

УДК 550.4:553+553.41

МИНЕРАЛЫ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В УЛЬТРАБАЗИТАХ АРИАДНЕНСКОГО МАССИВА (СИХОТЭ-АЛИНСКИЙ ОРОГЕННЫЙ ПОЯС)

© 2024 г. Академик РАН А. И. Ханчук, В. П. Молчанов*, Д. В. Андросов

Поступило 21.03.2024 г.

После доработки 28.03.2024 г.

Принято к публикации 08.04.2024 г.

Приведены результаты детальных минералого-геохимических исследований благородных металлов из ультраосновных пород Ариадненского массива (Сихотэ-Алинский орогенный пояс). Выявлено присутствие несколько разновидностей золота, отличающихся различным соотношением Ag, Cu и Hg. Среди минералов платины преобладает изоферроплатина. Изотопный состав сульфидов ультрабазитов отвечает мантийному источнику, в то время как базиты характеризуются изотопно-лёгкой серой, указывая на возможность участия в рудогенезе коровых пород. Изотопно-углеродный анализ магматических пород свидетельствует о присутствии в них производных глубинных флюидов и изотопно-лёгкого биогенного вещества осадочных пород. Приведённые данные показывают, что в формировании рудоносных интрузий ультрабазит-базитов участвовали мантийные и коровые процессы. Ассоциация ильменита, золота и платины в ультрабазит-базитах, производная этих процессов, может служить в качестве поискового критерия для обнаружения промышленно-перспективных источников стратегических металлов.

Ключевые слова: золото, платина, минералогия, геохимия, изотопия, ультрабазиты, базиты, Ариадненский массив, Сихотэ-Алинский орогенный пояс

DOI: 10.31857/S2686739724080078

В обеспечении экономической и промышленной безопасности России в последние годы всё большее значение приобретают источники стратегических и критически важных металлов (Ti, Au, Pt, Nb, Ta, Sb, Cu и т.д.), незаменимых для развития наукоёмких отраслей промышленности. Открытие довольно крупных россыпей, приуроченных к массивам ультраосновных пород Сихотэ-Алинского орогенного пояса, внесло свой вклад в расширение минерально-сырьевой базы титана и золота в пределах юга Дальнего Востока России [1]. Однако благородно-редкометальный россыпной потенциал региона достаточно ограничен, поэтому остро встаёт проблема поиска коренных источников дефицитных полезных ископаемых. Нужны новые подходы к прогнозу, поиску и освоению минеральных ресурсов. Раскрытию отдельных аспектов этой проблемы способствует всестороннее изучение одного из эталонных объектов Сихотэ-Алиня – Ариадненского массива ультрабазит-базитов

и сопровождающих его проявлений благородно-редкометальной минерализации. В связи с вовлечением их в сферу промышленного освоения многие вопросы формирования оруденения, особенностей концентрирования и происхождения становятся достаточно острыми. Раскрытию отдельных аспектов обозначенной проблемы будет способствовать всестороннее изучение проявлений золотоплатиновой минерализации, выявленных авторами в ультрабазит-базитах массива.

В настоящей статье изложены первые сведения о благородных металлах магматических пород Ариадненского массива. Детальное изучение минеральных форм их нахождения, установление индикаторных свойств, особенностей площадного распространения в сочетании с изотопно-геохимическими исследованиями позволило сделать вывод о генетической принадлежности руд, а также способствовало объективной оценке как золотого, так и платинометального потенциала изученной территории. Источником информации, послужил каменный и шлиховой материал, отобранный из старых поверхностных горных выработок, обнажений коренных горных

Дальневосточный геологический институт, Дальневосточное отделение Российской Академии наук, Владивосток, Россия
*E-mail: vpmol@mail.ru

