DOI: 10.30911/0207-4028-2021-40-3-28-40 УДК 553.411:553.2:(571.61/.64)

«Памяти наших друзей В.И. Гвоздева и А.С. Ваха посвящается»

О ВОЗРАСТЕ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ФАКТОРАХ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ МАЛИНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (СИХОТЭ-АЛИНЬСКАЯ ЗОЛОТОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ, РОССИЯ)

К.Н. Доброшевский[1], Н.А. Горячев[2]

[1]*АО «Приморзолото», г. Владивосток, ул. Верхнепортовая 46;* e-mail: kdobroshevskij@yandex.ru

[2]*ФГБУН Северо-восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, г. Магадан, ул. Портовая 16, 685000;* e-mail: goryachev@neisri.ru

Поступила в редакцию 29 июня 2020 г.

Приведена структурная интерпретация впервые полученных Re-Os датировок пирита и арсенопирита Малиновского золоторудного месторождения. Сопоставление вновь полученных данных и ранее известных датировок возраста рудоносных гранитоидов рудного поля месторождения позволили определить возрастной интервал формирования оруденения в 100–90 млн лет. Этот возрастной интервал соответствует времени завершения альб-сеноманской геодинамической обстановки трансформной окраины Азиатского континента с доминирующим влиянием левосдвиговых дислокаций, о чем свидетельствуют приведенные в статье структурные особенности локализации рудных тел и магматитов. Временной интервал и геодинамические условия формирования Малиновского месторождения аналогичны таковым многих золоторудных и золотосодержащих месторождений в пределах Сихотэ-Алиньского орогенного пояса и юга Корейского полуострова.

Ключевые слова: **Re-Os датировки, пирит, арсенопирит, альб-сеноманские золоторудные месторождения, Сихотэ-Алинь.**

ВВЕДЕНИЕ

Определение возраста рудной минерализации и увязка его со структурной позицией рудных тел является одной из задач геологии рудных месторождений. К сожалению, на Дальнем Востоке РФ пока еще мало надежных данных, определяющих возрастную позицию разнообразного оруденения [4, 15, 16, 27, 42, 43]. Можно отметить публикации, содержащие новые данные по возрасту рудоносного магматизма [17–19, 28, 35], однако датировок минералов, слагающих рудные тела, очень немного, и, в основном, они касаются серицита и калиевого полевого шпата [11, 20, 42, 43]. Прямое определение возраста рудной минерализации, наряду с известными надежными датами рудоносного магматизма, позволяет более уверенно определять геодинамические условия возникновения оруденения и расшифровать историю формирования золоторудных месторождений региона. Малиновское золоторудное месторождение, охарактеризованное нами ранее [5, 8, 9, 19], является одним из немногих изученных объектов, локализованных в зоне влияния Центрально-Сихотэ-Алинского сдвига, и структурно с ним связано. В предлагаемой статье авторы сделали попытку на основе проведенных датировок и структурных наблюдений расшифровать историю формирования рудной минерализации Малиновского месторождения и оценить геодинамические условия формирования золотого оруденения.

ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Малиновское месторождение расположено в переходной зоне между структурами Евроазиатского континента и Тихоокеанской плиты [6, 26] и приурочено к Центрально-Сихотэ-Алинскому сдвигу (ЦСАС), который является тектонической границей между Самаркинским и Журавлевским террейнами [24, 26]. Месторождение располагается к восто-

ку от тектонического шва, подробно охарактеризованного Б.А.Ивановым [10], в экзо- и эндоконтакте Водораздельного монцонитоидного интрузива татибинского комплекса, который прорывает терригенные отложения раннего мела (рис. 1).

Малиновское месторождение является одним из представителей гидротермального жильного кварц-турмалин-сульфидного оруденения Au-Bi типа в пределах Сихотэ-Алинской золотоносной провинции [5, 8, 9, 29]. Оно располагается в центральной части Сихотэ-Алинской золотоносной провинции в пределах западного ареала Краевой золото-редкометалльной зоны Приморья [22, 29].

Рудовмещающие породы представлены монцонитами татибинского комплекса и песчано-сланцевыми отложениями журавлевской свиты, слагающими одноименный террейн турбидитного бассейна трансформной окраины [6, 26]. Западнее и южнее месторождения на терригенных отложениях нижнего мела несогласно залегают верхнемеловые вулканогенные толщи [6].

Магматические образования в пределах рудного поля и месторождения представлены Водораздельным интрузивом татибинского комплекса, а также дайками порфиритов и андезибазальтов (рис. 1), относимых, по аналогии с соседними районами, к позднемеловому дорофеевскому комплексу, и пострудными позднемеловыми-палеогеновыми дайками и малыми интрузивами трахириолитов и риолитов богопольского комплекса [22]. Рудовмещающий Водораздельный массив сложен габбромонцонитами, габбромонцодиоритами, монцонитами. Ранее проведенное U-Pb (SHRIMP-II) датирование по цирконам монцонитоидов этого плутона в Центре изотопных исследований ВСЕГИИ показало конкордантный средневзвешенный возраст монцогаббродиоритов 105.3 ± 1 млн лет, при разбросе дат от 102.3 ± 1.8 до 106.6 ± 1.7 млн лет [19].

Рудные тела месторождения представлены крутопадающими жильно-прожилковыми зонами разной мощности (1–14 м) и протяженностью до 200 метров, обычно линзовидной или плитообразной морфологии. Простирание рудных тел преимущественно субмеридиональное. Рудные жилы и прожилки сложены преимущественно кварцем, иногда с заметными количествами карбонатов, хлорита, турмалина и сульфидов. Сульфидная минерализация распределена крайне неравномерно. Количество сульфидов в рудах изменяется в широких пределах – от 5–7 до 80 %, в среднем составляя 10–15 %. Основными сульфидными минералами являются арсенопирит, пирит, халькопирит и пирротин. Гораздо реже в составе руд отмечается шеелит, молибденит, магнетит, сфалерит, галенит, блеклая руда (тетраэдрит), самородные золото и висмут, сульфотеллуриды, теллуриды и сульфиды висмута, охарактеризованные нами ранее [5, 8].

