

ВОЗРАСТНЫЕ РУБЕЖИ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И МАГМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ ВЕРХОЯНО-КОЛЫМСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ

А.В. Прокопьев¹, А.С. Борисенко^{2,3}, Г.Н. Гамянин¹, В.Ю. Фридовский¹,
Л.А. Кондратьева¹, Г.С. Анисимова¹, В.А. Трунилина¹, Е.А. Васюкова², А.И. Иванов¹,
А.В. Травин², О.В. Королева¹, Д.А. Васильев¹, А.В. Пономарчук^{2,3}

¹Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677980, Якутск, просп. Ленина, 39, Россия

²Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия

³Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия

Представлены результаты изотопно-геохронологического исследования ряда рудных месторождений и проявлений и рудоконтролирующих плутонов и даек Верхояно-Колымской складчатой области. На основе новых 21 ⁴⁰Ar/³⁹Ar и четырех U-Pb датировок слюды и цирконов соответственно впервые установлено время формирования ключевых рудных объектов Восточной Якутии. Проведена корреляция тектономагматических и геодинамических событий и рудогенеза. Предложена новая систематизация металлогенических единиц. Предполагается, что формирование изученных месторождений юго-восточной части Верхояно-Черского орогенного пояса, тяготеющих к зоне Адыча-Тарынского разлома, происходило на заключительных этапах коллизии Сибирского (Северо-Азиатского) кратона и Колымо-Омолонского микроконтинента (месторождение Купольное, ранний рудогенез месторождения Малотарынского ~143—144 млн лет) на рубеже юры и мела и, вероятно, на ранних стадиях коллапса Верхояно-Черского орогена (месторождения Таллалах и Дора-Пиль, второй импульс рудогенеза на Малотарынском месторождении ~126 млн лет) в конце раннего мела. Эти месторождения входят в состав позднеюрско-раннемелового Яно-Колымского металлогенического пояса. Образование месторождений Кючус (~106 млн лет), Депутатского рудного узла (~106—113 млн лет) и, возможно, Хотойдох (~116 млн лет) на севере Верхояно-Колымской складчатой области связано с влиянием аккреционно-коллизивных процессов формирования Новосибирско-Чукотского орогенного пояса в середине мела, и они могут быть объединены в Северо-Верхоянский металлогенический пояс. Мангазейский рудный узел (~100 млн лет), расположенный на юго-западном окончании Северо-Тирехтяхского поперечного магматического пояса, развитие которого происходило на рубеже раннего и позднего мела, выделяется нами в составе Западно-Верхоянского металлогенического пояса. Месторождения Южного Верхоянья (Нежданинское, Задержнинское, Курумское и Кутинское) (~125—120 и ~100—95 млн лет) предлагается объединить в Верхояно-Охотский металлогенический пояс, его формирование связано с аккреционно-коллизивными процессами вдоль Восточно-Азиатской активной континентальной окраины и образованием Южно-Верхоянского орогенного пояса во второй половине раннего мела.

Металлогения, месторождения, золото, серебро, олово, ⁴⁰Ar/³⁹Ar и U-Pb геохронология, Верхояно-Колымская складчатая область

AGE CONSTRAINTS AND TECTONIC SETTINGS OF METALLOGENIC AND MAGMATIC EVENTS IN THE VERKHUYANSK-KOLYMA FOLDED AREA

A.V. Prokopiev, A.S. Borisenko, G.N. Gamyarin, V.Yu. Fridovsky, L.A. Kondrat'eva, G.S. Anisimova,
V.A. Trunilina, E.A. Vasyukova, A.I. Ivanov, A.V. Travin, O.V. Koroleva, D.A. Vasiliev, and A.V. Ponomarchuk

The paper presents new isotope geochronological data for several mineral deposits, ore occurrences, and related igneous bodies (plutons and dikes) in the Verkhoyansk-Kolyma folded area, eastern Yakutia. Twenty-one ⁴⁰Ar/³⁹Ar mica and four U-Pb zircon dates provide the first age constraints on key metallogenic units in the area. The dating results allow correlation between tectonic, magmatic, and metallogenic events. The sampled mineral deposits within the Adycha-Taryn fault zone in the southeastern Verkhoyansk-Chersky orogen apparently formed at the Jurassic-Cretaceous boundary during the final phase of the collision between the Siberian (North Asian) craton and the Kolyma-Omolon microcontinent (Kupol'noe deposit and the early metallogenic pulse of the Malotarynskoe deposit, ~143–144 Ma) and in the latest Early Cretaceous, in the beginning of the orogen collapse (Tallalakh and Dora-Pil' deposits and the Malotarynskoe late metallogenic pulse, ~126 Ma). According to the suggested new classification of metallogenic units, these deposits belong to the Late Jurassic-Early Cretaceous Yana-Kolyma metallogenic belt. The Kyuchus deposit (~106 Ma), the Deputatsky ore cluster (~106–113 Ma), and the Khotoidokh deposit (~116 Ma) in the northern Verkhoyansk-Kolyma folded

area belong to the North Verkhoyansk metallogenic belt. Their origin was associated with accretional and collisional processes that produced the Novosibirsk–Chukchi orogen in the middle Cretaceous. The Mangazeya ore cluster (~100 Ma, Early–Late Cretaceous boundary) in the southwestern end of the North Terekhtyakh magmatic transverse belt belongs to the West Verkhoyansk metallogenic belt. The Nezhdaninskoe, Zaderzhnoe, Kurum, and Kuta deposits of the South Verkhoyansk area (~125–120 and ~100–95 Ma) can be joined into a single Verkhoyansk–Okhotsk metallogenic belt. The belt resulted from accretion and collision along the East Asian active continental margin and the related formation of the South Verkhoyansk orogen in the Early Cretaceous.

Metallogeny, mineral deposit, gold, silver, tin, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and U–Pb geochronology, Verkhoyansk–Kolyma folded area

ВВЕДЕНИЕ

Формирование Верхояно-Колымской складчатой области (ВКСО) в позднеюрско-раннемеловое время произошло под влиянием двух главных сближенных во времени геодинамических событий: коллизии окраины Сибирского (Северо-Азиатского кратона) с Колымо-Омолонским микроконтинентом (супертеррейном) на севере и субдукционными и аккреционными процессами, происходившими вдоль Восточно-Азиатской активной континентальной окраины на юге. В результате этих событий образовались Верхояно-Черский орогенный пояс в центральной части и на севере ВКСО и Южно-Верхоянский на юге [Прокопьев, 1998; Прокопьев и др., 2006а]. Структуры северного фланга ВКСО были осложнены аккреционно-коллизийными процессами закрытия Южно-Ануйского океана, формированием одноименной сутуры и Новосибирско-Чукотского орогенного пояса на рубеже раннего и позднего мела.

Основные рудные месторождения ВКСО были сформированы в позднем мезозое. Они были отнесены к ряду разновозрастных металлогенических поясов, зон и рудных районов с разной рудной специализацией, приуроченных к тектоническим структурам, образование которых связано с различными геодинамическими событиями [Parfenov et al., 1999; Тектоника..., 2001; Metallogenesis..., 2010]. Тем не менее остался ряд нерешенных проблем, таких как отсутствие данных о возрасте рудных тел при комплексном характере руд и конвергенции признаков месторождений разных типов и малочисленность прецизионных датировок рудоконтролирующих магматических образований, что не позволяет однозначно относить некоторые объекты к тому или иному металлогеническому поясу, проводить корреляции и металлогенические построения.

Установление возраста благороднометалльного и оловянного оруденений, а также магматических пород (даек, плутонов), с которыми ассоциируют месторождения, современными изотопными методами необходимо для выяснения их генезиса, интерпретации положения в схеме металлогенических поясов ВКСО, разработки прогнозно-поисковых критериев для месторождений подобного типа на северо-востоке России. В последние годы появились публикации, в которых приведены $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возрастные датировки месторождений восточной части ВКСО и Чукотки (например, [Goryachev, Pirajno, 2014; Voroshin et al., 2014]). Однако для западной части ВКСО в настоящее время имеются лишь многочисленные противоречивые K–Ar и Rb–Sr изотопные датировки магматических пород [Ненашев, Зайцев, 1980] и редкие определения возраста плутонов и даек $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ и U–Pb методами [Layer et al., 2001; Прокопьев и др., 2003, 2007, 2008, 2010; Акинин и др., 2009; Бахарев и др., 2011; Чернышев и др., 2012]. Возраст рудных тел определен для единичных месторождений и рудопоявлений. В настоящей статье представлены результаты исследований, частично восполняющие этот пробел. Получены и проинтерпретированы новые данные изотопно-геохимического датирования $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом слюд рудных объектов (рудноносных метасоматитов и кварцевых жил), U–Pb и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методами цирконов и слюд магматических пород, определено время формирования ряда эталонных месторождений: золоторудных (Ключус, Малотарыньское, Задержнинское, Дора-Пиль, Таллалах, Нежданский рудный район и Дыбинский рудный узел), серебряных (Купольное и Хотойдох, Мангазейский рудный узел), оловорудных (Кутинское и Депутатский рудный узел) (рис. 1). Проведена корреляция тектономагматических и геодинамических событий и рудогенеза, выделены крупные разновозрастные металлогенические пояса с различной рудной специализацией, образование которых связано с разными геодинамическими процессами позднемезозойского времени.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗУЧЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ ИЗУЧЕННЫХ ОБРАЗЦОВ

Северная часть Верхояно-Черского орогенного пояса

На северном фланге Верхояно-Черского орогенного пояса известны позднемезозойские месторождения и рудопоявления, из которых одними из крупнейших являются Au–Sb–Hg месторождение

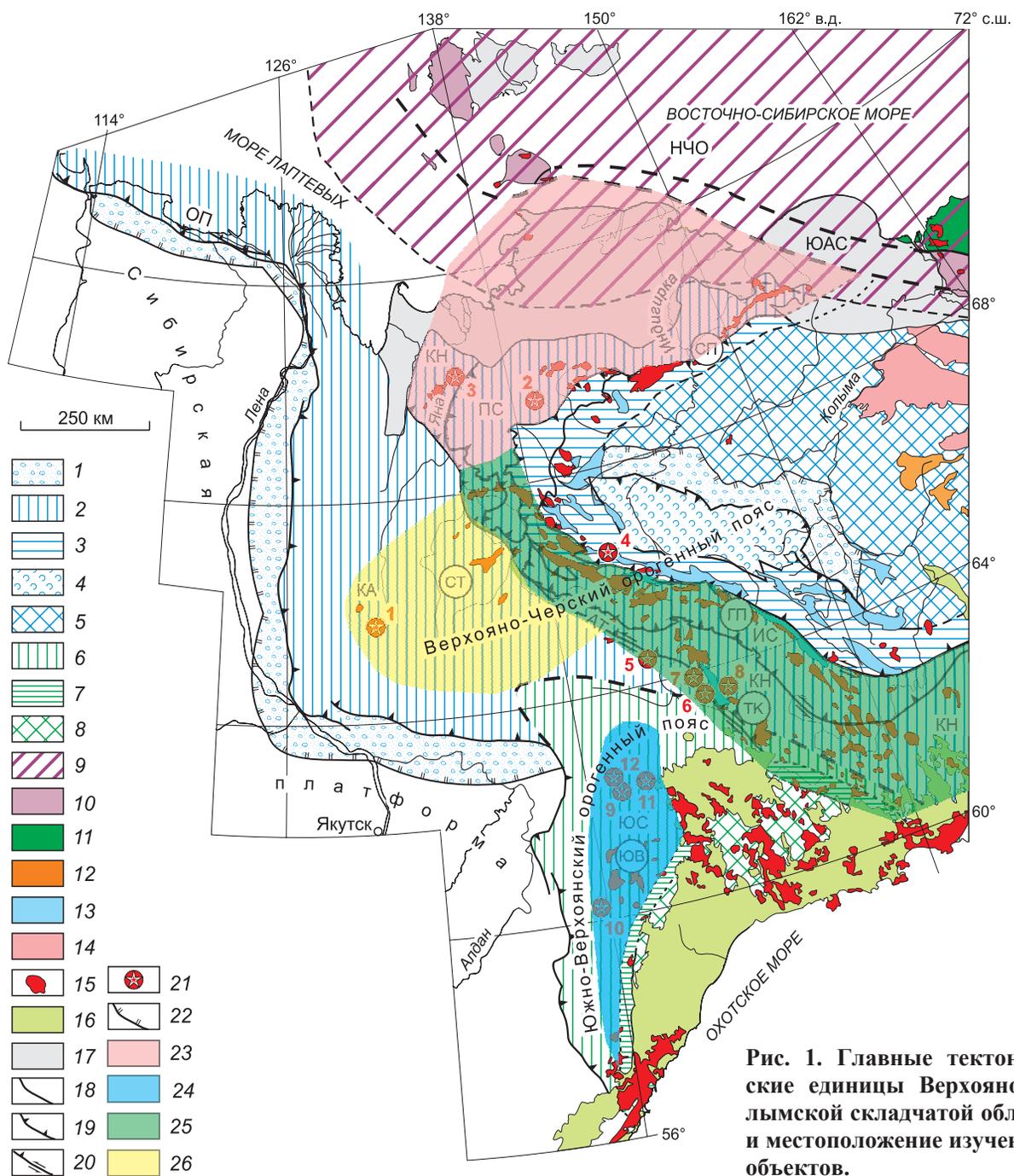


Рис. 1. Главные тектонические единицы Верхояно-Колымской складчатой области и местоположение изученных объектов.

1—5 — Верхояно-Черский орогенный пояс: 1, 2 — передовая зона: 1 — Приверхоянский краевой прогиб, 2 — Западно-Верхоянский сектор Верхоянского складчато-надвигового пояса, 3 — внутренняя зона, 4, 5 — тыловая зона: 4 — Илин-Тасский прогиб, 5 — Колымо-Омолонский супертеррейн (микроконтинент); 6—8 — Южно-Верхоянский орогенный пояс: 6 — передовая зона (Южно-Верхоянский сектор Верхоянского складчато-надвигового пояса), 7 — внутренняя зона, 8 — тыловая зона (Охотский террейн); 9—11 — Новосибирско-Чукотский орогенный пояс (НЧО): 9 — предполагаемые контуры орогенного пояса, 10 — Южно-Анхойский, Шалауровский и Ляховский террейны, 11 — Чукотский террейн; 12—16 — основные магматические пояса: 12 — Северо-Охотский (средний палеозой), 13 — Уяндина-Ясачненский (поздняя юра), 14 — Олойский (поздняя юра—ранний мел), 15 — пояса гранитоидов (поздняя юра—мел) (СП — Северный, ГП — Главный, ТК — Тас-Кыстабытский, ЮВ — Южно-Верхоянский, СТ — Северо-Тирехтяхский), 16 — фрагменты Удско-Мургальского и Охотско-Чукотского поясов (поздняя юра—мел); 17 — кайнозойские отложения; 18 — разломы; 19 — надвиги; 20 — взбросовдвиги (АТ — Адыча-Тарьинский); 21 — местоположение изученных месторождений и рудопроявлений (1 — Мангазейское, 2 — Депутатское, 3 — Кючус, 4 — Хотойдох, 5 — Таллалах, 6 — Дора-Пиль, 7 — Малотарьинское, 8 — Купольное, 9 — Нежданниковское, 10 — Задержнинское, 11 — Кутинское, 12 — Дыбинский рудный узел); 22 — границы осадочных бассейнов; 23—26 — металлогенические пояса: 23 — Северо-Верхоянский, 24 — Верхояно-Охотский, 25 — Яно-Колымский, 26 — Западно-Верхоянский.

