономного полихронного развития магматизма: в ранне-байкальский цикл тектогенеза; на рубеже ранне-поздне-байкальских циклов; в период палеозойской активизации. Периодическая смена режима *право-сдвиговой* трансформации на *лево-сдвиговую* трансформацию инициировала полихронное затягивание в камеры декомпрессии краевых фаций магматических расплавов различной природы и возраста. Длительный процесс генерации и накопления рудообразующих флюидов из магм происходил в условиях затухающей *лево-сдвиговой* трансформации в притертых (сдавленных) пулл-аппарт структурах (рис. 1а).

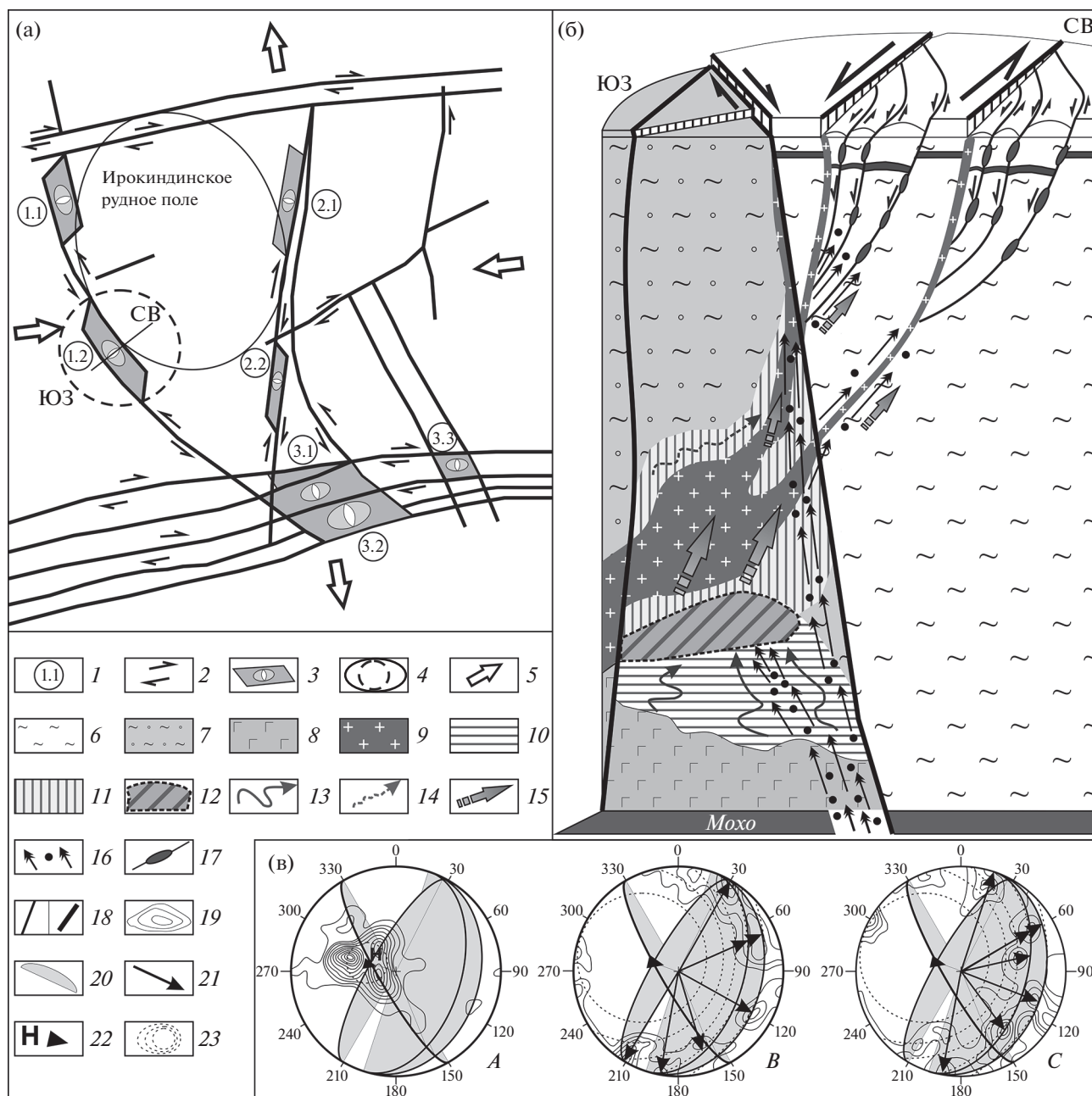
Анализ магматизма, проявившегося (по данным [19]) вокруг блока, позволил предположить, что в пулл-аппарте 1.1 (см. рис. 1а) могли накапливаться производные габброидных магм Муйского (812 млн лет [19]) и гранитоидных Витимканского (292 млн лет [19]) комплексов; в пулл-аппарте 1.2 — Муйского и гранитоидного гипабиссального Бамбукойского комплексов (723 млн лет [19]). В пулл-аппартах 2.1 и 2.2 источники флюидов могли формироваться из дифференциатов высокоти-