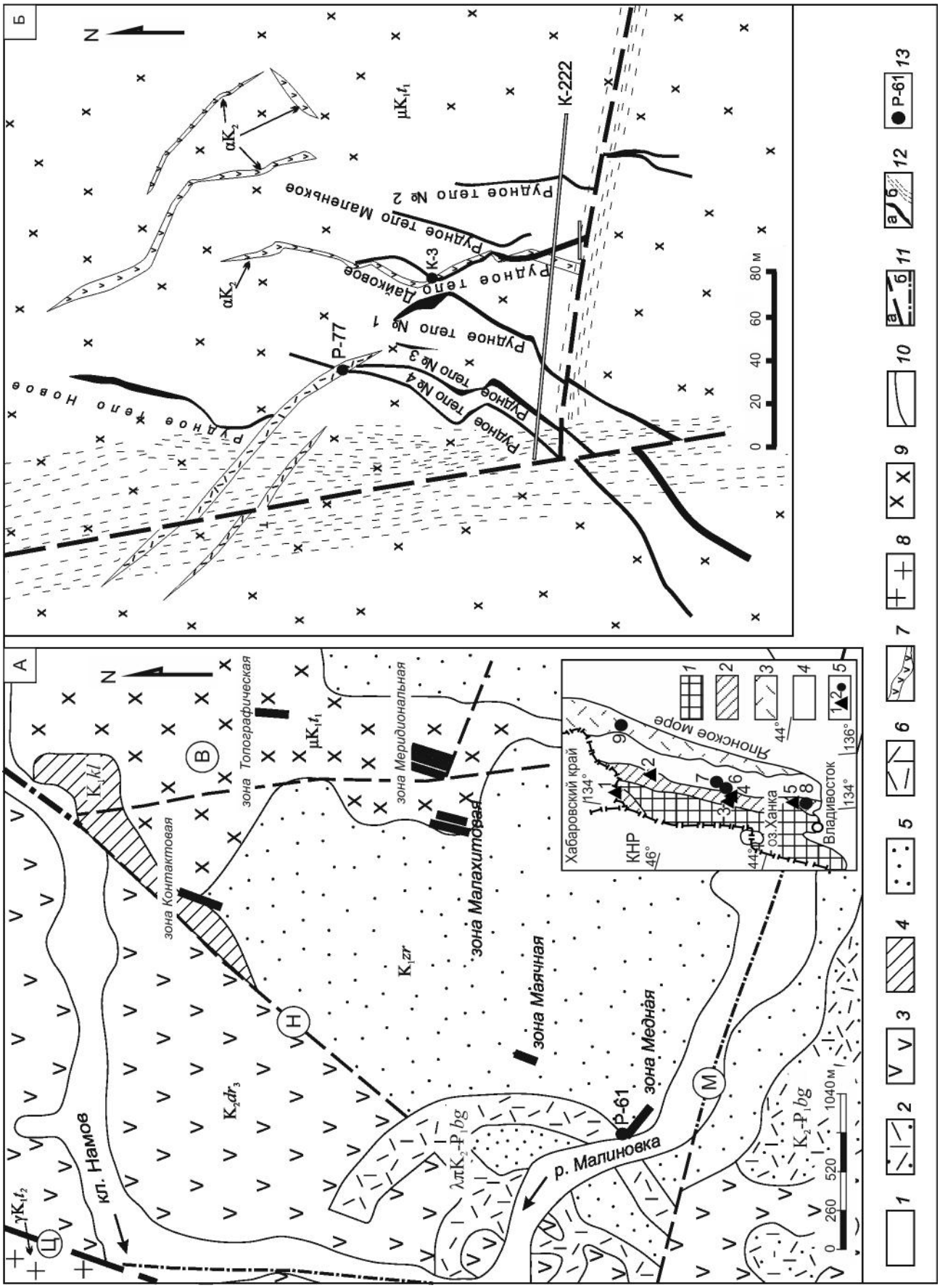
Формирование руд месторождения произошло в рамках одного рудного этапа, в составе которого выделено три продуктивные и заключительная, пострудная стадии [5, 8]. В первую стадию сформировались преимущественно прожилки сульфидно-кварцевого состава, представленные молибденит-кварцевой, шеелит-кварцевой, арсенопирит-турмалин-кварцевой и пирит-халькопирит-кварцевой минеральными ассоциациями. Арсенопирит из руд этой стадии не содержит примеси кобальта. Во вторую (главную) стадию возникли преимущественно сульфидно-карбонатно-кварцевые жилы, сложенные арсенопирит-кварцевой и пирит-халькопирит-кварцевой ассоциациями с бурнонитом, блеклыми рудами, висмутовыми минералами и самородным золотом [5]. Типоморфным признаком арсенопирита этой стадии является присутствие примеси кобальта (от долей до 8 мас. %). Руды третьей стадии представлены сульфидными (пирротин, халькопирит, сфалерит) жилами и прожилками, содержащими низкопробное (26 до 38 мас. % Ag) самородное золото. Следует отметить, что во всех рудных телах присутствует медь в концентрациях (зона Медная 1.71 %, р.т. Новое 1.29 %), пригодных для попутного извлечения [8, 9]. Пострудная стадия представлена пирит-содержащими кварц-кальцитовыми с флюоритом прожилками и брекчиями, выполняющими зоны поперечных субширотных разломов.

Рудная минерализация продуктивных стадий накладывается на ороговикованные терригенные породы, а также на монцонитоиды Водораздельного плутона (рис. 1) и дайки андезибазальтов (рис. 2, А). В то же время, нашими наблюдениями установлено пострудное положение даек интрузивных риолитов относительно пирротин-халькопиритовых руд зоны Медной (рис. 2, А) и руд второй стадии в зоне Меридиональной (рис. 1, Б) в траншее 92 по рудному телу1 этой зоны.

Такие соотношения рудных тел с магматическими телами и побудили нас сделать попытку структурного анализа их локализации с датированием пострудных даек и собственно рудных образований.

МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Структурный анализ. Исследования разрывных дислокаций были проведены с использованием методики, предложенной В.П. Уткиным [23]. Нами проведены замеры разрывных нарушений, контактов даек, рудных жил и прожилков в пределах рудных тел


Б
N
K-222
μK₁t₁
αK₂
Рудное тело Маленькое
Рудное тело № 2
Рудное тело Длинное
K-3
Рудное тело № 1
Рудное тело № 3
Рудное тело № 4
P-77
Рудное тело Новое
0 20 40 60 80 м
А
N
зона Топографическая
зона Меридиональная
зона Контактовая
зона Малахитовая
зона Маячная
зона Медная
K₁kl
K₁zr
K₂dr₃
λπK₂-P₁bg
K₂-P₁bg
γK₁t₂
кл. Намов
р. Малиновка
P-61
Хабаровский край
КНР
Японское море
оз. Ханка
Владивосток
134°
136°
44°
46°
0 260 520 1040 м
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13
P-61

(всего 1165 замеров). Полученные данные с помощью метода кластерного анализа были разделены на четыре класса: (1) разрывные нарушения (865 замеров), (2) рудные прожилки и жилы (248 замеров), (3) дайки андезибазальтов и базальтов (41 замер), (4) дайки риолитов (11 замеров). С учетом этого, для оценки роли различных геодинамических обстановок, были построены диаграммы их ориентировки в проекции на верхнюю полусферу сетки Вульфа, а также розы-диаграммы, где использовались структурные элементы с углами падения более 60°. На диаграмме ориентировки разрывов (рис. 3) отчетливо выделились три основных системы: I – рудные прожилки, жилы, трещины и зоны рассланцевания, которые нередко сопровождают рудные тела; II – разрывы близширотного простирания, пострудные карбонатные прожилки, зоны флюорит-сульфидно-кварц-карбонатных брекчий и пострудные дайки риолитов; III – разрывы северо-западного простирания и дайки порфиритов, андезитов и андезибазальтов (в том числе и оруденелые), относимые предшественниками к дорофеевскому комплексу.

Опираясь на эти данные, а также на известные методические построения и экспериментальные данные В. Риделя [41] и других исследователей [21, 44], мы попытались проследить эволюцию развития сдвиговых дислокаций на месторождении. Для этого были построены розы-диаграммы простираний для различных по возрасту и составу инъекционных структур (даек) рудно-магматической системы (рис. 4). Эти построения показывают трехэтапность формирования структуры Малиновского месторождения в условиях левосдвигового напряжения, от дорудных даек порфиритов и андезибазальтов, внедрявшихся в кулисообразные структуры растяжения, через этап формирования рудных жил в сколах Риделя, к поздним, пострудным дайкам риолитов, внедрявшимся во время формирования запад-северо-западных систем трещин отрыва. Таким образом, рудные тела Малиновского месторождения были сформированы в условиях левосдвиговых дислокаций.

Датирование интрузивных и рудных образований. Учитывая отчетливо пострудное положение риолитовых даек, нами была сделана попытка датировать одну из них. Проба была отобрана из расчистки Р-77 в верховье р. Малая Чертова Лапа (рис 1, Б). Из пробы были выделены цирконы и проанализированы U-Pb SHRIMP-II методом в аналитическом центре ВСЕГЕИ. Анализ выполнялся по стандартной методике, примененной для монцонитоидов Водораздельной интрузии ранее [19]. Средневзвешенный возраст составил 66.67 ± 0.4 млн лет (табл. 1, рис. 5). Это определяет нижний предел возраста оруденения концом мела – началом палеогена.

Для определения возраста рудного процесса проведено Re-Os датирование сульфидов (пирита и арсенопирита) месторождения в аналитическом центре ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского (г. Санкт-Петербург). Для анализа были подготовлены монофракции пирита и Co-арсенопирита второй стадии минерализации, которые были отобраны под микроскопом из тяжелой фракции проб, взятых из рудного тела №1 (рис. 6) зоны Меридиональной, основной рудной зоны месторождения. Пирит характеризуется отсутствием элементов-примесей на уровне микрозондового анализа, тогда как в арсенопирите зафиксирована примесь Co 1.39–6.98 мас. %.