Аббревиатура: КА — Куранахский антиклинорий, ПС — Полуосный синклиний, ИС — Иньяли-Дебинский синклиний, ЮС — Южно-Верхоянский синклиний, КН — Кулар-Нерский террейн, ОП — Оленекский складчатый пояс, ЮАС — Южно-Анхойская сутура. Штриховые линии — предполагаемые границы крупных тектонических структур.

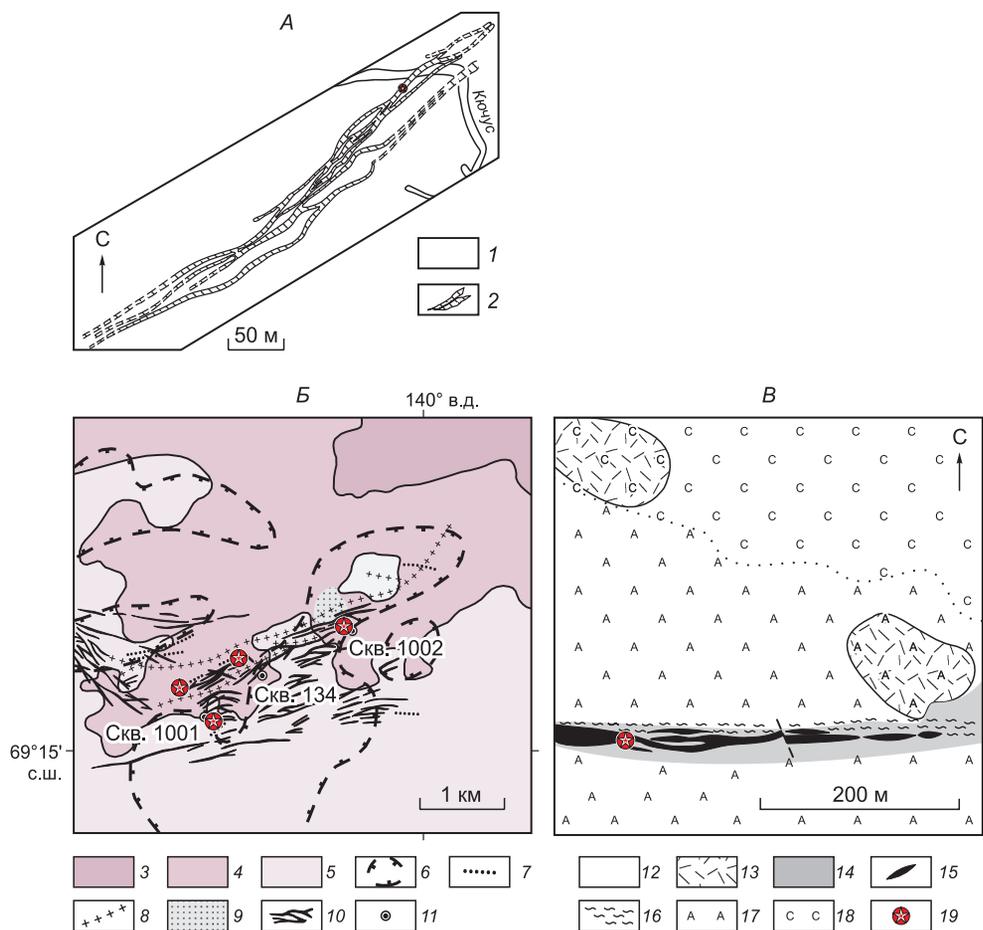


Рис. 2. Геологические схемы месторождений северной части Верхояно-Черского орогенного пояса (по [Тектоника..., 2001], с изменениями):

A — главные минерализованные зоны Au-Sb-Hg месторождения Кючус; *B* — Депутатское касситерит-силикатно-сульфидное месторождение; *B* — Ag-колчеданно-полиметаллическое месторождение Хотойдох. 1, 2 — месторождение Кючус: 1 — среднетриасовые отложения, 2 — минерализованные зоны; 3—11 — месторождение Депутатское: отложения: 3 — келловей—оксфорд, 4 — кимеридж, 5 — нижний титон, 6 — контуры нескрытого Депутатского гранитного плутона по геофизическим данным, 7 — дайки лампрофиров, диабазов, андезитов, 8 — дайки риолит-порфиров, 9 — кварц-мусковит-турмалиновые экзогрейзены, 10 — оловоносные рудные тела, 11 — структурные скважины; 12—18 — месторождение Хотойдох: 12 — песчано-сланцевые породы юры, 13 — субвулканические тела риолитов, 14 — кварц-серицитовые метасоматиты, 15 — рудные тела, 16 — зона тектонитов, 17 — кварц-альбит-хлоритовые пропилиты, 18 — карбонат-хлоритовые пропилиты; 19 — местоположение исследованных образцов.

Кючус и Sn месторождение Депутатское, локализованные в пределах северного фланга Кулар-Нерского террейна и на юге Полоусного синклинория соответственно.

Au-Sb-Hg **вкрапленное месторождение Кючус** располагается на северо-западе Кулар-Нерского сланцевого пояса (террейна) в хинтерланде Верхоянского складчато-надвигового пояса в зоне влияния регионального Янского разлома [Москвитин, 1997; Волков, 1998; Берзон и др., 1999] (см. рис. 1, 2, *a*). Рудовмещающие породы — интенсивно кливажированные среднетриасовые терригенные отложения. Месторождение представлено несколькими сближенными субпараллельными минерализованными зонами (см. рис. 2, *a*) мощностью до 15 м, прослеживаемыми на 3.8 км, которые под углом 30—60° секут слоистость вмещающих пород [Тектоника..., 2001]. На месторождении наблюдаются джаспероиды, березиты и аргиллизиты. Джаспероиды содержат кварц-антимонитовые жилы. Концентрации золота в пирите 60—70 г/т и в арсенопирите 400—500 г/т. Аргиллизиты образуют внешнюю зону гидротермального изменения пород и формируют штокверки. С жильными минералами ассоциируют самородная ртуть, киноварь, метациннабарит, реальгар и аурипигмент. В антимонит-кварцевых жилах встречается самородное золото, амальгама золота с 24 % Hg, тетраэдрит, швацит, джемсонит, халькостибит, бурнонит [Москвитин и др., 1997]. Рудоносные метасоматиты характеризуются контрастными геохимическими аномалиями Au, Ag, As, Sb, Hg и Tl. Средние содержания Au на месторождении Кючус 8.59—9.04 г/т

[Волков, 1998]. Возраст слюды из серицит-карбонат-кварцевых метасоматитов по данным Rb-Sr датирования оценивается в 206–214 млн лет, а K-Ag датировки варьируют от 134 до 190 млн лет [Берзон и др., 1999]. Из рудоносных метасоматитов минерализованной зоны была отобрана проба мусковита (обр. К-3) (см. рис. 2, а).

Sn Депутатский рудный узел является одним из крупнейших в России оловорудных объектов. Он расположен на севере ВКСО, в южной части Полоусного синклинория (см. рис. 1). Район сложен верхнеюрскими терригенными отложениями, которые прорваны невскрытым гранитным плутоном, а также многочисленными дайками диоритовых порфириров, риолит-порфириров, диабазов и лампрофириров [Некрасов, 1962; Флеров и др., 1971; Флеров, 1976; Индолев, 1979; Трунилина и др., 1996; Борисенко и др., 1997; Тектоника..., 2001; Иванов, 2012] (см. рис. 2, б). Плутон вскрыт тремя скважинами и сложен биотитовыми гранитами, которые по геохимическим особенностям близки к редкометалльным гранитам [Федотов, 1994]. Их возраст кристаллизации по данным Rb-Sr датирования оценивался в 125–115 млн лет, а время остывания — в 94–70 млн лет [Ненашев, Зайцев, 1980; Трунилина и др., 2003]. В пределах месторождения известны дайки риолит-порфириров с K-Ag возрастом 108–95 млн лет, лампрофириров, датированных этим же методом, в 104 млн лет и диабазовых порфириров. Предполагалось присутствие догранитных даек диоритовых порфириров [Некрасов, 1962; Трунилина и др., 1996, 2003]. Оруденение Депутатского рудного узла полиформационное и сформировано в три последовательных этапа рудообразования. Оруденение раннего этапа развито на глубоких горизонтах оловорудного поля и представлено слабооловоносными эндо- и экзогрейзенами золото-редкометалльной формации. В надинтрузивной зоне плутона расположены рудные тела уникального по запасам месторождения касситерит-силикатно-сульфидной формации, сформированные в течение среднего, оловорудного, этапа развития единого рудно-магматического комплекса. Имеются K-Ag датировки кварц-мусковитовых экзогрейзенов (~115 млн лет) [Ненашев, Зайцев, 1980] и кварц-турмалин-сульфидных жил оловосульфидного этапа (<104 млн лет, K-Ag [Флеров и др., 1971]). На периферии оловорудного поля расположены мелкие (Булатское, Эвенское и др.) месторождения серебро-сурьмяной формации позднего этапа. Для выяснения причин возникновения такого крупного по масштабу, комплексного по составу руд и многоэтапного по времени формирования рудного узла весьма важно установление общей последовательности развития процессов магматизма и рудообразования и их возрастная корреляция [Павлова и др., 2009].

В пределах рудного узла в керне скважин были опробованы мелкозернистые граниты Депутатского невскрытого плутона (обр. 1002-465.8), слабооловоносные кварц-турмалин-сульфидные жилы в гранитах Депутатского плутона (обр. 1001-698.6) и кварц-мусковитовые эндогрейзены (обр. 1001-272). Для последующего датирования были выделены слюды из березитизированных (обр. Д-1039а-2, Д-1039а) и неизмененных (обр. ФД-7-2) даек лампрофириров (см. рис. 2, б).

Центральная часть Верхояно-Черского орогенного пояса

Ag-колчеданно-полиметаллическое месторождение Хотойдох локализовано в поле развития вулканитов Уяндына-Ясачненской дуги в центральной части Верхояно-Черского орогенного пояса [Бычок, Попов, 1975; Гамянин, 1978; Данилов и др., 1990; Шпикерман, 1998; Тектоника..., 2001]. Здесь распространены верхнеюрские сланцы, переслаивающиеся с туфами, туфопесчаниками, андезитами, игнибритами и лавами риолитов и риодацитов. Породы смяты в синклиналичную складку субширотного простирания, северное крыло которой вмещает оруденение, и прорваны двумя небольшими телами субвулканических риолитов (см. рис. 1, 2, в). Вулканогенно-осадочные породы пропилитизированы [Гамянин, 1978]. Месторождение приурочено к зоне разлома субширотного простирания. Рудное тело залегает в подошве пласта риолитов и представляет собой линзовидную кварц-барит-колчеданную залежь протяженностью до 400 м и мощностью до 12 м, оконтуренную кварц-серицит-пиритовыми метасоматитами. Основной минерал-носитель Ag — галенит (до 3500 г/т). Присутствуют также самородные серебро и золото, матильдит и андорит. Сереброносность руд месторождения относительно равномерная, средние содержания Ag 150–200 г/т. Содержания Au достигают 12 г/т, в среднем 1–2 г/т [Тектоника..., 2001].

Из зоны кварц-серицитовых метасоматитов между двумя сближенными кварц-барит-сульфидными рудными телами мощностью 2–3 м для последующего датирования был выделен серицит (фракция 0.25–0.5 мм) (обр. 45-Г-73) (см. рис. 2, в).

Юго-восточная часть Верхояно-Черского орогенного пояса

На востоке Верхоянского складчато-надвигового пояса локализованы золото-кварцевые месторождения. Здесь наряду с секущими жилами широко распространены субсогласные, секущие и межпластовые золото-кварцевые тела и минерализованные зоны дробления. Наиболее характерными месторождениями являются Таллалах, Дора-Пиль и Малотарыньское, локализованные в зоне влияния регионального

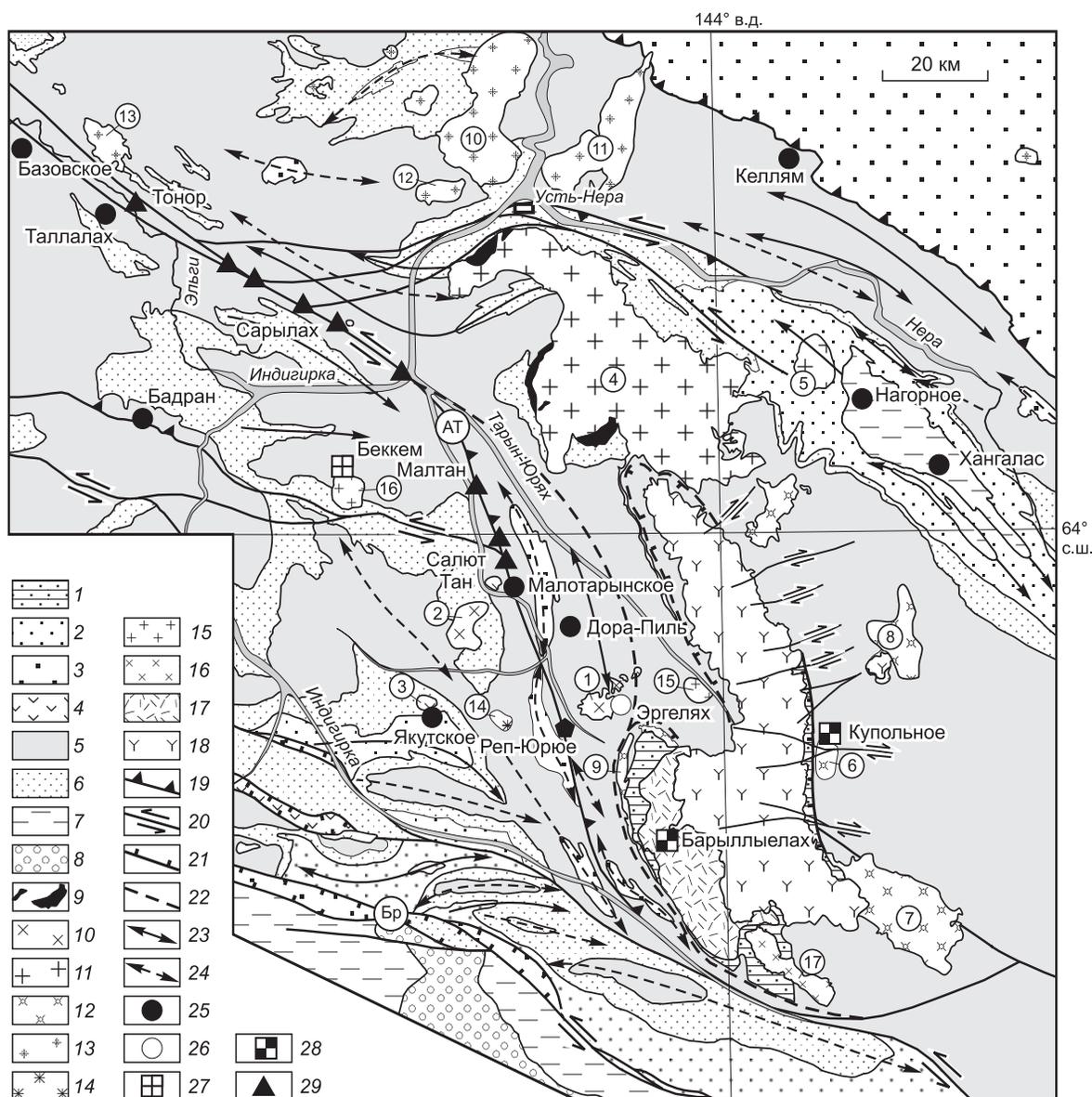


Рис. 3. Местоположение месторождений Таллалах, Дора-Пиль, Малотарынское и Купольное на юго-восточном фланге Верхояно-Черского орогенного пояса.