танистых плутоногенных габброидных магм Кедровского (735 млн лет [19]) и дифференциатов гранитоидных магм Муйского комплексов.

Вместе с этим трудно представить совмещение производных магм Муйского и Витимканского комплексов, образованных в пулл-аппарте 1.1 с отрывом почти в 500 млн лет. Дифференциаты протерозойского магматизма могли удаляться полностью из промежуточного очага на образование жил на более глубоких горизонтах, возраста которых пока нет. А минерализация жил, локализованных в верхней части разреза, могла быть образована из нового палеозойского источника, генерация которого происходила в этой же пулл-аппарт структуре 1.1.

Реконструкция эволюции в PR-PZ тектоно-магματοгенных пулл-аппарт структур и полученные новые изотопные данные по источникам флюидов [2] позволили определить общую область питания рудообразующей системы (см. рис. 1а), ограниченную влиянием очагов генерации флюидов в пулл-аппартах только серии 1 и серии 2. Выявлено, что структура “пальмы”, сопряженная с пулл-аппарт структурами, контролировала в целом образование жильного мегаштокверка, ветвящегося как крона дерева на верхних горизонтах и сходящегося к нескольким стволам у пулл-аппарт структур на нижних горизонтах. На 3D-модели (см. рис. 1б) показаны очаги генерации магματοгенных флюидов, смешивающихся с метаморфогенными газами в пулл-аппарте 1.2, и пути миграции флюидов по разломам второго порядка одной из ветвей структуры “пальмы”. Раскрытие разломов “пальмы” подтверждают сферогаммы деформаций периода поступления флюидов (см. рис. 1в). Механизм деформаций схож с механизмом разгрузки очага землетрясения NDC-типа при  $\sigma_3 = \sigma_2 < \sigma_1$  [20].

Ирокиндинская РС характеризуется высокими  $PT$ -параметрами ( $P$  — от 1.11 до 5.03 кбар,  $T$  — от 270 до 453°C) гетерогенных  $\text{CO}_2$ – $\text{H}_2\text{O}$ -флюидов; повышенной соленостью растворов (3.9–23.4 мас. %-экв. NaCl, при  $T = 270$ – $384^\circ\text{C}$ ); присутствием высокотемпературных рассолов (46.3–43.3 мас. %-экв. NaCl, при  $T = 453$ – $380^\circ\text{C}$ ) [2]. Значения  $(P_{\text{H}_2\text{O}} + P_{\text{газов}})/P_{\text{H}_2\text{O}}$  — от 11.8 до 57.7 в газ-гидратах ФВ и  $P_{\text{max}}$ -5кбар газовых ФВ подтверждают предположение о смешении водно-солевых растворов и свободных газов под большим давлением. Минерализация из смешанных источников происходила в интервалах глубин 11.1–13.4 км и 14.1–19.3 км. Значения  $\text{K/Rb}$  (343–328) в вытяжках из ФВ и высокие содержания солей в растворах с  $\text{CO}_2$  обусловлены участием флюидов из магματοгенных источников. В жиле 3, имеющей среднюю мощность 0.4–0.5 м, обнаружен раздув до 5 м, образование которого мы связываем с внедрением флюидов, смешанных с