Re и Os в минералах определялись методом изотопного разбавления по методике, изложенной в [2, 3]. При определении концентраций Re и Os и отношения $^{187}Re/^{188}Os$ использовался метод изотопного разбавления добавлением к навеске сульфида калибро-

---

Рис. 1. Геологические схемы месторождения Малиновского (А) и рудной зоны Меридиональной (Б).

1 – четвертичные отложения (суглинки, супеси, гальки); *2* – богопольская свита (K_2-$Ꝑ_1$ bg): туфы, туфолавы, туфопесчаники, туффиты, игнимбриты риолитов, реже дациты и лавы риолитов; *3* – дорофеевская свита, верхняя подсвита (K_2dr_3): андезиты, андезибазальты и их туфы с прослоями туфоалевролитов и туфов риолитов; *4* – ключевская свита: песчаники, алевролиты, аргиллиты их переслаивание, линзы гравелитов (K_1kl); *5* – журавлевская свита: аргиллиты, алевролиты, песчаники (K_1zr); *6* – богопольский комплекс (λπ K_2-$Ꝑ_1$bg): дайки риолитов, риодацитов; маастрихт-датский вулкано-плутонический комплекс (λ K_2-$Ꝑ_1$ m-d): риолиты; *7* – дорудные дайки андезитов, андезибазальтов (αK_2); *8-9* – татибинский комплекс (8 – вторая фаза: граниты до умеренно-щелочных лейкогранитов – γ-εlγK_1t_2; *9* – первая фаза: монцодиориты, монцогаббродиориты – μK_1t_1); *10* – геологические границы; *11* – разрывные нарушения: а) установленные, б) перекрытые аллювием; *12* – а) рудные тела, б) зоны милонитизации; *13* – расчистки и их номера (К-3 и Р-61 – место рис. 2, Р-77). В кружках буквами обозначены: Ц – Центральный Сихотэ-Алиньский разлом; Н – Намовский разлом; М – Малиновский разлом; В – Водораздельный массив габбромонцодиоритов. Геологическая схема составлена по материалам геологической карты L-53-XXVII масштаба 1:200 000 (Белянский Г.С. и др., 2013 г.).

На врезке (фрагмент схемы террейнов Сихотэ-Алиньского орогенного пояса и прилегающих территорий, по [6, 26]):

1 – Бурея-Ханкайский супертеррейн; *2* – Самаркинский террейн аккреционной призмы; *3* – Прибрежный вулканический пояс; *4* – Журавлевский террейн турбидитового бассейна – на западе и Таухинский террейн раннемеловой аккреционной призмы – на юго-востоке; *5* – рудные месторождения (а) скарновые вольфрамовые (1 – Лермонтовское, 2 – Восток-2, 3 – Скрытое, 4 – Кордонное, 5 – Беневское), б) гидротермальные золоторудные (6 – Малиновское, 7 – Глухое, 8 – Криничное, 9 – Болотистое).

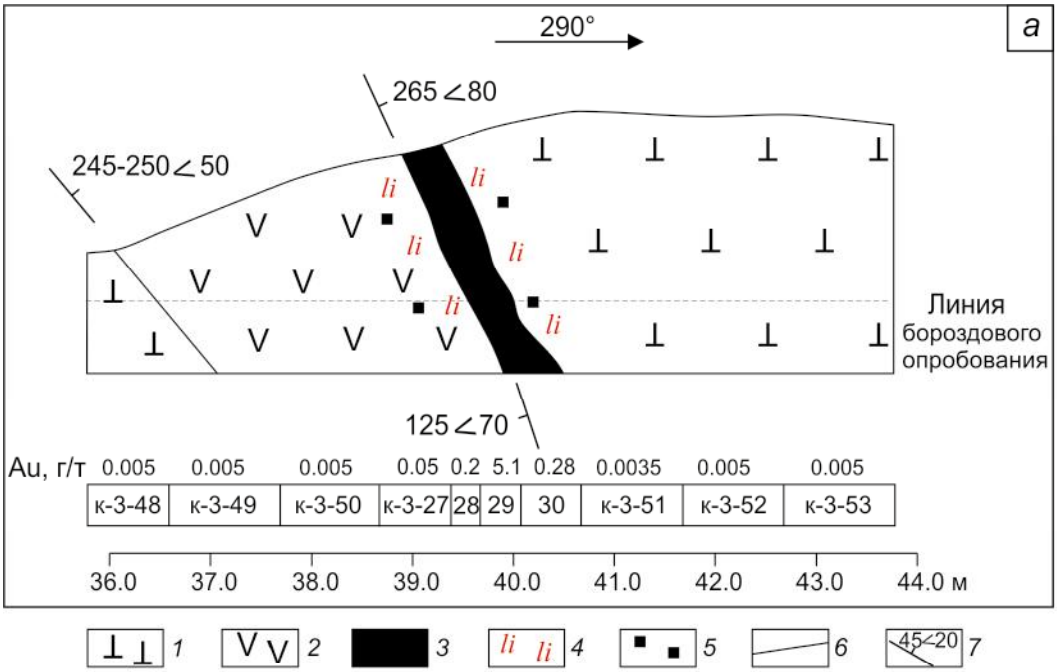


Рис. 2. Взаимоотношения оруденения с дайками дорудными (А) и пострудными (Б).

А – наложение золоторудной минерализации на дорудную дайку андезибазальтов (фрагмент канавы № 3, рудное тело Дайковое: *1* – монцодиориты; *2* – андезиты; *3* – кварц-сульфидная жила; *4* – лимонитизация; *5* – вкрапленность сульфидов; *6* – контакты пород; *7* – элементы залегания);

Б –дайка риолитов богопольской свиты ($\lambda\pi K_2$-P_1bg) сечет кварц-лимонит-халькопирит-арсенопиритовую (q-s-li) жилу рудного тела Медного, залегающего в алевролитах журавлевской свиты (K_1zr) (Расчистка Р-61).

ванного изотопного индикатора. Изотопный состав Re определялся на одноколлекторном масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой Element-2 и, а Os – на твердофазном мультиколлекторном масс-спектрометре TritonTI в отрицательно заряженных ионах. Все расчеты состава и содержания осмия и рения, а также неопределенности соответствующих величин на уровне 2 сигма, выполнялись в «офф-лайн» режиме с использованием известных формул изотопного разбавления на основе надстроек Excel. Производительность и воспроизводимость аналитической процедуры контролировались в ходе экспериментальной работы измерением международных стандартов. Расчет возрастов и построение изохроны осуществлялись с использованием программы Isoplot [40].

Изотопные составы Re и Os образцов показаны в таблице 2. Содержания рения (0.850–1.517 ppb) и осмия (0.0265–0.0587 ppb) в арсенопиритах и пиритах Малиновского месторождения различаются не сильно. В то же время арсенопириты по уровню концентрации рения оказались сопоставимы с арсенопиритом Майского месторождения Чукотки, отличаясь заметно меньшими количествами осмия [2]. Для пирита отмечена обратная картина – схожие концентрации осмия и заметно меньшие рения.

На графике (рис. 7) в координатах Re^{187}/Os^{187} и Os^{187}/Os^{188} все три точки образовали эррохрону с датой около 99 млн лет с очень большой ошибкой (± 160 млн лет), если же брать по парам минералов (пирит-арсенопирит), то такие «изохронные даты» варьируют от 96.9 ± 1.6 до 113.4 ± 2.6 млн лет. При этом все зависимости приводят к низким значениям первичных соотношений изотопов осмия (эррохрона – 0.11, пара 1 – 0.10, пара 2 – 0.085. Все расчеты сделаны по программе IZOPLOT [40]. Полученные данные соответствуют значениям изотопных соотношений осмия для верхнемантийного источника рудной минерализации [30, 38]. Этому не противоречит и изотопный состав серы пирита (+0.8 ‰) и халькопирита (-0.5 ‰) руд рассматриваемого месторождения [5].