1—8 — отложения: 1 — верхнеюрские вулканогенно-осадочные, 2 — среднеюрские, 3 — нижнесреднеюрские, 4 — нижнеюрские вулканогенно-осадочные, 5 — норий-рэтские, 6 — карнийские, 7 — верхнепермско-среднетриасовые, 8 — пермские; 9—16 — плутоны: 9 — диориты Нельканского плутона, 10 — гранодиорит-граниты (1 — Эргеляхский, 2 — Курдатский, 3 — Якутский), 11 — адамеллит-граниты (4 — Нельканский, 5 — Ала-Чубук), 12 — диорит-гранодиориты (6 — Труд, Капризный, 7 — Одонканский, 8 — Чингаканский, 9 — Булгунахский), 13 — гранит-лейкогранитные плутоны (10 — Левоиндигирский, 11 — Усть-Нерский, 12 — Эбир-Хаинский, 13 — Тонор-Арангасский), 14 — гранодиориты (14 — Чуруктинский), 15 — адамеллиты (15 — Барыллыелахский, 16 — Беккемский), 16 — гранодиорит-порфиры (17 — Куранах-Салинский); 17, 18 — Тарынский субвулкан: (17 — риолиты, 18 — дациты); 19 — надвиги; 20 — сдвиги и взбрососдвиги (АТ — Адыча-Тарынский, Бр — Брюнгадинский); 21 — сбросы; 22 — прочие разломы; 23 — антиклинали; 24 — синклинали; 25—29 — месторождения: 25 — золото-кварцевые, 26 — золоторедкометалльные, 27 — касситерит-силикатные, 28 — касситерит-серебросульфидные, 29 — золото-сурьмяные.

Адыча-Тарынского разлома. Восточнее протягивается Тас-Кыстабытский магматический пояс северо-западного простирания, представленный позднемезозойскими гранитными плутонами, а также риолитами и дацитами Тарынского субвулкана. Одним из наиболее значимых рудных объектов здесь является Sn-Ag-сульфидное месторождение Купольное (см. рис. 1, 3).

Аu-кварцевое месторождение Таллалах расположено в верхнетриасовых терригенных толщах на северном крыле крупной антиклинали северо-западного простирания (см. рис. 1, 3) и представлено согласной жиллой, из которой было добыто около 1500 кг золота. Более мелкие межпластовые жилы

линзовидной формы располагаются в оперяющих структурах Центрального взбросовдвиг, представляющего собой мощную минерализованную зону дробления и смятия. Внутри зоны развит интенсивный будинач и брекчирование рудовмещающих пород, подверженных хлоритизации, серицитизации и карбонатизации. Насыщенные кварцевыми прожилками породы содержат метакристаллы пирита и арсенопирита. В жилах массивного и полосчатого кварца присутствуют вкрапления галенита, халькопирита, тетраэдрита, буланжерита, бурнонита и самородного Au пробностью 900—950 ‰ [Тектоника..., 2001].

Образец серицита (обр. Тал 3-3) был отобран из вкрапленных чешуйчатых скоплений (до 0.5 см) в центральной части межпластовой кварцевой жилы.

Ау-кварцевое месторождение Дора-Пиль локализовано в триасовых терригенных отложениях (см. рис. 1, 3). Тектонические структуры месторождения были образованы главным образом в процессе надвигообразования раннего этапа деформаций [Третьяков, 2009]. Рудные тела представлены межпластовыми кварцевыми жилами (около 30) северо-западного простирания протяженностью до 200 м, которые многократно смещены на несколько метров вдоль разрывных нарушений [Рожков и др., 1971]. Мощность жил не превышает 0.5—0.7 м. Выделяется ряд минеральных ассоциаций: пирит-серицит-кварцевая метасоматическая, пирит-арсенопирит-кварцевая жильная, халькопирит-сфалерит-галенитовая и сульфосолено-карбонатная. Наиболее продуктивной является халькопирит-сфалерит-галенитовая ассоциация [Фридовский и др., 2012]. Золото средней крупности (0.25—1.00 мм), но высокой пробыности (920—960 ‰) [Тектоника..., 2001].

Образец серицита (обр. М-27) был отобран из кварцевого прожилка мощностью 3 см с вкрапленностью арсенопирита. Слюда мелкая (меньше 0.5 мм), локализуется между зернами кварца в приальбандовых частях и образует скопления размером до 0.4 см.

Ау-кварцевое месторождение Малотарыньское расположено в поле развития терригенных толщ верхнего триаса (см. рис. 1, 3). Рудные тела мощностью до первых десятков метров представлены крутопадающими зонами дробления север-северо-западного простирания, приуроченными к зонам взбросов. Установлено, что структура месторождения была сформирована в несколько этапов. Проявлен последовательный временной ряд типов минерализации: золото-висмутовый, малосульфидный золото-кварцевый, бертьерит-антимонитовый и серебро-сурьмяный [Фридовский и др., 2015].

Образец серицита (обр. МТ-3) был отобран из зоны дробления мощностью около 1 м, насыщенной тонкими до 1 см толщиной кварцевыми прожилками. Серицит мелкий (<0.25 мм) располагается между зернами стебельчатого или шестоватого кварца. Второй образец серицита был выделен из кварцевой жилы в минерализованной зоне дробления участка Голубичный на северо-западном фланге месторождения, содержащей минералы продуктивной золото-халькопирит-сфалерит-галенитовой ассоциации (обр. Г-53-16).

Sn-Ag-сульфидное месторождение Купольное расположено в зоне экзоконтакта гранитоидных плутонов Труд и Капризный на восточном фланге Тас-Кыстабытского магматического пояса. Вмещающими породами являются интенсивно деформированные верхнетриасовые и нижнесреднеюрские терригенные отложения Кулар-Нерского сланцевого пояса (террейна) (см. рис. 1, 3). Оруденение приурочено в основном к разломам северо-восточного простирания. Рудные тела представлены минерализованными зонами дробления, линзовидными жилами, штокверками и линейными зонами вкрапленных руд. Отдельные рудные зоны достигают протяженности до 1300 м при мощности 1—20 м. Серебросодержащие минералы — фрейбергит, Ag-, Ag-Pb, Sn-Ag-Sb сульфосоли [Тектоника..., 2001].

Из рудоносных кварц-серицитовых метасоматитов по гранитоидам из керна скв. № 17 с глубины 125 м был отобран серицит (крупная фракция до +0.5 мм) (обр. 17-125).

Центральная часть Верхоянского складчато-надвигового пояса

В центральной части Верхоянского складчато-надвигового пояса (Куранахский антиклинорий) располагается крупный серебрянорудный район. Вмещающими породами являются обломочные отложения карбона и перми, которые образуют простые крупные складки меридионального простирания.

Ag-Sb Мангазейский рудный узел является одним из крупнейших в России и содержит ряд рудных залежей, образующих несколько прерывистых цепочек в ядре и на крыльях Эндыбальской антиклинали, сложенной верхнекаменноугольно-пермскими терригенными отложениями [Индолев, Невоиса, 1974; Третьяков и др., 2008] (см. рис. 1, 4). Характерны межпластовые крутопадающие (40—80°) жильные тела, невыдержанные по падению и простиранию, с раздувами и пережимами, выклинивающиеся либо разветвляющиеся на серии сближенных прожилков. Мощность их колеблется от десятков сантиметров до 2.0—2.5 м в раздувах, длина изменяется от первых метров и десятков метров до 700—1000 м. Отмечаются раздувы жильных тел мощностью до 25—30 м. Другим типом рудных тел являются минерализованные зоны дробления и серии сближенных жил [Костин и др., 1997а]. В пределах рудного узла вмещающие породы прорваны Эндыбальским плутоном гранит-порфиров и серией даек

Рис. 4. Геологическая схема Мангазейского рудно-го узла (по [Третьяков и др., 2008], с упрощениями и изменениями).

Отложения: 1 — четвертичные; 2 — нижнетриасовые; верхнепермские (свиты): 3 — дулгалахская, 4 — деленжинская, 5 — тумаринская; нижнепермские (свиты): 6 — хабахская, 7 — эчийская, 8 — хорокытская, 9 — верхняя подсвита кыгылтасской свиты; каменноугольно-нижнепермские: 10 — нижняя подсвита кыгылтасской свиты; 11 — магматические образования мелового возраста: а — плагиигранодиорит-порфиры, б — дайки гранодиорит-порфиров, в — дайки долеритов; 12 — месторождения; 13 — разрывные нарушения (Н — зона Ньюктаминского разлома); 14 — местоположение изученных образцов.

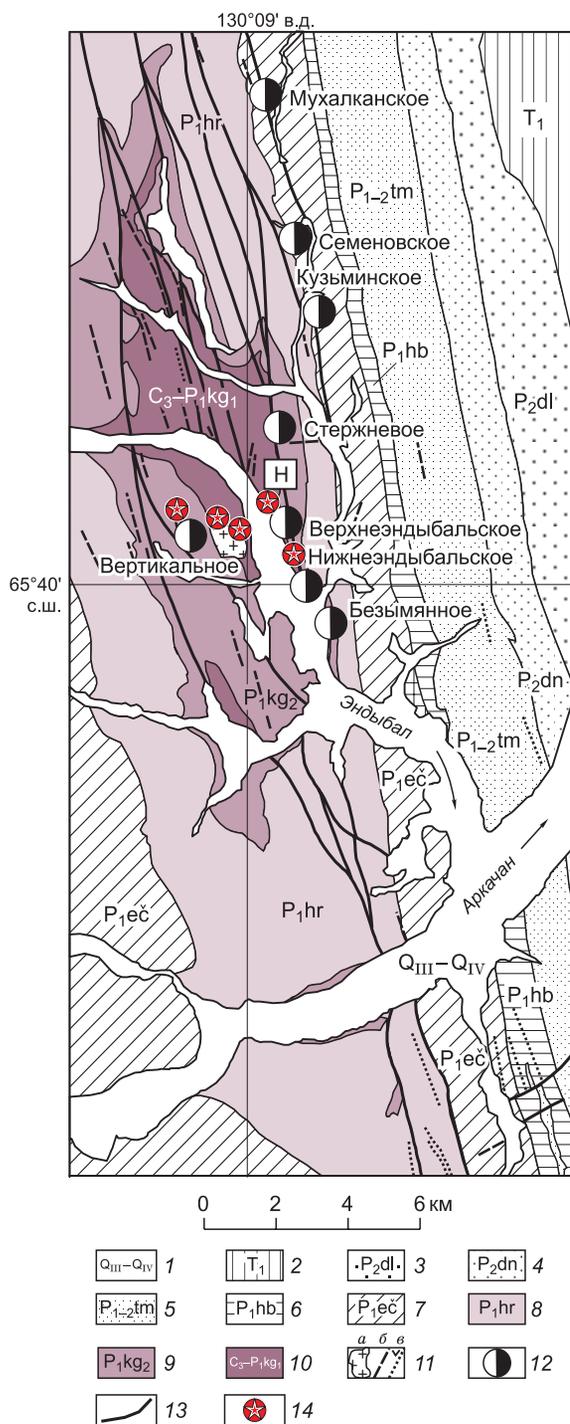
гранит-порфиров и лампрофиров, относящихся к юго-западному отрезку Северо-Тирехтахского поперечного магматического пояса. Содержание Ag в рудах от 500 до 2500 г/т [Костин и др., 19976].

Были отобраны образцы из гранит-порфиров Эндыбальского плутона (обр. 07АП93) и двух даек такого же состава (обр. 07АП101 и 07АП145), а также выделен серицит (49–50 %, крупная из фракции +0.5 мм) из кварцевой жилы (30 см) с золото-висмутовым оруденением в грейзенах Эндыбальского плутона (обр. Тр-241141) и рудоносного метасоматита (обр. 07АП92) (см. рис. 4).

Южно-Верхоянский орогенный пояс

В пределах Южно-Верхоянского орогенного пояса в Аллах-Юньской тектонической зоне (Южно-Верхоянский синклиниорий) локализована серия золото-серебряных, золото-редкометалльных и серебро- и олово-полиметаллических месторождений. Наиболее характерными являются Нежданинское, Задержнинское, рудопроявления Дыбинского рудного узла и Кутинское, залегающие в интенсивно деформированных позднепалеозойско-раннемезозойских терригенных толщах. Складчатые структуры характеризуются широкими пологими сводами. На севере тектонической зоны существенное значение приобретают сдвиги северо-восточного простирания с амплитудой горизонтального перемещения до 10 км, вертикального — до 1 км. Магматические образования представлены крупными плутонами (Тарбаганнахский, Уэмяхский и др.), также штоками, дайками и субвулканическими телами.