**Рис. 1.** Схема тектонического контроля области питания Ирокиндинской РС из автономных источников в периоды генерации и миграции флюидов (а). Разрез 3D-модели пулл-апарта 1.2 и миграции из него флюидов в сферу минерализации (б). Сферограммы деформаций в период поступления флюидов (в). Обозначения для рис.: (а) 1 – номера пулл-апарт структур в Келяно-Ирокиндинской (1.1, 1.2) и Тулдуновской (2.1, 2.2) мобильных зонах и в системе Южно-Муйских разломов (3.1, 3.2, 3.3); 2 – направление подвижек; 3 – камеры пулл-апартов (ромбы) с очагами (овалы внутри ромба) генерации и смещения флюидов; 4 – область питания РС: общая (сплошной овал), из пулл-апарта 1.2 (пунктир); 5 – направления регионального сжатия–растяжения. (б) 6 – гнейсы Киндиканской свиты (AR-? kn), вмещающие жилы; 7 – метатерригенные породы (R–V) мобильной зоны; 8–9 – магматогенные источники флюидов: 8 – габброиды Муйского plutонического комплекса (PR<sub>1</sub> ms 812 + 19 млн лет [19]), 9 – гранитоиды Бамбуковой серии (PR<sub>2</sub>bm, 723 ± 4 млн лет [19]) гипабиссального Жанокского вулcano-плутонического комплекса; 10–12 – области воспроизводства флюидов из: габброидных (10), гранитоидных (11), смешанных (12) магм; 13–16 – направления миграции флюидов: 13 – габброидных, 14 – гранитоидных, 15 – смешанных, 16 – метаморфогенных газов из зоны субдукции; 17 – жилы; 18 – разломы. (в) 19 – выходы на верхнюю полусферу сетки Шмидта векторов напряжений-деформаций в изолиниях плотности распределения: А(σ<sub>1</sub>) – растяжения, В(σ<sub>2</sub>) – средней, С(σ<sub>3</sub>) – сжатия; 20 – проекции плоскостей проницаемых нарушений; 21 – ориентировки  $|\sigma_3|_{\max} = |\sigma_2|_{\max}$ , лежащих в плоскостях проницаемых разломов при  $\sigma_1 > \sigma_3 = \sigma_2$ ; 22 – ось симметрии системы деформаций; 23 – проекции аппроксимирующих конусов осевого распределения Бингхема.

большим объемом напорных газов. Изотопный состав углерода из газовых ФВ ( $\delta^{13}\text{C}/\delta^{12}\text{C}$  от  $-0.6$  до  $+0.7$ ) и  $P_{\text{max}} > 5$  кбар указывают на ювенильное происхождение газов при декарбонатизации морских известняков [2]. Образование таких флюидов можно связать с процессами коллизионного метаморфизма, происходящими при декарбонатизации и дегидратации известняков в зоне субдукции при поглощении океанической коры мантией.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Интерпретация комплекса данных, в том числе и полученных [2, 20], воплощена в модель функционирования Ирокиндинской РС. Газы, выделявшиеся в процессе декарбонатизации и дегидратации морских известняков ( $\text{PR}_1$ ) в зоне субдукции накапливались в коллекторах аккреционной призмы, где были заперты в условиях длительного сжатия. Землетрясения, фокусирующиеся в зоне Беньофа, с релаксацией напряжений на деформации NDC-типа, вскрывали в постколлизионный период коллекторы призмы, обеспечивали миграцию напорных газов и воды в пулл-апарт структуры под давлением, превышающим литостатическое на 2.3 кбар, и смешение с флюидами магматогенного происхождения (см. рис. 1б). Непосредственное периодическое функционирование рудообразующей системы в разломах-проводниках начиналось после воспроизводства магматогенных флюидов, согласующегося со сроками тектоно-магматической активизации, под давлением, anomalно превышающем литостатическое, в сейсмическом режиме левого сдвига. Пульсации больших объемов напорных флюидов создавали временные локальные объемные напряжения, которые приводили к компенсации сдвига. Смешанные с газами рудоносные флюиды и газы поступали в структуры “пулл-апарт-пальма” в необычных условиях синрудных деформаций, центроидный механизм которых обусловлен одноосным растяжением (см. рис. 1в). Реализация деформаций происходила при выравнивании напряжений  $|\sigma_2| = |\sigma_3|$  по абсолютной величине и вращении вокруг оси  $\sigma_1$  поля напряжений, способного поддерживать перенос флюидов в сферу минералоотложения под давлением в гидродинамической системе, anomalно избыточным над литостатическим на 1.8 кбар. Выявлено [20], что архитектура проницаемой трещинной инфраструктуры разлома зависит от ориентировки оси симметрии деформаций Н, которая контролирует миграцию потоков флюидов. На Ирокинде ось Н имеет устойчивую ориентировку — аз. пгр.  $110^\circ/60^\circ$ . Вращение вокруг новой оси симметрии (Н) системы напряжений-деформаций (см. рис. 1в) в период поступления флюидов — одно из доказательств фазового пере-