Несмотря на отсутствие строгих изохронных зависимостей, показанные тренды позволяют все же с высокой вероятностью предполагать, что возраст сульфидной минерализации может быть оценен в интервале 102–96 млн лет, поскольку возраст рудовмещающих монцонитоидов плутона Водораздельного определен интервалом от 102.3 ± 1.8 до 106.6 ± 1.7 млн лет [19]. Полученная нами дата 66,67 млн лет для пострудных риолитов не противоречит этому.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Важной особенностью формирования Малиновского месторождения является локализация его

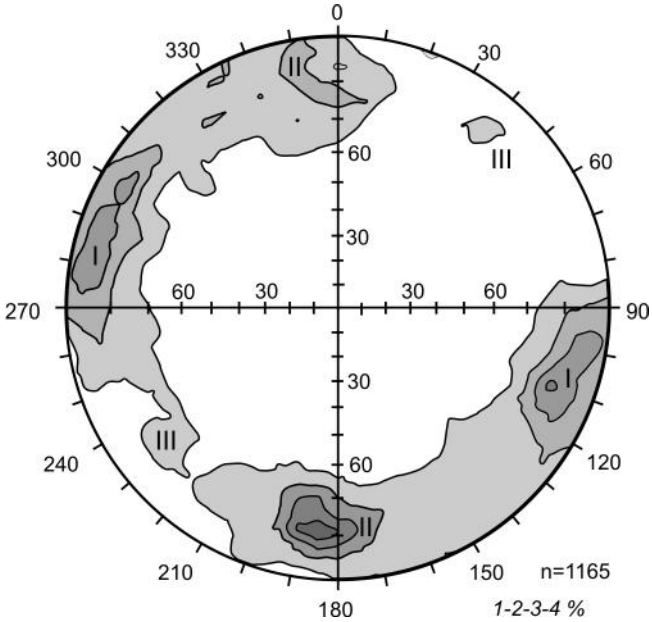


Рис. 3. Суммарная диаграмма ориентировки разрывов зоны Меридиональной.

В проекции на верхнюю полусферу сетки Вульфа изображены изолинии плотности в процентах; n = количество замеров (I–III – системы разрывов и трещин).

в пределах зоны сосдвигового растяжения, сформированной за счет левоступенчатого перекрытия несоосных левых сдвигов ЦСАС. На это указывает этапность формирования структуры Малиновского месторождения в условиях левосдвигового напряжения – от ранних даек порфиритов и андезибазальтов, внедрявшихся в кулисообразные структуры растяжения, через этап формирования рудных жил в сколах Риделя, к поздним, пострудным дайкам риолитов, внедрявшимся во время формирования запад-северо-западных систем трещин отрыва. Таким образом, рудные тела Малиновского месторождения были сформированы в условиях левосдвиговых дислокаций. Они выполняют отдельные трещины и зоны трещиноватости, оперяющие основной сдвиг. Полученные нами результаты показали, что возраст продуктивной рудной минерализации на месторождении Малиновское можно оценивать интервалом от 96 до 102 млн лет, что близко к датировкам плутона Водораздельного, вмещающего рудную минерализацию. Учитывая то, что дорудные дайки андезибазальтов прорывают породы основной фазы Водораздельного интрузива, верхняя граница оруденения вряд ли может превышать 100 млн лет, а нижняя, исходя из наших данных, оценивается в 96–93 млн лет. Из этого следует вывод, что рудовмещающие дайки измененных порфиритов, рвущие монцонито-

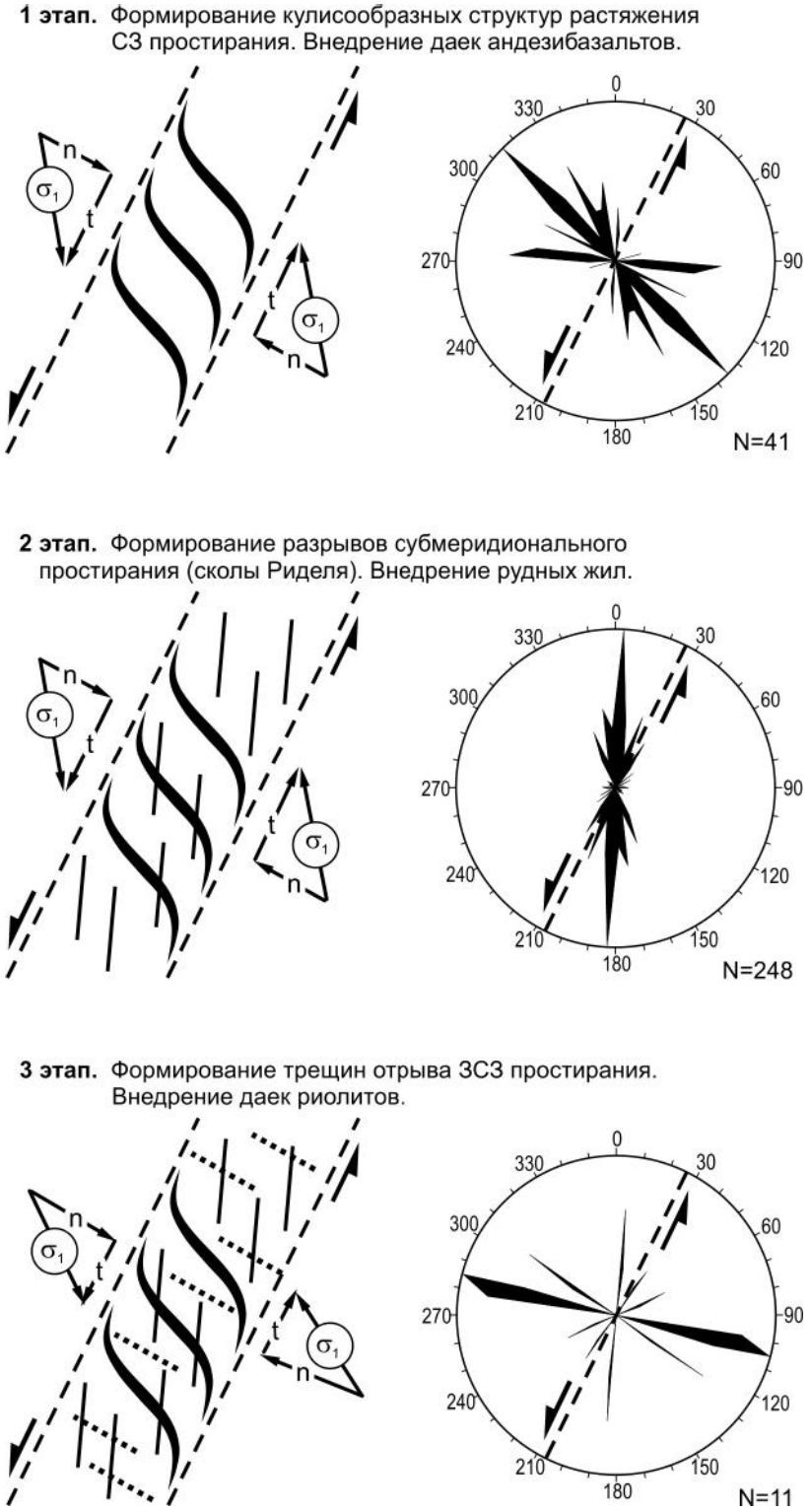


Рис. 4. Основные этапы развития инъекционных структур на площади Малиновского месторождения (зона Меридиональная).

σ1– генеральная ориентировка сжатия и ее составляющие, нормальная – n и тангенциальная (сдвиговая) – t, реализующиеся в сдвиговых зонах; пунктир – границы сдвиговой зоны; стрелки – направления смещения вдоль нее. N – количество замеров.