Au-Ag-кварцевый Нежданинский рудный район. В его пределах находится одно из самых крупных месторождений золота северо-востока России — Нежданинское. Оно расположено в своде Дыбинской антиклинали и приурочено к зоне пересечения четырех систем разрывных нарушений: субмеридиональной Кидерикинской, северо-восточной Сунтарской, северо-западной Сетаньинской и субширотной Тыринской [Третьяков, Прокопьев, 2014]. На северо-восточном фланге месторождения расположен позднемеловой Курумский гранодиоритовый плутон (~95 млн лет, циркон, U-Pb SHRIMP [Бахарев и др., 2011] и ID-TIMS [Чернышев и др., 2012] и биотит, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ [Layer et al., 2001]). Южнее локализована гельдинская группа штоков, сложенных диоритами и кварцевыми диоритами возрастом ~93–95 млн лет цирконы, U-Pb SHRIMP [Бахарев и др., 2011] и Rb-Sr [Чернышев и др., 2012]; в пределах месторождения присутствуют дайки габбро-диоритов и лампрофиров. Последние имеют возраст 121 ± 1 млн лет (цирконы, U-Pb ID-TIMS, Rb-Sr [Чернышев и др., 2012]) (рис. 1; 5, А). Субмеридиональная система нарушений вмещает главные минерализованные зоны дробления, а диагональные системы



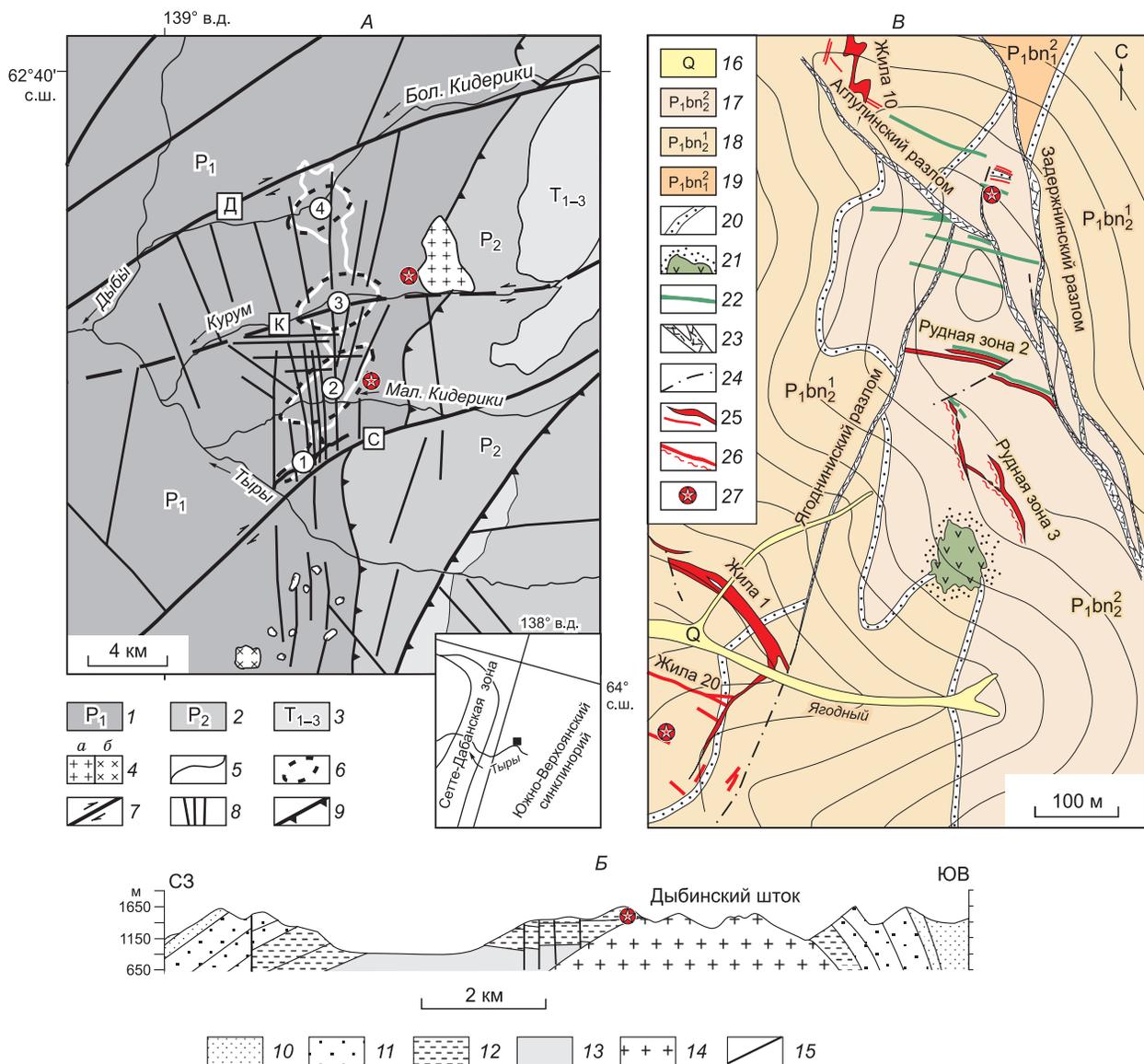


Рис. 5. Геологические схемы золоторудных месторождений Южно-Верхоянского орогенного пояса.

A — Нежданинское месторождение, по [Третьяков, Прокопьев, 2014] с изменениями; *B* — Дыбинский рудный узел, по [Тектоника..., 2001] с изменениями; *B* — Задержнинское месторождение, по [Кондратьева, 2013] с изменениями.

1–9 — Нежданинское месторождение: 1 — нижний структурный ярус, сильнокливажированные нижнепермские глинистые отложения; верхний структурный ярус, подвергшиеся складчато-надвиговым деформациям глинисто-песчаниковые отложения; 2 — верхнепермские, 3 — триасовые; 4 — гранитоидные интрузии мелового возраста (*a* — Курумский плутон, *б* — Гельдинские штоки); 5 — геологические границы; 6 — контуры выделяемых антиклиналей; 7 — сдвиги; 8 — второстепенные разломы; 9 — надвиги. Буквы в квадратах — разломы: С — Сунтарский, К — Курумский, Д — Дюптагинский. Цифры в кругах — антиклинали: 1 — Кварцевая, 2 — Нежданинская, 3 — Курумская, 4 — Кидерикинская; белой линией обведен контур Дыбинской антиклинали; на врезке в нижнем правом углу — местоположение Нежданинского месторождения; 10–15 — Дыбинский рудный узел: 10–13 — отложения (свиты): 10 — чамбинская, 11 — менкенческая (верхняя пермь), 12 — ырчакская (нижняя — верхняя пермь), 13 — бонсолчанская (нижняя пермь); 14 — граниты; 15 — разломы; 16–26 — Задержнинское месторождение: 16 — четвертичные отложения, 17–19 — отложения бонсолчанской свиты, нижняя пермь: 17, 18 — верхняя подсвита: 17 — вторая пачка, 18 — первая пачка; 19 — нижняя подсвита, вторая пачка; 20 — маркирующие пласты песчаников; 21, 22 — магматические породы среднего состава: 21 — шток, 22 — дайки; 23 — зоны смятия и дробления; 24 — тектонические нарушения; 25 — кварцевые жилы; 26 — минерализованные зоны дробления; 27 — местоположение изученных образцов.

контролируют размещение оперяющих жильных тел. Рудные тела представлены минерализованными зонами дробления, насыщенными кварцево-жильными телами. Вмещающие породы преобразованы в различных фациях березитов. Руды являются полиформационными [Гамянин и др., 1985; Горячев, 1998]. На раннем этапе сформировались слабозолотоносные кварцевые жилы с убогой вкрапленностью

пирита, арсенопирита и галенита, относимые к гидротермально-метаморфогенным [Силичев, Андриянов, 1974]. В составе главного продуктивного этапа выделяются пирит-арсенопирит-кварцевая с шеелитом и доломитом, галенит-сфалерит-халькопирит-тетраэдритовая, сульфоантимонитовая и антимонитовая ассоциации минералов. Для позднего сереброполиметаллического этапа характерны процессы перераспределения ранних минеральных ассоциаций с новообразованиями минералов серебра (пираргирит, диафорит, овихиит, фрейбергит, акантит), сидерита, диккита [Гамянин и др., 2000]. Метасоматические сульфиды высокозолотоносны: в арсенопирите от 30 до 500 г/т Au, в пирите 10–150 г/т, — и формируют вкрапленный промышленный тип оруденения [Тектоника..., 2001].

Образец серицита (обр. 45-П-78) был отобран из грейзенов Курумского плутона, в экзоконтакте которого известно Au-редкометалльное Курумское рудопроявление [Горячев, 1998]. Высокожелезистый серицит-фенгит (обр. 27/10) был выделен из дорудных серицит-карбонатных метасоматитов березитового типа, развившихся по дайке габбро-диоритов.

Au-редкометалльный Дыбинский рудный узел расположен севернее Неждановского месторождения в пределах одноименного рудного района на контакте Дыбинского гранитного штока ранне-мелового возраста (122.3 ± 0.4 млн лет биотит, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ [Layer et al., 2001]) (см. рис. 1; 5, б), в пределах которого известны молибденит-кварцевые и касситерит-кварцевые жилы. В зонах экзоконтакта Дыбинского штока с пермскими терригенными отложениями, смятыми в куполовидную Дыбинскую антиклиналь, локализована серия Au-редкометалльных проявлений (Тенистое, Контактное и Одержимое) [Горячев, 1998], представленных лестничными жилами в пластах песчаников мощностью от первых миллиметров до 0.2–0.3 м, пластами окварцованных песчаников и зонами кварцевого прожилкования со стратифицированными штокверковыми телами. Выделяются кварц-полевошпат-мусковитовая, сульфидно-арсенидная и висмут-сульфотеллуридная минеральные ассоциации. Пробность Au колеблется от 672 до 969 ‰ [Гамянин, 1993; Тектоника..., 2001].

Образец серицита (обр. 148/1-Гр-79) (фракция +0.5 мм) был получен из призальбандовой оторочки в кварцевой жиле с Au-Vi минерализацией.

Au-Ag Задержнинское месторождение локализовано на пересечении субмеридионального Минорского разлома с зоной субширотного Менджельского поднятия в центральной части Южно-Верхоянского синклинория (см. рис. 1; 5, в) и приурочено к апикальной части крупной нескрытой гранитоидной интрузии. Вмещающие терригенные пермские отложения смяты в интенсивные линейные складки и прорваны дайками лампрофиров, диоритовых порфиров и диоритов. Промышленная золотоносность связана с секущими рудными телами — крутопадающими кварцевыми жилами с зонами прожилкования и минерализованными зонами дробления с прожилково-вкрапленной минерализацией. Руды характеризуются комплексным полихронным оруденением [Кондратьева и др., 2005; Кондратьева, Анисимова, 2007; Кондратьева, 2013; Кондратьева и др., 2018].

Были отобраны образцы серицита из кварцевой жилы, расположенной на юго-западе месторождения (обр. 15-АН-06), и флогопита из дайки керсантита его северного фланга (обр. 32-5-ЛК-02).

Sn-полиметаллическое месторождение Кутинское локализовано на северо-востоке Южно-Верхоянского синклинория в северном экзоконтакте мелового Верхнеаллахского субвулкана Охотско-Чукотского вулканоплутонического пояса (см. рис. 1). Рудные тела представлены минерализованными зонами дробления, жилами и штокверками протяженностью 100–1000 м и мощностью 0.2–6.0 м, реже 10–20 м в раздувах. Рудные тела контролируются крутопадающими разрывными нарушениями. Содержание серебра достигает 90–1480 г/т.

Образец серицита (Кут-5) (фракция 0.25–0.50 мм) получен из зоны кварц-серицитовых метасоматитов по меловым вулканитам.

МЕТОДИКА АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изотопный состав аргона измерялся на масс-спектрометре Noble Gas 5400 (Аналитический центр ИГМ СО РАН, г. Новосибирск). Минералы для $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изотопно-геохронологических исследований выделялись с использованием стандартных методик магнитной и плотностной сепарации. Полученные монофракции слюд окончательно сортировались под бинокуляром для удаления измененных зерен и случайных зерен других минералов. Навески минеральных фракций совместно с навесками биотита МСА-11 (ОСО № 129-88), используемого в качестве монитора, заворачивались в алюминийевую фольгу, помещались в кварцевую ампулу и после откачки из нее воздуха запаивались. Биотит МСА-11, подготовленный ВИМС (г. Москва) в 1988 г. как стандартный K-Ar образец, аттестован в качестве $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ монитора с помощью международных стандартных образцов мусковита Vern 4m, биотита LP-6 [Baksi et al., 1996]. В качестве интегрального возраста биотита МСА-11 принято среднее значение результатов калибровки 311.0 ± 1.5 млн лет. Кварцевые ампулы с пробами облучались в кадмированном канале научного реактора ВВР-К типа Физико-технического института при Томском политехническом универси-

тете. Градиент нейтронного потока не превышал 0.5 % в размере образца. Эксперименты по ступенчатому прогреву проводились в кварцевом реакторе с печью внешнего прогрева. Холостой опыт по ^{40}Ar (10 мин при 1200 °С) не превышал 5×10^{-10} нсм³. Очистка аргона производилась с помощью ZrAl SAES-геттеров. Ошибки используемых измерений соответствуют интервалу $\pm 1\sigma$.

Для U-Pb изотопных исследований выделялись монофракции цирконов по стандартной схеме: измельчение, ситование на размерные фракции, затем фракция <0.25 мм пропусклась через центробежный концентратор, полученная тяжелая фракция обрабатывалась электромагнитом. Окончательная «доводка» концентрата осуществлялась в тяжелой жидкости. Из полученного концентрата под биноклем отбирались несколько десятков зерен, затем из них наиболее типичные разности, которые и использовались для изотопных исследований. U-Pb датирование цирконов осуществлялось на ионном микрозонде SHRIMP-II в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург). Отобранные зерна цирконов были имплантированы в эпоксидную смолу вместе с зернами цирконовых стандартов TEMORA и 91500, а далее сошлифованы и приполированы приблизительно на половину своей толщины. Для выбора участков (точек) датирования на поверхности зерен использовались оптические (в проходящем и отраженном свете) и катодолюминесцентные изображения, отражающие внутреннюю структуру и зональность цирконов. Определение величин U-Pb отношений на SHRIMP-II проводилось по методике, описанной в статье [Williams, 1998]. Интенсивность первичного пучка молекулярных отрицательно заряженных ионов кислорода составляла ~2.5–4.0 нА, диаметр пятна (кратера) ~15×10 мкм. Полученные данные обрабатывались с использованием программы SQUID [Ludwig, 2001]. U-Pb отношения нормализовались на значение 0.0668, приписанное стандартному циркону TEMORA, что соответствует возрасту этого циркона 416.75 млн лет [Black et al., 2003]. Погрешности единичных анализов (отношений и возрастов) приво-

**Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ и U-Pb изотопного датирования рудных объектов, плутонов и даек
Верхояно-Колымской складчатой области**

Месторождение	Минерал	Возраст, млн лет	Метод	№ образца
Кючус	Мусковит	106.3 ± 1.3	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	К-3
Депутатский рудный узел:				
Мелкозернистые граниты (скв. 1002, гл. 465.8 м)	Циркон	112.2 ± 1.4	U-Pb (SHRIMP-II)	1002/465.8
	Биотит	108.8 ± 1.2	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	1002/465.8
Березитизированный лампрофир, слюды из кварцевых прожилков	Фуксит	113 ± 1.5	»	Д-1039а-2
	Серицит	111 ± 1.1	»	Д-1039а
Лампрофир неизменный	Биотит	106.1 ± 1.2	»	ФД-7-2
Кварц-турмалин-сульфидная жила (скв. 1001, гл. 698.6 м)	Мусковит	106.3 ± 1.2	»	1001-698,6
Кварц-мусковитовый эндогрейзен (скв. 1001, гл. 272 м)	»	106.2 ± 1.3	»	1001-272
Хотойдох	Серицит	116.0 ± 1.4	»	45-Г-73
Таллалах	»	126 ± 1.6	»	Тал 3-3
Дора-Пиль	»	126 ± 32	»	М-27
Малотарыньское	»	142.7 ± 1.8	»	МТ-3
»	»	125.6 ± 3.1	»	Г-53-16
Купольное	»	144.6 ± 1.8	»	17-125
Мангазейский рудный узел:				
Эндыбальский плутон, гранит-порфир	Циркон	100.2 ± 1.2	U-Pb (SHRIMP-II)	07АП93
	Серицит	98.4 ± 1.2	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	Гр-241141
»	»	98.2 ± 1.1	»	07АП92
Дайка, гранит-порфир	Циркон	102.9 ± 1.4	U-Pb (SHRIMP-II)	07АП101
Дайка, гранит-порфир	»	104.9 ± 1.3	»	07АП145
Нежданнинский рудный район:				
Курумское	Серицит	95.2 ± 1.0	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	45-П-78
Нежданнинское	»	120.4 ± 1.3	»	27/10
Дыбинский рудный узел	»	124.8 ± 1.5	»	148/1-Гр-79
Задержнинское	»	123.5 ± 1.6	»	15-АН-06
»	Флогопит	115.4 ± 1.7	»	32-5-ЛК-02
Кутинское	Серицит	99.9 ± 1.2	»	Кут-5

дятся на уровне одной сигмы, погрешности вычисленных конкордантных возрастов на уровне двух сигма. При построении графиков с конкордией использовалась программа ISOPLOT [Ludwig, 2003].