хода сейсмического поля напряжений сдвига в центроидное под давлением флюидов. Восходящий теплоперенос с вращением потока флюидов Ирокиндинской ФС происходил в ствольных зонах разломов в условиях растяжения, при давлении в гидродинамической системе от 3.5 до 5.0 кбар, anomalно избыточном над литостатическим ( $P_1$ ) на 1.8–2.2 кбар. Сейсмическая активность и пульсационное поступление флюидов в один и тот же объем разрушающихся пород возобновлялись многократно, при повторяемости землетрясений, согласующейся со сроками периодического воспроизводства флюидов в очагах их генерации. На повторное раскрытие тектонических нарушений, залеченных ранней Au–Q-минерализацией, указывает структура “жила в жиле”, которая встречается редко, но обнаружена нами в жиле 3, локализованной в зоне влияния источника из пулл-апарта 1.2. В этой же зоне локализованы крупные жилы 30, 35, Лагерная и другие более мелкие.

## ВЫВОДЫ

1. Впервые выделена область гидротермально-го питания Ирокиндинской рудообразующей системы из четырех автономных полигенно-полихронных источников.
2. Очаги генерации источников контролировали тектоно-магматогенные пулл-апарт структуры, а миграцию флюидов в зону минерализации — сопряженные с ними проводящие структуры “пальмы”.
3. Перенос газов из зоны субдукции в пулл-апарт структуры и их смешение с магматогенными флюидами под давлением в гидродинамической системе, anomalно избыточном над литостатическим, поддерживали палеосейсмические события, гипоцентры которых фокусировались в зоне Беньофа.

## ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (грант № 13.1902.21.0018).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бортников Н.С.* Геохимия и происхождение рудообразующих флюидов в гидротермально-магматических системах в тектонически активных зонах // Геология рудных месторождений. 2006. Т. 48. № 1. С. 3–28.
2. *Prokofiev V.Yu., Safonov Yu.G., Lüders V., et al.* The Sources of Mineralizing Fluids of Orogenic Gold Deposits of the Baikal-Patom and Muya Areas, Siberia: Constraints from the C and N Stable Isotope Compositions of Fluid Inclusions // Ore Geol. Rev. 2019. V. 111. P. 1–18.
3. *Hronsky J.A.* Deposit-scale Structural Controls on Orogenic Gold Deposits: An Integrated, Physical Process