иды Водораздельного интрузива, вряд ли являются самостоятельными образованиями, а, скорее всего, представляют его жильную серию, внедрившуюся в той же структурной обстановке, что и сам плутон. Такая ситуация антидромного развития характерна для близко-одновозрастного магматизма Малмыжского медно-порфирового месторождения Сихотэ-Алиня [27].

Полученная нами оценка возраста золотого оруденения Малиновского месторождения оказалась максимально близкой возрасту рудопроявления Смутного, находящегося в рудном поле месторожде-

Таблица 1. Результаты U–Pb (SHRIMD-II) датирование цирконов из пострудных риолитов.

Точка анализа	$^{206}Pb_c$ %	U	Th	$^{232}Th/^{238}U$	$^{206}Pb^*$ ppm	Возраст, млн лет	Соотношение изотопов			1σ
		ppm					$^{207}Pb^*/^{206}Pb^*$	$^{207}Pb^*/^{235}U$	$^{206}Pb^*/^{238}U$	
1.1	-	1705	2586	1.57	15.1	66.16 ± 0.46	0.0453 ± 7.1	0.0644 ± 7.1	0.010316 ± 0.7	0.099
2.1	0.39	1379	1731	1.30	12.4	67.1 ± 0.49	0.0446 ± 5.1	0.0643 ± 5.2	0.010464 ± 0.73	0.142
3.1	0.95	664	471	0.73	5.93	66.02 ± 0.75	0.0406 ± 11	0.0576 ± 11	0.01029 ± 1.1	0.100
4.1	-	1487	1438	1.00	13.2	66.51 ± 0.46	0.0495 ± 3.6	0.0708 ± 3.7	0.010371 ± 0.7	0.189
5.1	0.35	1027	1147	1.15	15.9	66.27 ± 0.51	0.0472 ± 4.8	0.0672 ± 4.8	0.010333 ± 0.77	0.161
6.1	0.79	328	229	0.72	2.94	66.45 ± 0.83	0.0498 ± 8.9	0.0711 ± 8.9	0.01036 ± 1.3	0.140
7.1	0.00	816	664	0.84	7.24	66.31 ± 0.55	0.0495 ± 3.2	0.0706 ± 3.3	0.010339 ± 0.84	0.254
8.1	0.72	654	385	0.61	5.8	65.69 ± 0.65	0.0404 ± 9.2	0.057 ± 9.3	0.01024 ± 1.0	0.107
9.1	0.62	1317	1432	1.12	11.9	66.75 ± 0.57	0.0412 ± 9	0.0591 ± 9.1	0.010408 ± 0.86	0.095
10.1	0.54	2253	2025	0.93	20.5	67.52 ± 0.46	0.046 ± 4.3	0.0668 ± 4.4	0.010528 ± 0.69	0.159

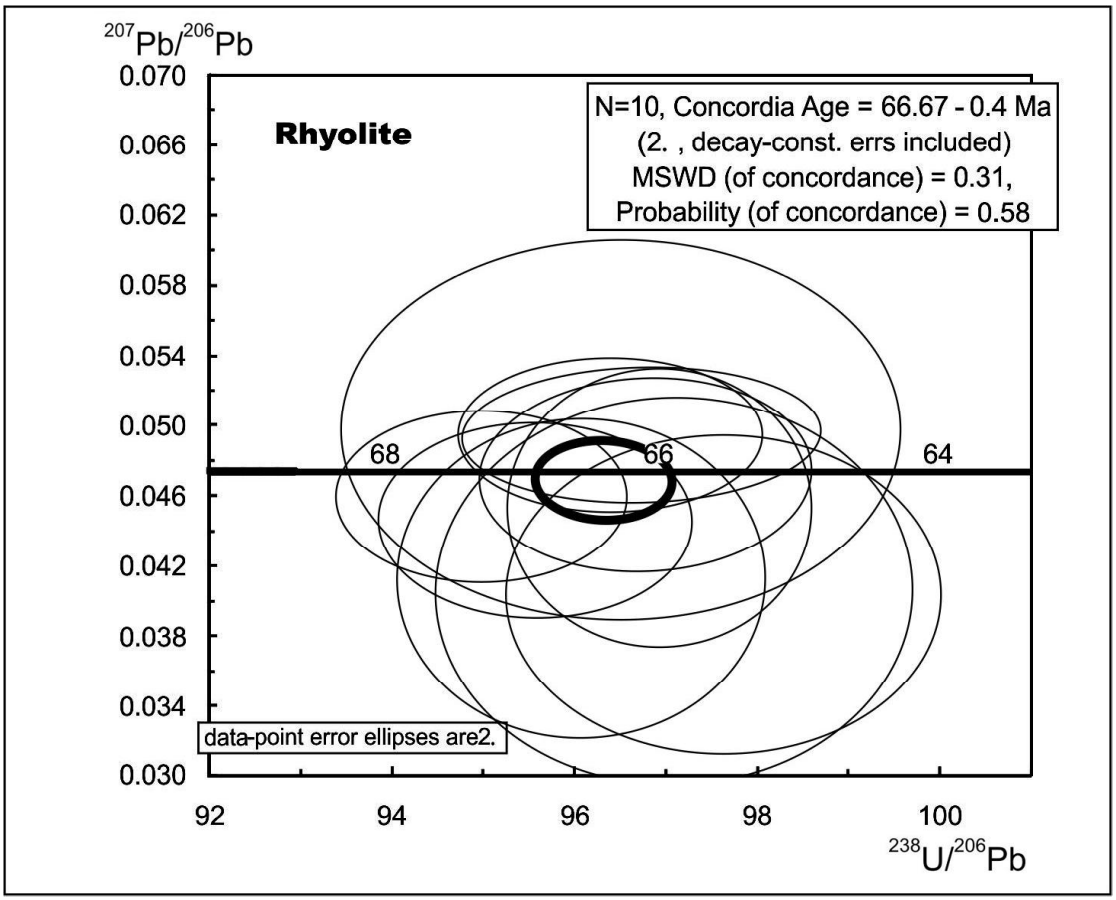


Рис. 5. Диаграмма конкордий цирконов из риолитов.

ния Порожистое, Ar-Ar датировка которого составляет 99.5 ± 0.4 млн лет [11]. Согласно П.Л. Неволину с соавторами [15], эти объекты также сформировались в условиях левосдвиговых дислокаций зоны влияния ЦСАС. Известные проявления золотого оруденения Приморской зоны, сформированные в той же геодинамической обстановке и в тесной связи с гранитоидами татибинского комплекса, по данным Rb-Sr, K-Ar и Ar-Ar методов, оказались несколько моложе (Криничное – вмещающие граниты 104–90.8 млн лет, серициты рудные – 83.9 млн лет; Аскольд – серицит рудный 82.3–84.2 млн лет) Южного Приморья