Результаты изотопно-геохронологического датирования приведены в табл. 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ и U-Pb ИЗОТОПНОГО ДАТИРОВАНИЯ

1. При датировании мусковита из рудоносных метасоматитов месторождения Кючус (обр. К-3) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом в спектре образца наблюдается четкое плато, которому соответствует значение возраста 106.3 ± 1.3 млн лет (см. рис. 6, А; таблицу).

2. В Депутатском рудном узле установлено время кристаллизации мелкозернистых гранитов вскрытого скважинами Депутатского плутона (U-Pb, SHRIMP, цирконы) (обр. 1002-465.8) в 112.2 ± 1.4 млн лет (рис. 7, А; таблицу). Полученный $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возраст биотита из этого же образца 108.8 ± 1.2 млн лет (см. рис. 6, В).

Определен возраст ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) фуксита и серицита из кварцевых прожилков в березитизированной дайке лампрофиров (обр. Д-1039а-2, Д-1039а) — 113 ± 1.5 и 111.0 ± 1.1 млн лет соответственно, а также биотита из дайки неизмененных лампрофиров 106.1 ± 1.2 млн лет (обр. ФД-7-2) (см. рис. 6, В, Д; таблицу), что указывает на два этапа формирования даек этого состава.

Установлен возраст слабооловоносных кварц-турмалин-сульфидных жил в гранитах Депутатского плутона (106.3 ± 1.2 млн лет, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, мусковит, обр. 1001-698.6) и кварц-мусковитовых эндогрейзенов (106.2 ± 1.3 млн лет, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, мусковит, обр. 1001-272 (см. рис. 6, Е, Ж; таблицу).

3. При датировании серицита из зоны кварц-серицитовых метасоматитов месторождения Хотойдох по юрским терригенным породам (обр. 45-Г-73) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом в спектре образца наблюдается четкое плато, которому соответствует значение возраста 116.0 ± 1.4 млн лет (см. рис. 6, З; таблицу).

4. При датировании серицита из центральной части межпластовой кварцевой жилы месторождения Таллалах $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом было получено плато, отвечающее его возрасту 126.0 ± 1.6 млн лет (обр. Тал 3-3) (см. рис. 6, И; таблицу).

5. Образец серицита (обр. М-27) месторождения Дора-Пиль из кварцевого прожилка при датировании $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом показал возраст 126.0 ± 3.2 млн лет (см. рис. 6, К; таблицу).

6. При датировании серицита из зоны прожилкования Малотарынского месторождения (обр. МТ-3) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом было получено плато, отвечающее возрасту 142.7 ± 1.8 млн лет (см. рис. 6, Л; таблицу). $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом в спектре образца серицита (обр. Г-53-16) из кварцевой жилы минерализованной зоны дробления наблюдается четкое плато, которому соответствует значение возраста 125.6 ± 3.1 млн лет (см. рис. 6, М; таблицу).

7. Для месторождения Купольное при датировании серицита (обр. 17-125) из рудоносных кварц-серицитовых метасоматитов $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом в спектре образца наблюдается четкое плато, которому соответствует значение возраста 144.6 ± 1.8 млн лет (рис. 8, А; таблицу).

8. В Мангазейском рудном узле при датировании цирконов из гранит-порфиров Эндыбальского плутона был определен возраст 100.2 ± 1.2 млн лет (обр. 07АП93, U-Pb SHRIMP-II) (см. рис. 7, Б; таблицу). Этим же методом были продатированы цирконы из даек гранит-порфиров. Возраст их кристаллизации составляет 102.9 ± 1.4 млн лет (обр. 07АП101) и 104.9 ± 1.4 млн лет (обр. 07АП145) (см. рис. 7, В, Г; таблицу).

При датировании серицита (обр. Тр-241141) из грейзенов Эндыбальского плутона $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом в спектре образца наблюдается четкое плато, которому соответствует значение возраста 98.4 ± 1.2 млн лет. Возраст серицита рудоносного метасоматита (обр. 07АП92) практически такой же — 98.2 ± 1.1 млн лет (см. рис. 8, Б, В; таблицу).

9. При датировании $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом серицита (обр. 45-П-78) из грейзенов Курумского гранодиоритового плутона на фланге Нежданинского рудного района (Курумское Au-редкометалльное проявление [Горячев, 1998]) было получено плато, отвечающее возрасту 95.2 ± 1.0 млн лет (см. рис. 8, Г; таблицу). Установлен возраст высокожелезистого серицит-фенгита (обр. 27/10) из дорудных серицит-карбонатных метасоматитов по дайке габбро-диоритов 120.4 ± 1.3 млн лет ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) в пределах Au-Ag Нежданинского месторождения (см. рис. 8, Д; таблицу).

10. Установлен возраст серицита-фенгита (обр. 148/1-Гр-79) из рудной зоны Дыбинского рудного узла 124.8 ± 1.5 млн лет ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) (см. рис. 8, Е; таблицу).

11. Получена возрастная датировка серицита (обр. 15-АН-06) из кварцевой жилы Задержнинского месторождения в 123.5 ± 1.6 млн лет ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$). Определен возраст флогопита из дайки керсантина — 115.4 ± 1.7 млн лет (обр. 32-5-ЛК-02, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) (см. рис. 8, Ж, З; таблицу).

12. При датировании серицита (обр. Кут-5) из зоны кварц-серицитовых метасоматитов по меловым вулканитам месторождения Кутинское $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом в спектре образца наблюдается четкое плато, которому соответствует значение возраста 99.9 ± 1.2 млн лет (см. рис. 8, И; таблицу).

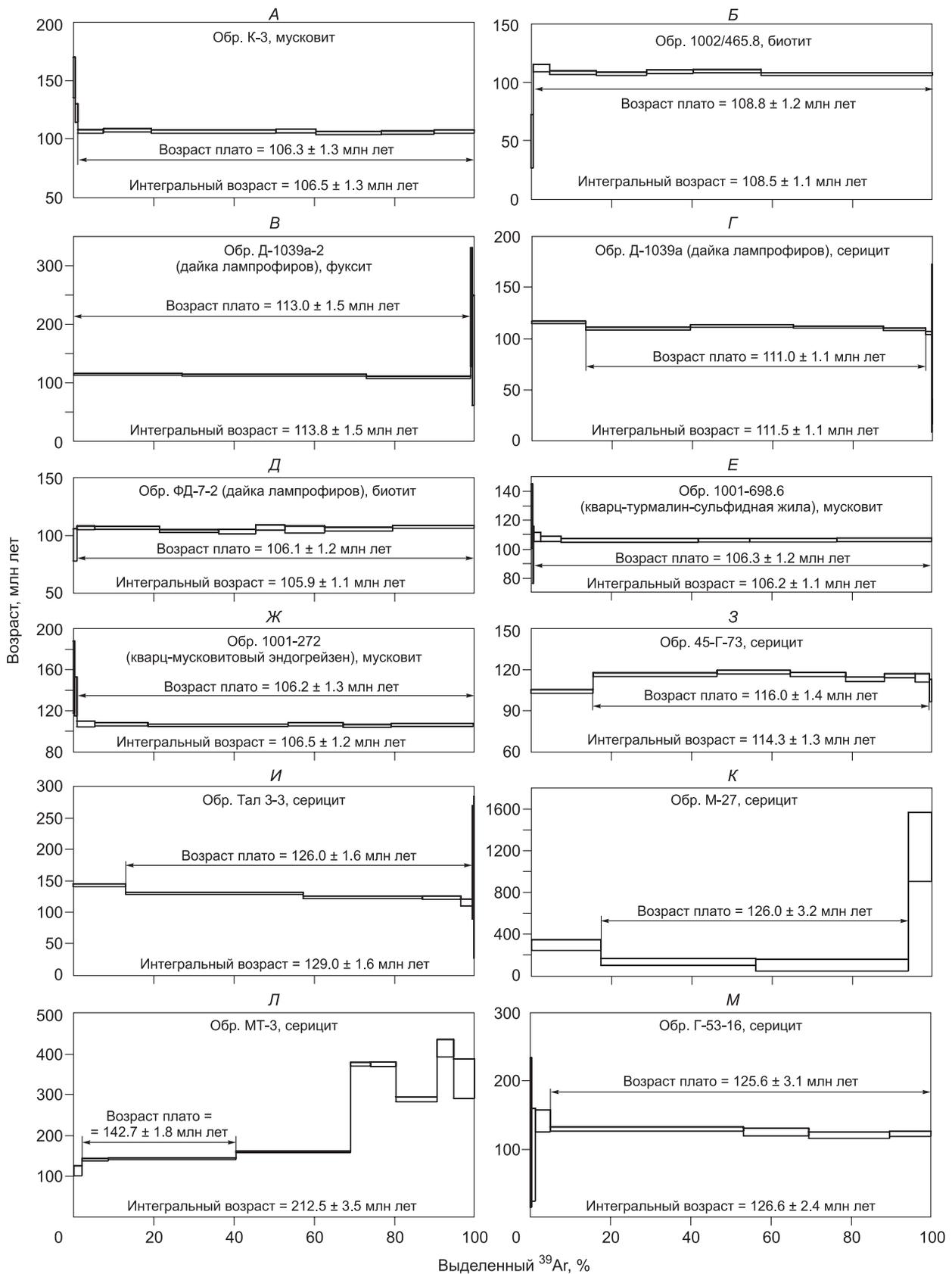


Рис. 6. Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования слюд месторождений Кючус (А), Депутатский рудный узел (Б—Ж), Хотойдох (З), Таллалах (И), Дора-Пиль (К), Малотарынское (Л, М) методом ступенчатого прогрева.

Приведены возрастные спектры.

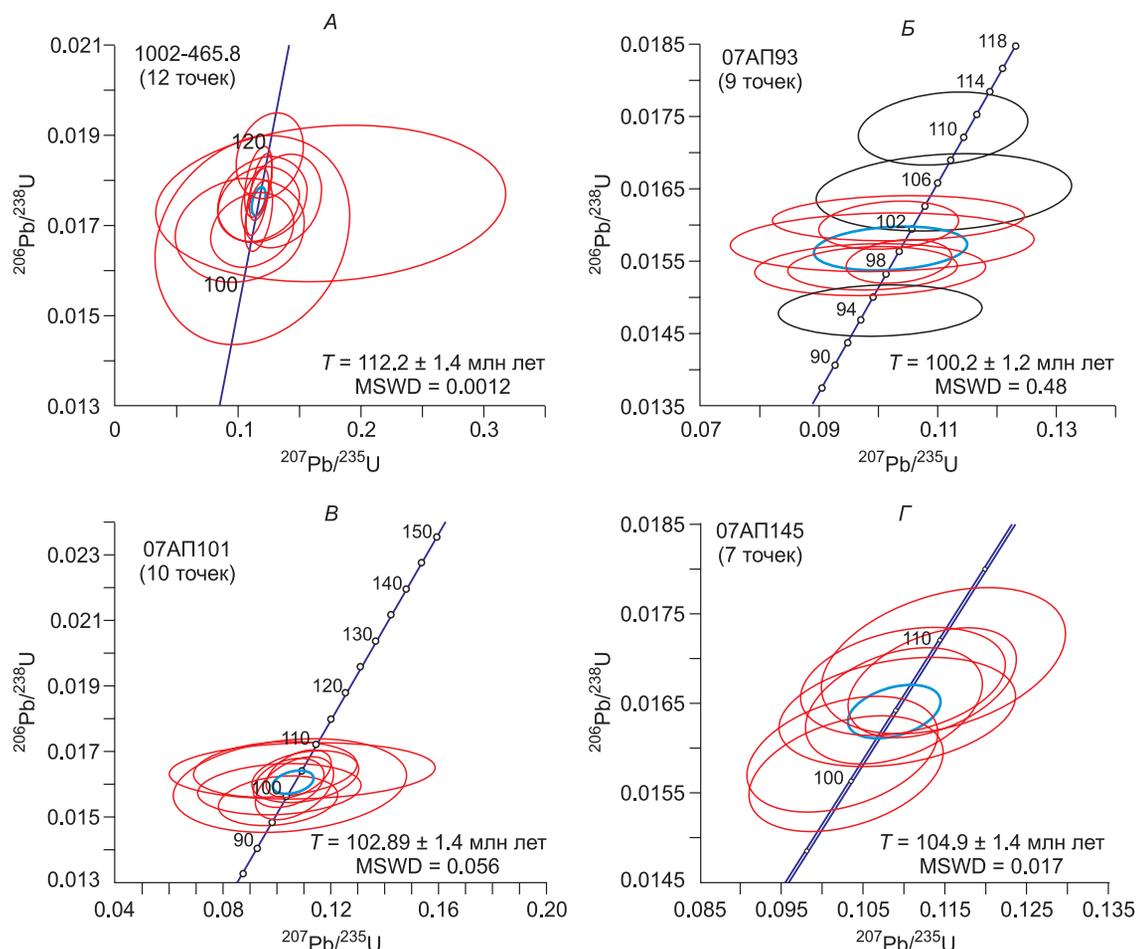


Рис. 7. Диаграммы с конкордией датирования цирконов U-Pb методом.