- Based Hypothesis and Practical Targeting Implications // *Mineralium Deposita*. 2020. V. 55. P. 197–216.
4. Cox S.F. Injection-driven Swarm Seismicity and Permeability Enhancement: Implication for the Dynamics of Hydrothermal Ore Systems in High Fluid-flux, Overpressured Faulting Regimes // *Economic Geology*. 2016. V. 111. No 3. P. 559–587.
  5. Groves D.I., Santosh M., Liang Zhang. A Scale-integrated Exploration Model for Orogenic Gold Deposits Based on a Mineral System Approach // *Geoscience Frontiers*. 2020. 11(3). P. 719–738.
  6. Злобина Т.М. Математические методы моделирования трещинных структур рудных месторождений. М.: Наука, 1991. С. 71–74.
  7. Юнга С.Л. О классификации тензоров сейсмических моментов на основе их изометрического отображения на сферу // *ДАН*. 1997. Т. 352. № 2. С. 253–255.
  8. Петров В.А., Веселовский А.В., Мурашов К.Ю. Моделирование геодинамических объектов в трехмерной ГИС // *Геоинформатика*. 2015. № 3. С. 32–38.
  9. Прокофьев В.Ю., Пэк А.А. Проблемы оценки глубины формирования гидротермальных месторождений по данным о давлении минералообразующих флюидов // *Геология рудных месторождений*. 2015. Т. 57. № 1. С. 3–24.
  10. Гордиенко И.В. Геодинамическая эволюция поздних байкалитид и палеозоид в обрамлении юга Сибирской платформы // *Геология и геофизика*. 2006. Т. 47. № 1. С. 53–70.
  11. Skuzovatov S., Wang K.L., Dril S., Lee H.Y., Iizuka Y. Geochemistry, Zircon U-Pb and Lu-Hf Systematics of High-grade Metasedimentary Sequences from the South Muya Block (Northeastern Central Asian Orogenic Belt): Reconnaissance of Polymetamorphism and Accretion of Neoproterozoic Exotic Blocks in Southern Siberia // *Precambrian Research*. 2019. V. 321. P. 34–53.
  12. Булгатов А.Н., Гордиенко И.В. Террейны Байкальской горной области и размещение в их пределах месторождений золота // *Геология рудных месторождений*. 1999. Т. 41. № 3. С. 230–240.
  13. Рыцк Е.Ю., Амелин Ю.В., Ризванова Н.Г. и др. Возраст пород Байкало-Муйского складчатого пояса // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. 2001. Т. 9. № 4. С. 3–15.
  14. Кузьмин М.И., Ярмолюк В.В., Кравчинский В.А. Абсолютные палеогеографические реконструкции Сибирского континента в фанерозое: к проблеме оценки времени существования суперплюмов // *ДАН*. 2011. Т. 437. № 1. С. 68–73.
  15. Ковач В.П., Сальников Е.Б., Рыцк Е.Ю., Ярмолюк В.В., Котов А.Б. и др. Длительность формирования Ангаро-Витимского батолита: результаты геохронологических U-Pb исследований // *ДАН*. 2012. Т. 444. № 2. С. 184–189.
  16. Кучеренко И.В. Позднепалеозойская эпоха золотого оруденения в докембрийском обрамлении Сибирской платформы // *Известия АН СССР. Сер. Геологич.* 1989. № 6. С. 90–102.
  17. Сафонов Ю.Г., Горбунов Г.И., Пэк А.А., Волков А.В., Злобина Т.М., Кравченко Г.Г., Малиновский Е.П. Состояние и перспективы развития учения о структурах рудных полей и месторождений // *Геология рудных месторождений*, 2007. Т. 49. № 5. С. 386–420.
  18. Чугаев А.В., Дубинина Е.О., Чернышев И.В., др. Источники и возраст золоторудной минерализации месторождения Ирокинда (Сев. Забайкалье): результаты изучения изотопного состава Pb,Sr,Nd и данные <sup>39</sup>Ar–<sup>40</sup>Ar геохронометрии // *Геохимия*. 2020. Т. 65. № 11. С. 1059–1079.
  19. Рыцк Е.Ю., Ковач В.П., Ярмолюк В.В. и др. Изотопная структура и эволюция континентальной коры Восточно-Забайкальского сегмента Центрально-Азиатского складчатого пояса // *Геотектоника*. 2011. № 5. С. 17–51.
  20. Злобина Т.М., Петров В.А., Мурашов К.Ю., Котов А.А. Влияние сейсмических механизмов деформаций на миграцию флюидов в сфере накопления золоторудных концентраций // *ДАН*. 2019. Т. 484. № 1. С. 87–92.

## STRUCTURAL–HYDRODYNAMIC ORGANIZATION AND FUNCTIONING OF THE ORE-FORMING SYSTEM OF THE IROKINDA Au DEPOSIT (NORTH-EASTERN TRANSBAIKALIA)

K. Yu. Murashov<sup>a, #</sup>, T. M. Zlobina<sup>a</sup>, Corresponding Member of the RAS V. A. Petrov<sup>a</sup>, and A. A. Kotov<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

<sup>#</sup> E-mail: kostik.mur@mail.ru

New data on the structural–hydrodynamic organization of the ore-forming system (OFS) of the Irokinda deposit in the architecture of deep-seated faults are presented. The specific features of OFS functioning in a “centroid” seismic stress field under abnormal pressure in excess of the lithostatic one are revealed. The area of OFS feeding from autonomous polygenetic sources, which formed in polychronous mode in tectonomagmatic pull-apart structures, is delineated for the first time. A 3D model of polygenetic source formation in one of the structures was created. A model of OFS functioning during the post-collisional period is discussed. According to this model, centroid-type paleo-earthquakes with hypocenters in the Benioff zone periodically breached reservoirs with metamorphogenic gases, accumulated in accretionary prism, and enabled their transportation into pull-apart structures, mixture with magmatogenic fluids, and migration of mixed gas-hydrates into mineralization zone.

*Keywords:* ore deposit structure, ore forming system, seismic regime