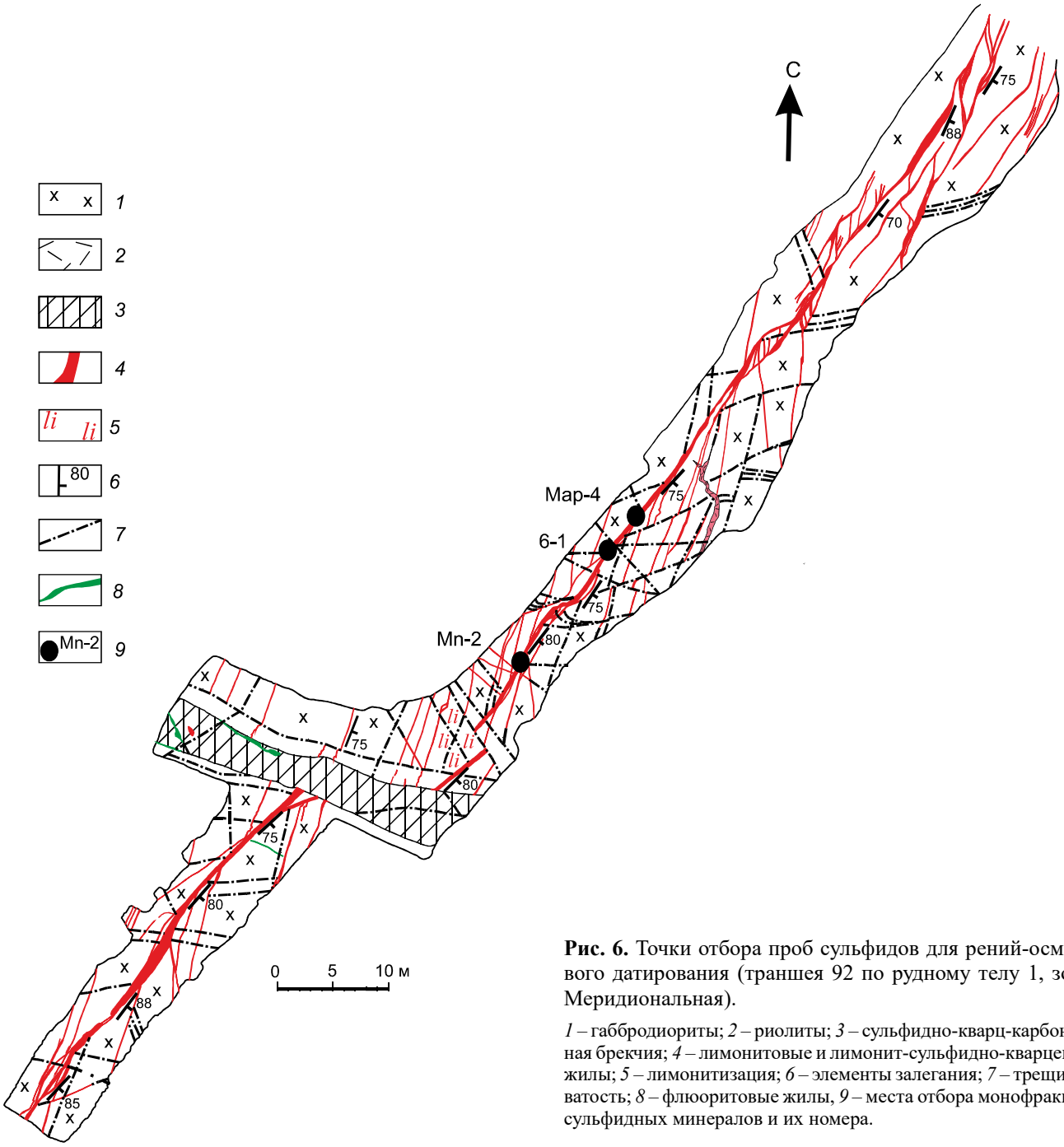


Рис. 6. Точки отбора проб сульфидов для рений-осмиевого датирования (траншея 92 по рудному телу 1, зона Меридиональная).

1 – габбродиориты; *2* – риолиты; *3* – сульфидно-кварц-карбонатная брекчия; *4* – лимонитовые и лимонит-сульфидно-кварцевые жилы; *5* – лимонитизация; *6* – элементы залегания; *7* – трещиноватость; *8* – флюоритовые жилы, *9* – места отбора монофракций сульфидных минералов и их номера.

[11, 20, 43]. Кроме того, на юге Корейского полуострова известен целый ряд мезотермальных золоторудных месторождений с датировками от 108 до 90.5 млн лет (K-Ar метод) [32], при пике в 97.8 млн лет (17 датировок). Формирование этих месторождений также тесно связано с левосдвиговыми перемещениями по крупным разломным зонам северо-восточного простирания и внедрением близкого по возрасту комплекса гранитоидов [6, 31, 32, 36, 37, 45, 46], сходных с татибинскими в Приморье.

Установленный период рудообразования на месторождении совпадает по времени со сменой геодинамической обстановки в регионе, когда альб-сеноманская обстановка трансформной окраины, существовавшая с конца апта (115–110 млн лет) [7], начала сменяться субдукционной поздний мел–палеогеновой обстановкой активной окраины континента [14, 24–27], что подтверждает ранее выполненные расчеты на основании анализа линейных палеомагнитных аномалий и поведения океанической плиты

Таблица 2. Результаты рений-осмиевого датирования пирита и арсенопирита Малиновского месторождения.

Минерал	Масса, гр	Re, ppb	Os, ppb	^{187}Re / ^{188}Os	2 σ %	^{187}Os / ^{188}Os	2 σ %	2 σ (abs)	T_{mod} Ma
Пирит Мп-2	0.18307	0.850	0.0587	70.51	0.856	0.21799	0.587	0.00128	77
Арсенопирит мар-4	0.35186	1.064	0.0265	200.25	0.644	0.42753	0.568	0.00243	90
Арсенопирит 6-1	0.49098	1.517	0.0570	158.71	0.337	0.38481	0.862		93

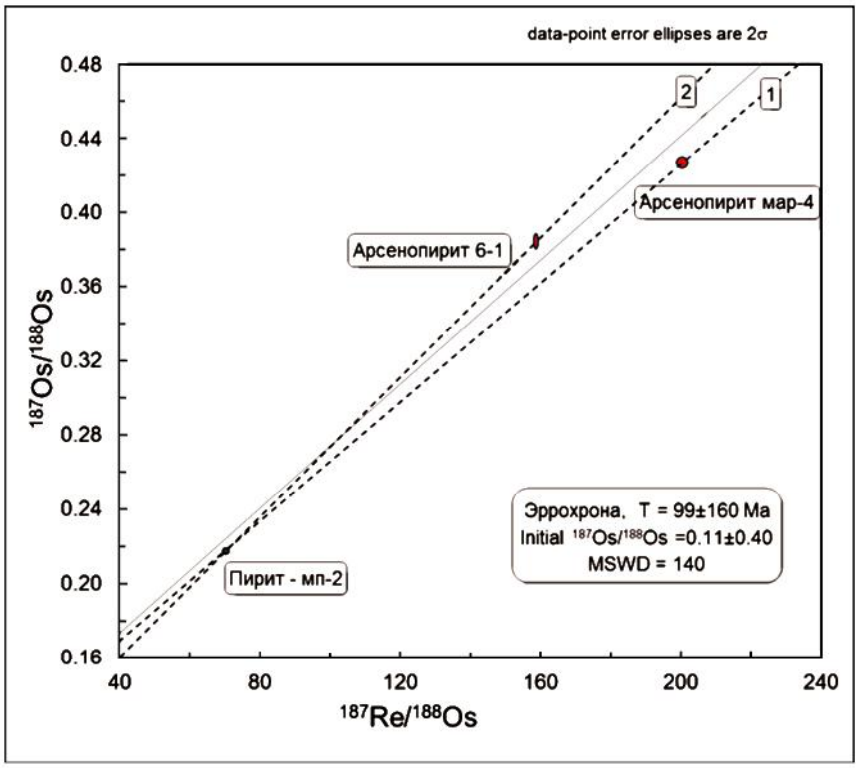


Рис. 7. Re-Os изотопные корреляции сульфидов Малиновского месторождения. Параметры оценки возраста, определенные по парам минералов.