A — граниты Депутатского плутона; *Б–Г* — Мангазейский рудный узел: *Б* — гранит-порфир Эндыбальского плутона, *В* — гранит-порфир, дайка, *Г* — гранит-порфир, дайка.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Корреляция тектономагматических событий и рудогенеза по данным изотопно-геохимического датирования

1. В северной части Верхояно-Черского орогенного пояса в Полоусном синклинии граниты Депутатского плутона (Sn Депутатский рудный узел) кристаллизовались ~112 млн лет назад. Полученный $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возраст биотита из этих же гранитов (~109 млн лет) указывает на время их остывания. Эти датировки существенно моложе установленного ранее возраста гранитов Депутатского плутона (125–115 млн лет, Rb-Sr [Ненашев, Зайцев, 1980; Трунилина и др., 2003]). Возраст даек лампрофиров (~113 и 106 млн лет) указывает на два временных этапа их формирования — на стадиях кристаллизации и остывания гранитов Депутатского плутона. Эти датировки соответствуют двум широко проявленным в ВКСО и прилегающих регионах (Чукотка, Алдан) этапам щелочно-базитового магматизма [Павлова и др., 2009]. Время формирования слабооловоносных кварц-турмалин-оловосульфидных прожилков и продуктивных кварц-мусковитовых эндогрейzenов (~106 млн лет) сближено с внедрением даек риолит-порфиров, лампрофиров второго этапа (106.1±1.2 млн лет), диабазов и диабазовых порфиритов и в целом близко времени остывания Депутатского плутона. Возраст серицита из кварцевых прожилков с галенитом (111.0±1.1 млн лет) несколько древнее и субсинхронен времени кристаллизации гранитов Депутатского плутона (рис. 9). Таким образом, значительно уточнен возраст формирования полихронного и полиформационного оловянного оруденения Депутатского рудного узла, образование которого происходило в конце раннего мела.

Время формирования рудоносных метасоматитов Au-Sb-Hg месторождения Кючус, расположенного на северном фланге Кулар-Нерского террейна (сланцевого пояса) ~106 млн лет (альб, конец ранне-

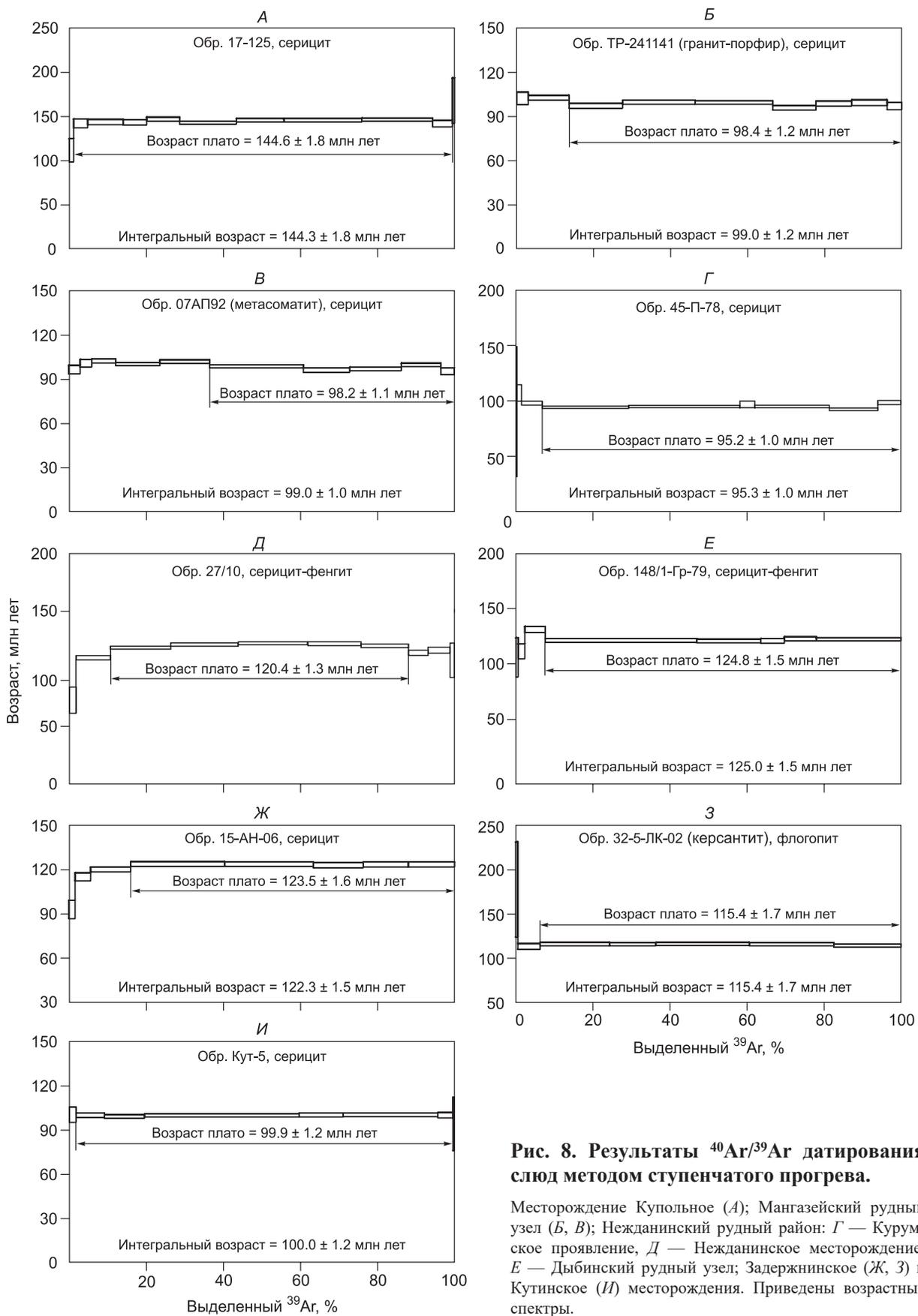


Рис. 8. Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования слюд методом ступенчатого прогрева.

Месторождение Купольное (А); Мангазейский рудный узел (Б, В); Нежданинский рудный район: Г — Курумское проявление, Д — Нежданинское месторождение, Е — Дыбинский рудный узел; Задержинское (Ж, З) и Кутинское (И) месторождения. Приведены возрастные спектры.

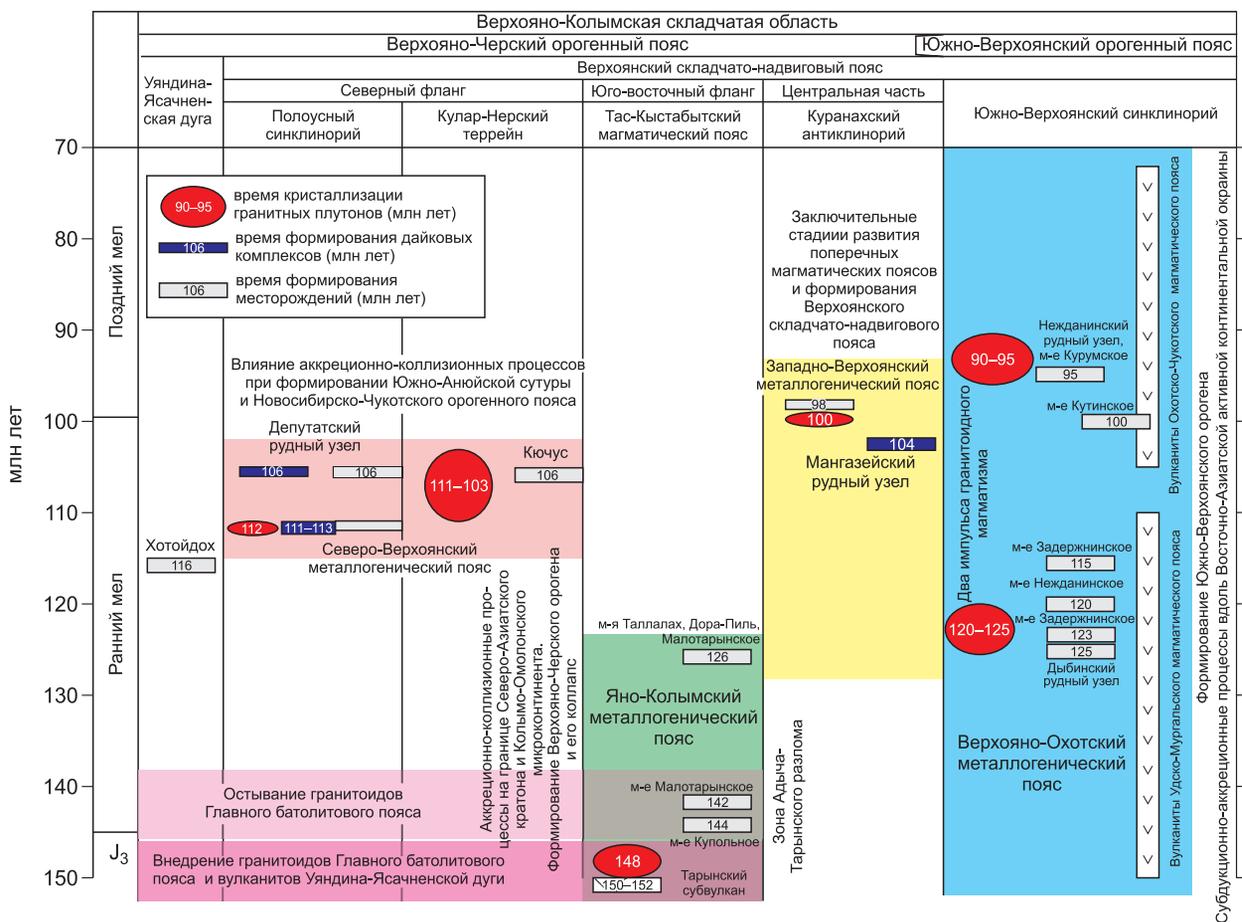


Рис. 9. Схема корреляции полученных значений возраста формирования месторождений с основными импульсами сопутствующего магматизма и геодинамическими событиями Верхояно-Колымской складчатой области.

го мела). Этот возраст близок времени кристаллизации куларских гранитоидов (111–103 млн лет [Harris et al., 2013]), расположенных в нескольких километрах западнее месторождения Кючус, а также образования даек лампрофиров второго этапа и эндогрейzenов Депутатского рудного узла (см. рис. 9).

2. Формирование руд Ag-колчеданно-полиметаллического месторождения Хотойдох (~116 млн лет), расположенного в центральной части Верхояно-Черского орогенного пояса, происходило близко по времени с кристаллизацией оловоносных гранитов Депутатского плутона и оловоносных грейzenов первого этапа рудогенеза одноименного рудного узла (~112 млн лет) в аптское время раннего мела (см. рис. 9).

3. В юго-восточной части Верхояно-Черского орогенного пояса начало формирования рудоносных тел Au-кварцевого Малотарынского месторождения и Sn-Ag-сульфидного месторождения Купольное, локализованных, с одной стороны, в зоне влияния Адыча-Тарынского разлома, а с другой — на флангах Тас-Кыстабытского плутонического пояса, происходило практически одновременно ~143–144 млн л. н. Риолиты и дациты Тарынского субвулкана были сформированы ~150–152 млн л. н. и прорваны гранитоидами Нельканского плутона, возраст кристаллизации которых ~148 млн лет (титонский век, поздняя юра) (U-Pb, циркон [Прокопьев и др., 2008]). Время остывания Нельканского плутона ~141–144 млн лет ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, биотит [Layer et al., 2001]). Этот возраст близок времени остывания гранитных плутонов Капризный (142.9±0.4 млн лет, биотит, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ метод [Layer et al., 2001]) и Труд, возраст кристаллизации последнего, по данным U-Pb датирования цирконов, 151.4±1.5 млн лет [Прокопьев и др., 2008]. Эти датировки также близки Rb-Sr возрасту гранитоидов Курдатского и Самырского плутонов (140–145 млн лет [Зайцев и др., 2017]). Второй импульс формирования Малотарынского месторождения произошел ~126 млн л. н. Близкие датировки были получены Rb-Sr и K-Ar методом из этих же плутонов (120–128 млн лет [Зайцев и др., 2017]).

Таким образом, начало рудогенеза на этих месторождениях синхронно заключительной стадии остывания батолитов Тас-Кыстабытского плутонического пояса в начале раннего мела. Завершение формирования Au-кварцевого оруденения Малотарынского месторождения происходило во второй половине раннего мела, что подтверждает высказанное ранее предположение о его полихронности [Фридовский и др., 2015]. Au-кварцевые месторождения Таллалах и Дора-Пиль располагаются также в зоне влияния Адыча-Тарынского регионального разлома. Их формирование происходило одновременно ~126 млн л. н. (барремский век раннего мела), синхронно со второй фазой рудогенеза Малотарынского месторождения (см. рис. 9). Ранее близкий возраст Au-кварцевого оруденения Малотарынского месторождения в 130 ± 4 млн лет установлен К-Ag методом по серициту [Акимов, 2004; Акимов и др., 2004].

4. В центральной части Верхоянского складчато-надвигового пояса внедрение даек гранит-порфиrow юго-западного окончания Северо-Тирехтяхского поперечного магматического пояса в Ag-Sb Мангазейском рудном узле происходило ~103—105 млн л. н., а время кристаллизации гранитоидов Эндыбальского плутона ~100 млн лет и его остывание ~98 млн л. н. Формирование рудных тел синхронно этому возрастному рубежу (~98 млн лет) и происходило на заключительных стадиях развития поперечных магматических поясов Западного Верхоянья и фронтального Верхоянского складчато-надвигового пояса и близко времени остывания Эндыбальского плутона, которое происходило очень быстро — в течение 1–2 млн лет (см. рис. 9).

5. В Южно-Верхоянском орогенном поясе время формирования грейзенов Курумского гранодиоритового плутона (Au-редкометалльное Курумское проявление) на восточном фланге Au-Ag-кварцевого Нежданинского рудного района ~95 млн лет. Ранее близкие значения возраста были получены U-Pb методом (цирконы [Бахарев и др., 2011; Чернышев и др., 2012]) и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом (слюда [Layer et al., 2001]) для гранитоидов Курумского плутона, кварцевых диоритов Гельдинских штоков [Бахарев и др., 2011; Чернышев и др., 2012], а также мелких плутонов северной части Южно-Верхоянского орогенного пояса (например, Супский шток — 94 ± 1.4 млн лет (U-Pb, цирконы [Бахарев и др., 2011]).

Дорудные березиты по габбро-диоритам даек имеют возраст ~120 млн лет, близкий возрасту формирования даек лампрофиров Нежданинского рудного района [Чернышев и др., 2012] (~120 млн лет).