линия 1 – для арсенопирита (мар-4) – пирита (мп-2), оценка возраста составляет 96.9 ± 1.6 млн лет при оценке первичного $Os^{187/188}$ = 0.1041 ± 0.0030 и линия 2 – для арсенопирита (6-1) – пирита (мп-2), оценка возраста составляет 113.4 ± 2.6 млн лет при первичном отношении $Os^{187/188}$ = 0.0846 ± 0.0041

Изанаги относительно горячих точек для мелового времени [33]. Эта смена геодинамических обстановок произошла в сантоне (около 85 млн лет назад) [7, 24, 26]. Данный процесс сопровождался сменой регионального поля напряжений в конце сеномана, что зафиксировано в трехэтапном формировании структуры рудных зон, изученного нами месторождения. На этом фоне происходило поступление рудоносных растворов, связанных с мантийными магматическими производными геодинамической обстановки трансформной континентальной окраины. Об этом свидетельствует существенно медный профиль возникающей золоторудной минерализации [8, 27], а также изотопный состав серы пирита и халькопирита [5] и оцененные в нашей статье мантийные первичные отношения изотопов осмия сульфидов главной продуктивной стадии Малиновского месторождения. На существенную роль мантийных источников указывают и петролого-геохимические исследования раннемелового монцонитоидного магматизма [12, 13], представителем которого является рудоносный Водораздельный плутон. В пользу этого свидетельствует и широкое распространение турмалина в золотых рудах Малиновского месторождения, сближающее их с известными золото-турмалиновыми объектами Монголо-Охотского пояса [5], возникшими также в условиях тектогенеза трансформной (границ скольжения плит) окраины континента

[25, 34]. Следует еще отметить, что одновозрастные (102–99 млн лет) медно-золоторудные месторождения прилегающей части провинции Хэйлунцзян (КНР) также имеют мантийные осмиевые метки для рудных пиритов [39], фиксируя обширность ареала влияния данной геодинамической обстановки на металлогенический профиль региона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализируя полученные результаты в сопоставлении с материалами по другим месторождениям Сихотэ-Алиньского орогенного пояса Дальнего Востока России, можно сделать следующие выводы.

(1) Формирование Малиновского золоторудного месторождения проходило в близком интервале времени с другими рудно-магматическими системами татибинской магматической серии ЦСАС (медно-порфировые месторождения – Лазурное, Малмыж, месторождения вольфрама – Восток-2 [1, 12–14, 16, 17, 27].

(2) Период рудообразования приходится на стадию завершения альб-сеноманского орогенеза в условиях обстановки орогенного режима трансформного сдвига, существовавшего вдоль восточноазиатской континентальной окраины [6, 25–28]. Это послужило благоприятным фактором для формирования рудоподводящих каналов и, как следствие, – для поступления обогащенных медью, благороднометальных флюидов [9].

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны члену-корреспонденту РАН В.Г. Сахно и члену-корреспонденту РАН В.В. Акинину за помощь в получении изотопно-геохронологических данных и проведении их интерпретации. У истоков данной работы стояли безвременно ушедшие наши коллеги Виталий Иванович Гвоздев и Александр Станиславович Вах, во многом способствовавшие исследованию Малиновского месторождения и нашему пониманию этого объекта.

Работа выполнена в рамках программы Дальний Восток, проект 18-2-001.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аленичева А.А., Сахно В.Г., Салтыкова Т.Е. U-Pb и Rb-Sr изотопное датирование гранитоидов Татибинской серии плутонического пояса Сихотэ-Алиня // Докл. АН. 2008. Т. 420, № 1. С. 70–75.
2. Артемьев Д.С., Крымский Р.Ш., Беляцкий Б.В., Ашихмин Д.С. Возраст оруденения Майского золоторудного месторождения (Центральная Чукотка): результаты Re-Os изотопного датирования // Зап. Горн. ин-та. 2020. Т. 243. С. 266–278.
3. Бушмин С.А., Беляцкий Б.В., Крымский Р.Ш., Глебовицкий В.А., Буйко А.К., Савва Е.В., Сергеев С.А. Изохронный Re-Os – возраст золота жильного золото-кварцевого месторождения Майское (Северная Карелия, Балтийский щит // Докл. АН. 2013. Т. 448, № 1. С. 76–79.
4. Гвоздев В.И. Рудно-магматические системы скарновых шеелит-сульфидных месторождений востока России. Владивосток: Дальнаука, 2010. 338 с.
5. Гвоздев В.И., Доброшевский К.Н., Вах А.С., Горячев Н.А., Степанов В.А., Федосеев Д.Г. Малиновское месторождение – новый тип золоторудной минерализации в Приморском крае, Россия (геология, минералогия, генезис) // Тихоокеан. геология. 2016. Т. 35, № 1. С. 37–53.
6. Голозубов В.В. Тектоника юрских и нижнемеловых комплексов северо-западного обрамления Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2006. 239 с.
7. Диденко А.Н., Ханчук А.И. Смена геодинамических обстановок в зоне перехода Тихий океан - Евразия в конце раннего мела // Докл. АН. 2019. Т. 487, № 4. С. 405–408. DOI: 10.1134/S1028334X19080026.
8. Доброшевский К.Н., Гвоздев В.И., Шлыков С.А., Степанов В.А., Федосеев Д.Г. Вещественный состав и геохимические особенности руд Малиновского золоторудного месторождения (Приморский край Россия) // Тихоокеан. геология. 2017. Т. 36, № 5. С. 59–74.
9. Доброшевский К.Н. Геологическая позиция и минералого-геохимические особенности Малиновского золоторудного месторождения (Центральное Приморье): Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Владивосток, 2019. 30 с.
10. Иванов Б.А. Центральный Сихотэ-Алинский разлом. Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 1972. 116 с.
11. Иванов В.В., Лейер П. Возраст и типы золотой и золото-серебряной минерализации в гранитоидах южного Приморья // Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северной Пацифики: Материалы Всерос. конф. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1997. С. 104–106.
12. Крук Н.Н., Симаненко В.П., Гвоздев В.И., Голозубов В.В., Ковач В.П., Серов П.А., Холоднов В.В., Москаленко Е.Ю., Кубийда М.Л. Геохимические особенности расплавов раннемеловых гранитоидов Самаркинского террейна (Сихотэ-Алинь) // Геология и геофизика. 2014. Т. 55, № 2. С. 276–302.
13. Крук Н.Н., Гвоздев В.И., Орехов А.А., Крук Е.А., Касаткин С.А., Голозубов В.В., Руднев С.Н., Шого Аоки, Чуйоши Комия, Ковач В.П., Серов П.А. Раннемеловые гранитоиды и монцонитоиды Южной части Журавлевского террейна (Сихотэ-Алинь): геохимические особенности и источники расплавов // Тихоокеан. геология. 2019. Т. 38, № 3. С. 30–49.
14. Мартынов А.Ю., Голозубов В.В., Мартынов Ю.А., Касаткин С.А. Восточно-Сихотэ-Алинский позднемеловой вулканический пояс: переход от субдукции к скольжениям литосферных плит, структурно-геологические, петрологические и изотопногеохимические аспекты // Геология и геофизика. 2019. Т. 60, № 6. С. 789–806.
15. Неволин П.Л., Иванов В.В., Коваленко С.В., Митрохин А.Н. Геодинамика формирования структуры Сергеевского блока кристаллических пород и контроль золотого оруденения (Южный Сихотэ-Алинь) // Рудные месторождения континентальных окраин. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 91–112.