Установленный возраст Au-редкометалльного оруденения Дыбинского рудного узла, расположенного в нескольких десятках километров севернее Нежданинского месторождения, ~125 млн лет близок времени формирования Дыбинского гранитного штока (122.3 ± 0.4 млн лет [Layer et al., 2001]), возрасту лампрофиров дайкового комплекса в пределах рудного поля Нежданинского месторождения (121 ± 1 млн лет [Чернышев и др., 2012]) и времени кристаллизации и остывания крупных гранитных плутонов южной части Южно-Верхоянского орогенного пояса — Тарбаганнахского и Уэмляхского [Layer et al., 2001; Prokoriev et al., 2009]. Таким образом, в пределах Нежданинского рудного района предполагается два импульса Au-редкометалльного оруденения — ~125–120 млн лет (Дыбинский рудный узел) и ~95 млн лет (Курумское рудопроявление).

Возраст основного продуктивного золото-серебряного оруденения Задержнинского месторождения ~124 млн лет, а даек лампрофиров ~115 млн лет, что согласуется с данными, полученными Г.К. Шнай с соавторами [1991] для лампрофиров Курун-Уряхского рудного поля (115 ± 5 млн лет, Rb-Sr; 116—119 млн лет, K-Ag) и для Южного Булара (115 ± 1.6 млн лет, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) [Кондратьева, 2013].

В целом полученные нами датировки ~125–120 млн лет для магматических образований и рудогенеза изученных месторождений Южного Верхоянья близки ранее установленным возрастам крупных гранитоидных плутонов Южного Верхоянья (123±1 млн лет, U-Pb, циркон, Тарбаганнахский плутон [Prokoriev, 2009]; 120.4 ± 0.6 млн лет, U-Pb, циркон, Уэмляхский плутон [Прокопьев и др., 2006б]; 121—123 млн лет, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, биотит, роговая обманка, Уэмляхский плутон [Layer et al., 2001], времени зеленосланцевого дислокационного метаморфизма (119.4 ± 0.5 млн лет, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, биотит) [Prokoriev, 2009] (см. рис. 9).

Возраст кварц-серицитовых метасоматитов по меловым вулканитам месторождения Кутинское ~100 млн лет (рубеж раннего—позднего мела) близок времени формирования Охотско-Чукотского вулканоплутонического пояса (см. рис. 9).

Геодинамические обстановки формирования месторождений и магматических образований Верхояно-Колымской складчатой области

Интерпретация новых датировок в совокупности с полученными нами ранее, а также литературными данными позволяет провести корреляцию тектономагматических и геодинамических событий и рудогенеза в ВКСО (см. рис. 9).

Можно предположить, что формирование изученных месторождений юго-восточной части Верхояно-Черского орогенного пояса, тяготеющих к зоне Адыча-Тарынского разлома происходило на заключительных этапах коллизии Сибирского (Северо-Азиатского) кратона и Колымо-Омолонского микро-

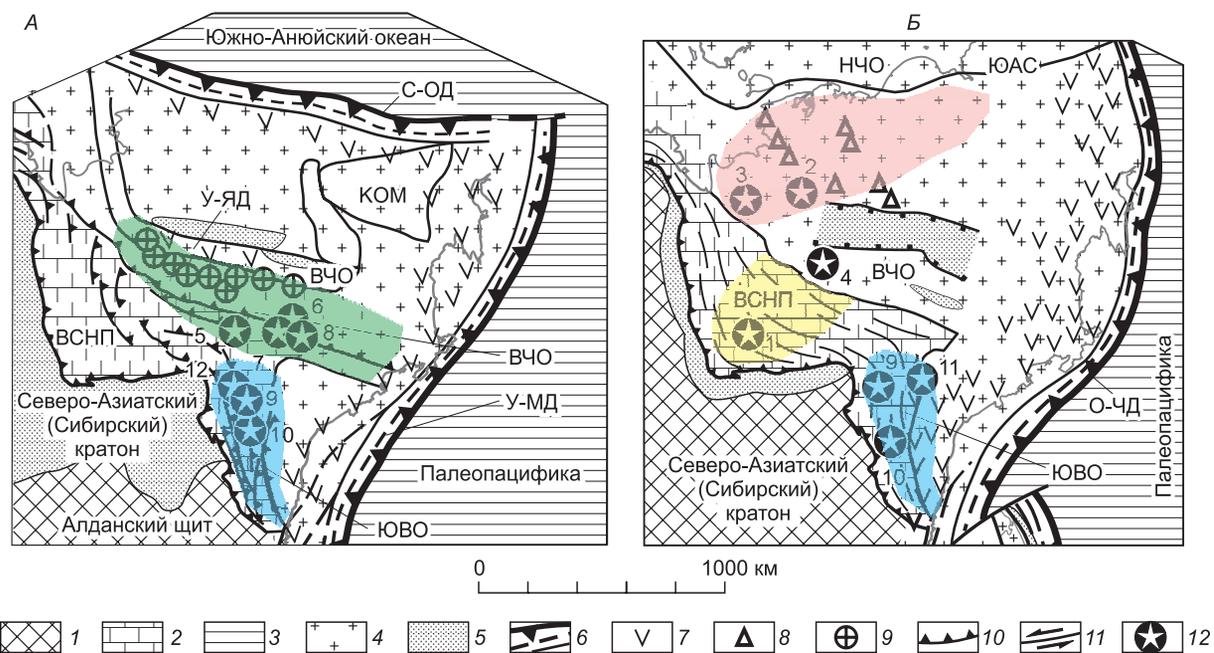


Рис. 10. Палеотектонические реконструкции для поздней юры—раннего мела (150—125 млн лет) (А) и рубежа раннего и позднего мела (115—90 млн лет) (Б) (по [Парфенов и др., 2003] с изменениями).

1 — кратон, 2 — пассивная континентальная окраина, 3 — океаническая кора, 4 — коллаж аккрецированных террейнов, 5 — осадочный бассейн, 6 — зона субдукции и аккреционный клин, 7 — надсубдукционная магматическая дуга, 8 — субщелочные плутонические пояса, 9 — коллизионные гранитоиды, 10 — надвиг, 11 — сдвиг, 12 — изученные месторождения (см. усл. обозн. на рис. 1). Цветом показаны металлогенические пояса (см. усл. обозн. на рис. 1). ВСНП — Верхоянский складчато-надвиговый пояс, ВЧО — Верхояно-Черский орогенный пояс, ЮОВО — Южно-Верхоянский орогенный пояс, НЧО — Новосибирско-Чукотский орогенный пояс, КОМ — Колымо-Омолонский микроконтинент, У-ЯД — Уяндина-Ясаченская дуга, У-МД — Удско-Мургальская дуга, О-ЧД — Охотско-Чукотская дуга, С-ОД — Святоносско-Олойская дуга, ЮАС — Южно-Анхойская сутура.

континента (месторождение Купольное, ранний рудогенез месторождения Малотарыньское) на рубеже юры и мела и, вероятно, на ранних стадиях коллапса Верхояно-Черского орогена (месторождения Таллалах и Дора-Пиль, второй импульс рудогенеза на Малотарыньском месторождении) в конце раннего мела. Эти месторождения, выделяемые ранее в Адыча-Нерскую (месторождения Таллалах, Дора-Пиль и Малотарыньское) и Тарыньскую (месторождение Купольное) металлогенические зоны, входят в состав позднеюрско-раннемелового Яно-Колымского металлогенического пояса [Тектоника..., 2001] (рис. 10, А).

Возраст и территориальная расположенность на севере ВКСО позволяет предполагать, что образование месторождений Кючус, Депутатское и, возможно, Хотойдох связано с влиянием аккреционно-коллизионных процессов формирования Южно-Анхойской сутуры и Новосибирско-Чукотского орогенного пояса (апт-альбское время). Об этом могут свидетельствовать известные здесь гранитоиды с возрастом 105–110 млн лет ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ [Layer et al., 2001]). Представляется, что выделенные ранее [Тектоника..., 2001] Нижняянская (месторождение Кючус) и Центрально-Полоусная (Депутатский рудный узел) металлогенические зоны могут быть объединены в единый Северо-Верхоянский металлогенический пояс, образование которого связано с этими геодинамическими процессами в середине мела (см. рис. 10, Б).

В центральной части Верхоянского складчато-надвигового пояса отмеченное последовательное уменьшение возраста магматических пород вдоль продольных магматических поясов могло происходить синхронно с миграцией складчатости в Западном Верхоянье от ядра Верхояно-Черского орогена в сторону Сибирской платформы и маркировать ее [Тектоника..., 2001; Прокопьев и др., 2010]. Это согласуется с имеющимися данными о времени формирования Приверхоянского краевого прогиба — индикатора складчатых и горообразовательных процессов в Верхоянье [Khudoley, Prokoriev, 2007]. Ag-Sb Мангазейский рудный узел, расположенный на юго-западном окончании Северо-Тирехтяхского поперечного магматического пояса и образование которого происходило на рубеже раннего и позднего мела, выделяется в составе Западно-Верхоянского металлогенического пояса (см. рис. 10, Б).

В Южно-Верхоянском орогенном поясе полученными данными подтверждено полихронное образование руд Au месторождений Нежданнинского рудного района и Задержнинского месторождения [Гамянин и др., 2000; Кондратьева и др., 2010; Кондратьева, 2013; и др.], которое связано с двумя основными импульсами надсубдукционного магматизма и деформационных процессов этого региона — 125—120 млн лет (ранний мел) и 95—90 млн лет (начало позднего мела) [Prokoriev et al., 2009]. Ау-редкометаллическая рудная минерализация Дыбинского узла синхронна времени кристаллизации Дыбинского плутона и первому импульсу надсубдукционного магматизма Южного Верхоянья. Ранне-меловой гранитоидный магматизм связан с аккрецией Охотского террейна к Северо-Азиатскому (Сибирскому) кратону, аккреционно-коллизийными процессами на Охотской континентальной окраине. Более молодой позднемеловой магматизм связан с формированием Охотско-Чукотской активной континентальной окраины. Кутинское Sn-полиметаллическое месторождение, локализованное на фланге Верхнеаллахского субвулкана, имеет возраст ~100 млн лет (альбский век конца мелового периода), что хорошо коррелирует с начальными этапами образования Охотско-Чукотского вулканоплутонического пояса. Месторождения Южного Верхоянья, выделяемые ранее [Тектоника..., 2001] в составе Южно-Верхоянской (Задержнинское и Нежданнинский рудный район) и Верхнеюдомской (Кутинское) металлогенических зон предлагается объединить в Верхояно-Охотский металлогенический пояс, формирование которого связано с аккреционно-коллизийными процессами вдоль Восточно-Азиатской активной континентальной окраины и образованием Южно-Верхоянского орогенного пояса во второй половине раннего мела (см. рис. 10, А, Б).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе новых $21\ ^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ и четырех U-Pb датировок слюд и цирконов соответственно впервые установлено время формирования ключевых рудных объектов Восточной Якутии: месторождения Au-Sb-Hg вкрапленное Кючус, Ag-колчеданно-полиметаллическое Хотойдох, Au-кварцевые Малотарынское, Дора-Пиль и Таллалах, Sn-Ag-сульфидное Купольное, Sn-полиметаллическое Кутинское, Ag-Sb Мангазейского рудного узла; существенно уточнен возраст месторождений Нежданнинского рудного района (Au-редкометаллических Дыбинского рудного узла и Курумское, Au-Ag Нежданнинского и Задержнинского) и Sn Депутатского рудного узла.

2. Изученные рудные объекты объединены в четыре крупных металлогенических пояса с различной рудной специализацией, образование которых связано с различными геодинамическими процессами, имевшими место на территории ВКСО в меловое время. Традиционно выделяемый Яно-Колымский металлогенический пояс образовался во время коллизии окраины Сибирского кратона и Колымо-Омолонского микроконтинента в позднеюрско-раннемеловое время и начала последующего коллапса Верхояно-Черского орогена в конце раннего мела. Рудные объекты Верхояно-Охотского металлогенического пояса формировались одновременно с аккреционно-коллизийными процессами вдоль Восточно-Азиатской активной континентальной окраины и образованием Южно-Верхоянского орогенного пояса во второй половине раннего мела. Месторождения Западно-Верхоянского металлогенического пояса связаны с проградацией складчатости Верхоянского складчато-надвигового пояса в западном направлении на завершающих стадиях коллизии окраины Сибирского кратона и Колымо-Омолонского микроконтинента в середине мела. Образование Северо-Верхоянского металлогенического пояса связано с формированием Новосибирско-Чукотского орогенного пояса в конце раннего мела.

Для датирования использованы также образцы и монофракции А.Г. Бахарева и А.И. Холмогорова. Авторы выражают благодарность Н.Н. Круку и В.В. Мурзину за детальный критический анализ рукописи, конструктивные замечания и ценные советы, безусловно, способствующие улучшению статьи.

Исследование выполнено по планам НИР ИГАБМ СО РАН (проекты 0381-2016-0001, 0381-2016-0004, 0381-2015-0016) и ИГМ СО РАН (проекты 0330-2016-0001, 0330-2016-0013), при частичной поддержке РФФИ (гранты 15-45-05095, 16-05-00705, 17-05-00936), а также проекта «Стратегически важные виды минерально-сырьевых ресурсов и особенности геологического строения инвестиционно-привлекательных территорий Республики Саха (Якутия): металлогения, тектоника, магматизм, геоэкология, совершенствование поисковых и прогнозных технологий», Программы комплексных научных исследований в Республике Саха (Якутия), направленных на развитие ее производительных сил и социальной сферы на 2016–2020 гг.

ЛИТЕРАТУРА

Акимов Г.Ю. Новые данные о возрасте золото-кварцевого оруденения в Верхнеиндигирском районе Якутии // ДАН, 2004, т. 398, № 1, с. 80—83.

Акимов Г.Ю., Крючков А.В., Крылова Т.Л., Сидоров А.А. Тарынское месторождение жильно-вкрапленных руд — новый тип золотого оруденения в Верхнеиндигирском районе Якутии // ДАН, 2004, т. 397, № 3, с. 363—368.

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 (СВ Азии) // ДАН, 2009, т. 426, № 2, с. 216—221.

Бахарев А.Г., Гамянин Г.Н., Прокопьев А.В., Зайцев А.И., Травин А.В. Гранитоидный магматизм и формы связи с ним золотого оруденения Нежданинского рудно-магматического узла // Геология, тектоника и металлогения Северо-Азиатского кратона. Якутск, 2011, т. 2, с. 25—30.

Берзон Р.О., Брызгалов И.А., Коньшев В.О., Мещерина Т.В., Некрасова А.Н. Геологическое строение, минеральный состав и условия формирования золото-ртутного месторождения Кючус (Якутия, Россия) // Геология рудных месторождений, 1999, т. 41, № 6, с. 485—506.

Борисенко А.С., Холмогоров А.И., Боровиков А.А., Шебанин А.П., Бабич В.В. Состав и металлоносность рудообразующих растворов Депутатского оловорудного месторождения (Якутия) // Геология и геофизика, 1997, т. 38 (11), с. 1830—1841.

Бычок Б.Г., Попов Л.Н. Хотойдохское колчеданно-полиметаллическое месторождение // Разведка и охрана недр, 1975, № 6, с. 7—9.

Волков А.Б. Долгая судьба месторождения Кючус (Республика Саха (Якутия) // Смирновский сборник-98. Фонд им. академика В.И. Смирнова. М., Изд-во Моск. ун-та, 1998, с. 96—118.

Гамянин Г.Н. Барит-полиметаллическая формация Восточной Якутии // Новые данные по геологии рудных месторождений Восточной Якутии. Якутск, ЯФ СО АН СССР, 1978, с. 56—71.

Гамянин Г.Н. Зональность золоторудных месторождений Верхояно-Колымской складчатой области // Минералог-генетические аспекты магматизма и оруденения Якутии. Якутск, ЯНЦ СО РАН, 1993, с. 5—22.

Гамянин Г.Н., Силичев М.И., Горячев Н.А., Белозерцева Н.В. Полиформационное золоторудное месторождение // Геология рудных месторождений, 1985, № 5, с. 35—41.

Гамянин Г.Н., Бортников Н.С., Алпатов В.В. Нежданинское золоторудное месторождение — уникальное месторождение северо-востока России. М., ГЕОС, 2000, 228 с.

Горячев Н.А. Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов северо-востока Азии. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 1998, 210 с.

Данилов В.Г., Гедько М.И., Шумов В.В. Колчеданно-полиметаллическое месторождение Хотойдох // Изв. вузов. Геология и разведка, 1990, № 2, с. 67—72.

Зайцев А.И., Фридовский В.Ю., Кудрин М.В. Интенсивные параметры формирования и минералогический потенциал гранитоидов Курдатского и Самырского массивов, Тас-Кыстабытский магматический пояс Верхояно-Колымской складчатой области // Отечественная геология, 2017, № 5, с. 80—89.

Иванов А.И. Петрология и геохимия гранитоидов Депутатской оловоносной рудно-магматической системы. Якутск, Компания «Дани-Алмаз», 2012, 116 с.

Индолев Л.Н. Дайки рудных районов Восточной Якутии. М., Наука, 1979, 195 с.

Индолев Л.Н., Невойса Г.Г. Серебро-свинцовые месторождения Якутии. Новосибирск, Наука, 1974, 252 с.

Кондратьева Л.А. Закономерности локализации, минералог-геохимические особенности и возраст золотого оруденения месторождения Задержнинское (Южное Верхоянье): Автореф. дис. ...к.г.-м.н. Новосибирск, ИГМ СО РАН, 2013, 17 с.

Кондратьева Л.А., Анисимова Г.С. Золотое оруденение нового типа в Аллах-Юньской металлогенической зоне // Отечественная геология, 2007, № 5, с. 11—14.

Кондратьева Л.А., Анисимова Г.С., Холмогоров А.И. Структура и минералогия Задержнинского золоторудного поля // Отечественная геология, 2005, № 5, с. 23—28.

Кондратьева Л.А., Анисимова Г.С., Бахарев А.Г., Травин А.В., Прокопьев А.В., Борисенко А.С. Задержнинское золоторудное месторождение (Южное Верхоянье): геологическая позиция, вещественный состав руд и возраст оруденения // Материалы Всероссийской конференции «Новые и нетрадиционные типы месторождений полезных ископаемых Прибайкалья и Забайкалья». Улан-Удэ, ГИН СО РАН, 2010, с. 105—106.

Кондратьева Л.А., Анисимова Г.С., Зайцев А.И. Задержнинское золоторудное месторождение: минеральный состав, флюидные включения, возраст формирования (Южное Верхоянье) // Геология и геофизика, 2018, т. 59 (10), с. 1606—1622.

Костин А.В., Зайцев А.И., Шошин В.В., Ганеев А.Ш., Лобанов С.П. Серебряная провинция Западного Верхоянья. Якутск, ЯНЦ СО РАН, 1997а, 155 с.

Костин А.В., Лобанов С.П., Шошин В.В. Геолого-промышленные типы месторождений серебра северо-востока Якутии // Отечественная геология, 1997б, № 1, с. 8—16.

Москвитин С.Г., Анисимова Г.С., Жданов Ю.Я., Амузинский В.А., Баландин В.А., Павлова Л.А., Суплецов В.М. Самородное золото Якутии (Куларский район). Новосибирск, Наука, 1997, 198 с.

- Некрасов И.Я.** Магматизм и рудоносность северо-западной части Верхояно-Чукотской складчатой области. М., Наука, 1962, 333 с.
- Ненашев Н.И., Зайцев А.И.** Геохронология и проблема генезиса гранитоидов Восточной Якутии. Новосибирск, Наука, 1980, 240 с.
- Павлова Г.Г., Холмогоров А.И., Травин А.В., Трунилина В.А., Борисенко А.С., Прокопьев А.В., Иванов А.И.** Хронология процессов магматизма и рудообразования Депутатского рудного узла (Якутия) // Изотопные системы и время геологических процессов. Материалы IV Российской конференции по изотопной геохронологии. СПб., 2009, т. II, с. 71—74.
- Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И., Бадарч Г., Беличенко В.Г., Булгатов А.Н., Дриль С.И., Кириллова Г.Л., Кузьмин М.И., Ноклеберг У., Прокопьев А.В., Тимофеев В.Ф., Томуртогов О., Янь Х.** Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеанская геология, 2003, № 6, с. 7—41.
- Прокопьев А.В.** Верхояно-Черский коллизионный ороген // Тихоокеанская геология, 1998, т. 17, № 5, с. 3—10.
- Прокопьев А.В., Бахарев А.Г., Торо Х., Миллер Э.Л., Хоуриген Дж. К., Думитру Т.А.** Среднепалеозойский окраинно-континентальный магматизм и мезозойские метаморфические события зоны сочленения Северо-Азиатского кратона и Охотского террейна: новые геохимические и геохронологические данные и их геодинамическая интерпретация // Отечественная геология, 2003, № 6, с. 57—64.
- Прокопьев А.В., Бахарев А.Г., Гамянин Г.Н., Зайцев А.И.** Интерференция синхронных геодинамических событий (на примере Верхояно-Колымских мезозоид) // Тектоника, глубинное строение и минерагения востока Азии. Хабаровск, ИТиГ ДВО РАН, 2006а, с. 57—60.
- Прокопьев А.В., Торо Х., Миллер Э.Л., Лейер П.У., Хоуриген Дж.К., Бахарев А.Г., Зайцев А.И., Думитру Т., Джерелс Дж.Э., Уоллес В.Л., Третьяков Ф.Ф., Тарабукин В.П.** Новые U-Pb, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изотопные геохронологические и АФТ термохронологические данные по северо-востоку Якутии и их возможная тектоническая и геодинамическая интерпретации // Рудогенез и металлогения востока Азии. Якутск, ИГАБМ СО РАН, 2006б, с. 145—148.
- Прокопьев А.В., Торо Х., Миллер Э.Л., Вуден Дж., Трунилина В.А., Бахарев А.Г.** Гранитоиды Главного батолитового пояса (северо-восток Азии): новые U-Pb SHRIMP геохронологические и геохимические данные // Тектоника и металлогения Северной Циркум-Пацифики и Восточной Азии. Хабаровск, ИТиГ ДВО РАН, 2007, с. 286—288.
- Прокопьев А.В., Бахарев А.Г., Торо Х., Миллер Э.Л.** Тас-Кыстабытский магматический пояс (северо-восток Азии): первые U-Pb (SHRIMP) и Sm-Nd данные // Граниты и эволюция Земли: геодинамическая позиция, петрогенезис и рудоносность гранитоидных батолитов. Улан-Удэ, Изд-во БНЦ СО РАН, 2008, с. 305—308.
- Прокопьев А.В., Павлова Г.Г., Борисенко А.С., Травин А.В., Торо Х., Третьяков Ф.Ф., Зайцев А.И., Бахарев А.Г., Трунилина В.А., Васильев Д.А., Роев С.П.** Дайки и плутоны поперечных магматических поясов Верхоянского складчато-надвигового пояса: новые геохронологические данные и их геодинамическая интерпретация // Тектоника и геодинамика складчатых поясов и платформ фанерозоя, т. II. М., ГЕОС, 2010, с. 174—177.
- Рожков И.С., Гринберг Г.А., Гамянин Г.Н., Кухтинский Ю.Г., Соловьев В.И.** Позднемезозойский магматизм и золотое оруденение Верхнеиндигирского района. М., Наука, 1971, 238 с.
- Силичев М.К., Андриянов Н.Г.** Структурно-геохимические принципы прогнозирования золоторудных месторождений Южно-Верхоянского синклинали // Вопросы рудоносности Якутии. Якутск, ЯФ СО АН СССР, 1974, с. 54—66.
- Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия)** / Под ред. Л.М. Парфенова, М.И. Кузьмина. М., МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001, 571 с.
- Третьяков Ф.Ф.** Новые данные по тектоническому строению некоторых рудных полей Восточной Якутии // Отечественная геология, 2009, № 5, с. 101—106.
- Третьяков Ф.Ф., Прокопьев А.В.** Геодинамические критерии формирования тектонических структур района Нежданинского золоторудного месторождения (Восточная Якутия) // Отечественная геология, 2014, № 5, с. 39—42.
- Третьяков Ф.Ф., Прокопьев А.В., Васильев Д.А.** Тектонические структуры Мангазейского рудного узла (Западное Верхоянье, Восточная Якутия) // Отечественная геология, 2008, № 5, с. 42—50.
- Трунилина В.А., Орлов Ю.С., Роев С.П., Иванов П.О., Федотов М.В., Хабибулина Т.С.** Геология и рудоносность магматитов хребта Полоусного. Якутск, ЯНЦ СО РАН, 1996, 132 с.
- Трунилина В.А., Зайцев А.И., Орлов Ю.С., Иванов А.И.** Петрогенетические особенности магматических пород Депутатского рудного поля // Отечественная геология, 2003, № 6, с. 34—41.

Федотов М.В. Петрохимические и геохимические особенности магматических образований Депутатского рудного поля // Генетические аспекты магматизма Восточной Якутии. Якутск, ЯНЦ СО РАН, 1994, с. 116—130.

Флеров Б.Л. Оловорудные месторождения Яно-Колымской складчатой области. Новосибирск, Наука, 1976, 284 с.

Флеров Б.Л., Индолев Л.Н., Яковлев Я.В., Бичус Б.Я. Геология и генезис оловорудных месторождений Якутии. М., Наука, 1971, 318 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. Структуры, минералогия и флюидный режим формирования руд полигенного Малотарьинского золоторудного поля (северо-восток России) // Тихоокеанская геология, 2015, т. 34, № 4, с. 39—52.

Чернышев И.В., Бахарев А.Г., Бортников Н.С., Гольцман Ю.В., Котов А.Б., Гамянин Г.Н., Чугаев А.В., Сальникова Е.Б., Баирова Э.Д. Геохронология магматических пород района золоторудного месторождения Нежданское (Якутия, Россия): U-Pb, Rb-Sr и Sm-Nd-изотопные данные // Геология рудных месторождений, 2012, т. 54, № 6, с. 487—512.

Шнай Г.К., Соболев А.Е., Игошина И.И. Лампроиты Южного Верхоянья // Докл. АН СССР, 1991, т. 319, № 4, с. 957—961.

Шпикерман В.И. Домеловая минералогия северо-востока Азии. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 1998, 333 с.

Baksi A.K., Archibald D.A., Farrar E. Intercalibration of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating standards // Chem. Geol., 1996, v. 129, p. 307—324.

Black L.P., Kamo S.L., Allen C.M., Aleinikoff J.N., Davis D.W., Korsch R.J., Foudoulis C. TEMORA 1: a new zircon standard for U-Pb geochronology // Chem. Geol., 2003, v. 200, p. 155—170.

Gotyachev N.A., Pirajno F. Gold deposits and gold metallogeny of Far East Russia // Ore Geol. Rev., 2014, v. 59, p. 123—151.

Harris D.B., Toro J., Prokopiev A.V. Detrital zircon U-Pb geochronology of Mesozoic sandstones from the Lower Yana River, northern Russia // Lithosphere, 2013, v. 5, № 1, p. 98—108.

Khudoley A.K., Prokopiev A.V. Defining the eastern boundary of the North Asian craton from structural and subsidence history studies of the Verkhoyansk fold-and-thrust belt // Geol. Soc. Amer. Special Paper 433, 2007, p. 391—410.

Layer P.W., Newberry R., Fujita K., Parfenov L.M., Trunilina V.A., Bakharev A.G. Tectonic setting of the plutonic belts of Yakutia, northeast Russia, based on $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology and trace element geochemistry // Geology, 2001, v. 29, № 2, p. 167—170.

Ludwig K.R. SQUID 1.02. A user's manual. Berkeley Geochronology Center Special Publication, № 2, 2455 Ridge Road, Berkeley, CA 94709, USA, 2001, 19 p.

Ludwig K.R. ISOPLOT 3.00. A user's manual. Berkeley Geochronology Center Special Publication, № 4, 2455 Ridge Road, Berkeley, CA 94709, USA, 2003, 70 p.

Metallogenesis and tectonics of Northeast Asia / Ed. W.J. Nokleberg. U.S. Geological Survey Professional Paper 1765, 2010, 624 p.

Parfenov L.M., Vetluzhskikh V.G., Gamyagin G.N., Davydov Yu.V., Deikunenko A.V., Kostin A.V., Nikitin V.M., Prokop'yev A.V., Smelov A.P., Supletsov V.M., Timofeev V.F., Fridovskiy V.Yu., Kholmogorov A.I., Yakovlev Ya.V. Main metallogenic units of the Sakha Republic (Yakutia), Russia // Int. Geol. Rev., 1999, v. 41, № 5, p. 425—456.

Prokopiev A.V., Toro J., Hourigan J.K., Bakharev A.G., Miller E.L. Middle Paleozoic—Mesozoic boundary of the North Asian craton and the Okhotsk terrane: new geochemical and geochronological data and their geodynamic interpretation // Stephan Mueller Spec. Publ. Ser., 2009, v. 4, p. 71—84.

Voroshin S.V., Tyukova E.E., Newberry R.J., Layer P.W. Orogenic gold and rare metal deposits of the Upper Kolyma District, Northeastern Russia: Relation to igneous rocks, timing, and metal assemblages // Ore Geol. Rev., 2014, v. 62, p. 1—24.

Williams I.S. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe: applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes // Rev. Econ. Geol., 1998, v. 7, p. 1—35.

*Поступила в редакцию 20 декабря 2017 г.,
после доработки — 10 апреля 2018 г.*