16. Родионов С.М. Металлогения олова Дальнего Востока России. М.: Наука, 2005. 327 с.
17. Сахно В.Г., Коваленко С.В., Аленичева А.А. Монцонитоидный магматизм медно-порфирового месторождения: геохронология по результатам U-Pb и K-Ar датирование и особенности генезиса рудоносных магм по данным изотопно-геохимических исследований (Приморье, Россия) // Докл. АН. 2011. Т. 438, № 1. С. 82–90.
18. Сахно В.Г., Гвоздев В.И., Аленичева А.А., Прасолов Э.М., Зарубина Н.В. Гранитоидный магматизм вольфрамовых рудно-магматических систем Лермонтовская и Восток-2: U-Pb - (SHRIMP) – датирование, изотопная характеристика (3He/4He) руд. // Докл. АН. 2012. Т. 443, № 1. С. 84–91.
19. Сахно В.Г., Степанов В.А., Гвоздев В.И., Доброшевский К.Н. Малиновская золоторудная магматическая система Центрального Сихотэ-Алиня: геохронология, петрогеохимический состав и изотопная характеристика магматических комплексов (Приморье, Россия) // Докл. АН. 2013. Т. 452, № 1. С. 1–8.
20. Саядян Г.Р., Гоневчук В.Г., Герасимов Н.С., Хомич В.Г. Геологические и изотопногеохимические обоснования возраста и последовательности формирования магматических образований Криничного золоторудного поля // Минералого-геохимические индикаторы рудоносности и петрогенезиса. Владивосток: Дальнаука, 1996. С. 93–105.
21. Стоянов С.С. Механизм формирования разрывных зон. М.: Наука, I977. 144 с.
22. Углова Н.И., Рязанцева М.Д. Государственная геологическая карта Российской федерации. 1: 1 000 000. Лист L-(52),53; (K-52, 53) (оз. Ханка), Карта полезных ископаемых. СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2011. (2 листа).
23. Уткин В.П. Сдвиговые дислокации и методика их изучения. М.: Наука, 1980. 144 с.
24. Ханчук А.И., Панченко И.В., Кемкин И.В. Геодинамическая эволюция Сихотэ-Алиня и Сахалина в палеозое и мезозое. Владивосток: ДВО РАН, 1988. 56 с.
25. Ханчук А.И. Палеогеодинамический анализ формирования рудных месторождений Дальнего Востока России // Рудные месторождения континентальных окраин. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 5–34.
26. Ханчук А.И. (ред.) Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.; кн. 2. С. 573–989.
27. Ханчук А.И., Иванов В.В., Игнатьев Е.К., Коваленко С.В., Семенова Д.В. Альб-сеноманский гранитоидный магматизм и медный рудогенез Сихотэ-Алиня // Докл. АН. 2019. Т. 488, № 3. С. 298–302.
28. Ханчук А.И., Гребенников А.В., Иванов В.В. Альб-сеноманский окраинно-континентальный орогенный пояс и магматическая провинция Тихоокеанской Азии // Тихоокеан. геология. 2019. Т. 38, № 3. С. 4–29. DOI 10.1134/S1819714019030035.
29. Эйриш Л.В. Металлогения золота Приморья (Приморский край, Россия). Хабаровск, 2003. С. 148.
30. Carlson R.W. Application of the Pt-Re-Os isotopic systems to mantle geochemistry and geochronology // Lithos. 2005.V. 82. Iss. 3–4. P. 249–272. DOI:10.1016/j.lithos.2004.08.003.
31. Choi S.G., Pak S.J., Ryu I.C., Oh C.W., Kim S.W. Mesozoic precious-metal mineralization and geodynamic environments in Korea // Metallogeny of the Pacific Nortwest: Tectonics, magmatism and metallogeny of active continental margins: Proc. Interim IAGOD Conf., Vladivostok, Russia: 1–20 September, 2004. Vladivostok: Dalnauka, 2004. P. 89–92
32. Choi Seon-Gyu, Kwon Sung-Tack, Ree Jin-Han, So Chil-Sup, Pak Sang Joon. Origin of Mesozoic gold mineralization in South Korea // The Island Arc. 2005. V. 14. P. 102–114
33. Engebretson D., Cox A., Gordon R.G. Relative motions between oceanic and continental plates in the northern Pacific basin // Spec. Pap. Geol. Soc. Am., 1985. V. 206. P. 1–59.
34. Goryachev N.A., Borisenko A.S., Vakh A.S., Dril S.I., Gvozdev V.I., Efremov S.V., Spiridonov A.M., Grebennikova A.S., Drobyshevsky K.N. Gold mineralization of large suture zones (on the example of the Mongolo-Okhotsk and Sikhote-Alin Orogenic Belts, Southeast Russia) // ASEAN Geosciences and Earth Resources for Sustainable Development: 15th Regional Congress on Geology, Mineral and Energy Resources of Southeast Asia, 16–17 October 2018 / Abstracts. Hanoi-GEOSEA, 2018. P. 367–368.
35. Jahn Bor-ming, Valui Galina, Kruk Nikolai, Gonevchuk V., Usuki Masako, Wu Jeremy T.J. Emplacement ages, geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic characterization of Mesozoic to Early Cenozoic granitoids of the Sikhote-Alin orogenic belt, Russian Far East: Crustal growth and regional tectonic evolution // J. Asian Earth Sci. 2015. P. 1–47.
36. Jwa Yong-Joo. Temporal, spatial and geochemical discriminations of granitoids in South Korea // Resource Geol. 1998. V. 48, N 4. P. 273–284.
37. Koh Sang-Mo, Ryoo Chung-Ryul, Song Min-Sub. Mineralization characteristics and structural controls of hydrothermal deposits in the Gyeongsang Basin, South Korea // Resource Geol. 2003. V. 53, N 3. P. 175–192.
38. Lambert, D.D.; Foster, J.G.; Frick, L.R. Re-Os isotopic systematics of the Voisey's Bay Ni-Cu-Co magmatic ore system, Labrador, Canada // Lithos. 1999. V. 47. P. 69–88.
39. Li Shun-Da, Wang Zhi-Gao, Wang Ke-Yong, Cai Wen-Yan, Peng Da-Wei, Xiao Li, Li Jie. Re–Os pyrite geochronological evidence of three mineralization styles within the Jinchang Gold Deposit, Yanji–Dongning Metallogenic Belt, Northeast China // Minerals. 2018. V. 8. P. 448-465; doi:10.3390/min8100448
40. Ludwig K.R. User's manual for Isoplot 3.70. Berkeley Geochronology Center Spec. Publ., 2008. N. 4. 77 p.
41. Riedel W. Zur Mekanik geologisher Brucheinungen // Cent. Miner. Geol. Paleontol. B. 1929. V. 1929. P. 123–145.
42. Sato Kohei, Rodionov Sergei M., Brublevsky Anatoly A. Lermontovskoe tungsten skarn deposit: the oldest mineralization in the Sikhote-Alin Orogen, Far East Russia // Resource Geol. 2006. V. 56, N 3. P. 257–266.
43. Sayadyan G.R. Geology, magmatism, and gold mineralization of South Primorye (The Askold strike-slip fault zone, Sergeevka terrane / A.I. Khanchuk, G.A. Gonevchuk, R. Seltman (Eds.). Metallogeny of the Pacific Northwest (Russian Far East): Tectonics, magmatism and metallogeny of active continental margins. Excursion Guidebook. Vladivostok: Dalnauka Publ. House, 2004. P. 137–146.
44. Sylvester A.G. Strike-slip faults // Geol. Soc. Am. Bull. 1988. V. 100. P. 1666–1703.
45. Uchida E., Choi S.-Gyu, Baba Da., Wakisaka Yu. Petrogenesis and solidification depth of the Jurassic Daebo and Cretaceous

Bulguksa granitic rocks in South Korea // Resource Geol. V. 62, N 3. P. 281–295.
46. Yoo Bong Chul, White Noel C. Mineralogy, fluid inclusion and stable isotope constraints on the genesis of the Namseong Au-Ag deposit, Republic of Korea // Geochem. J. 2013. V. 47. P. 285–307.

Рекомендована к печати В.В. Акининым
после доработки 16.12.2020 г.
принята к печати 22.01.2021 г.

K.N. Dobroshevsky, N.A. Goryachev

On the age and geodynamic factors of the formation of gold mineralization at the Malinovka deposit

An interpretation of the first obtained Re-Os dating of pyrite and arsenopyrite of the Malinovsky gold ore deposit is given. A comparison of the obtained data and the known dates of the ore-bearing granitoids of the ore field made it possible to determine the age of mineralization at 100-90 Ma. This age corresponds to the time of completion of the Alb-Cenomanian transform margin of Asia continent geodynamic setting with significant left-shear kinematics, as indicated in the article by the structural features of the localization of ore bodies and magmatic bodies. The distribution of gold ore deposits in this time within the Sikhote-Alin orogenic belt and in the shear structures of the south of the Korean Peninsula are noticeably shown.

Key words: **Re-Os dating, pyrite, arsenopyrite, Albian-Cenomanian gold deposits, Sikhote-Alin.**