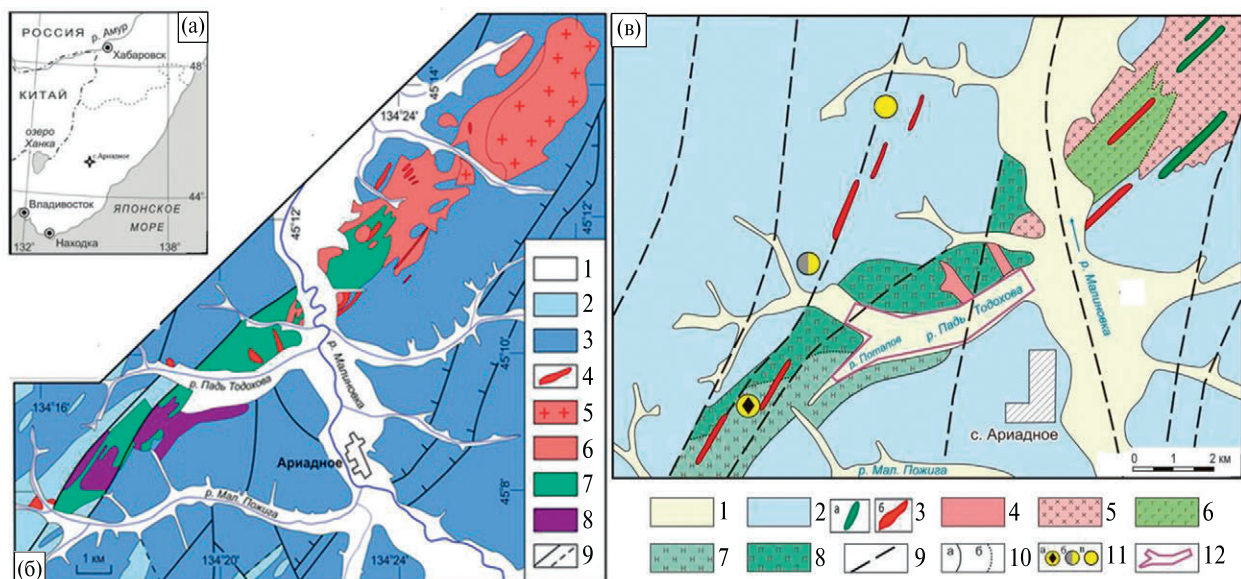


Рис. 1. Схемы геологического строения района Ариадненского массива (Б) и размещения рудно-россыпной минерализации (В). Составлены авторами с использованием материалов В.М. Лосива (1990 г.), Г.С. Белянского (2011 г.) и А.И. Ханчука [1]. А: Врезка на карте — местоположение изученной площади. Б: 1 — четвертичные отложения; 2 — ранне-среднеюрский субдукционный меланж с алевролитовым матриксом и включениями пермских и триасовых кремней, базальтов и раннеюрских кремнистых аргиллитов; 3 — среднеюрские турбидиты; 4 — позднемереловые интрузии и дайки основного и кислого состава; 5–8 — породы Ариадненского массива: 5 — граниты; 6 — габбро-диориты, диориты, монцодиориты и сиениты; 7 — габбро, ильменитовые габбро; 8 — перидотиты и пироксениты; 9 — разломы. В: 1 — четвертичные аллювиальные отложения; 2 — ранне-среднеюрские турбидиты и субдукционный меланж аккреционной призмы с включениями позднепалеозойских и нижнемезозойских океанических кремней, сланцев, известняков и базальтов; 3 — дайки основного (а) и кислого (б) состава (K_2); 4 — диориты, кварцевые диориты, гранодиориты (K_2); 5–8 — породы Ариадненского массива (K_1); 5 — диориты; 6 — габбро; 7 — габбро с ильменитом и шлирами перидотитов; 8 — перидотиты; 9 — разрывные нарушения; 10 — границы разновозрастных стратиграфических и интрузивных образований: достоверные (а), фациальные (б); 11 — месторождение и рудопроявления: Ариадненское (а), Тодоховское (б), Конторское (в); 12 — контур золото-ильменитовой россыпи.

пород и рыхлых отложений бассейна среднего течения р. Малиновка, входящей в систему водосбора р. Уссури (правый приток р. Амур).

Поставленные задачи решались с использованием минералого-геохимических и изотопно-геохимических методов исследований. Минералогические исследования осуществлялись с применением сканирующего электронного микроскопа EVO-500XVP с системой анализа INCA Energy 350 “Oxford Instruments”. Образцы для микроанализа готовили в виде полированных шайб с запрессованными в них эпоксидной смолой минеральными зёрнами. Полученные искусственные монтровки предварительно изучались в отражённом свете оптического микроскопа. Далее на поверхности образцов в вакууме на установке CC 7650 (“Quarum Technologies Ltd.”, Великобритания) напыляли проводящий слой углерода толщиной до 20 нм для последующих аналитических исследований.

Анализ микроэлементного состава проб выполнен на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) Agilent 7500c (“Agilent Technologies”, Япония), оборудованном распылителем Бабингтона, охлаждаемой распылительной камерой Скотта заземлённой горелкой Фассела. Определение петрогенных элементов проводилось на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой iCAP 6500 Duo (ИСП-АЭС) (“ThermoScientific”, США).

Определение золота в пробах осуществляли методом инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) на разработанной в Институте химии ДВО РАН установке [2].

Изотопный анализ серы сульфидов выполнен лазерным методом с использованием фемтосекундной лазерной абляции NWR Femto [3]. Измерение изотопных соотношений серы проведено на изотопном масс-спектрометре Finnigan MAT 253 (“ThermoFinnigan”, Bremen, Germany).

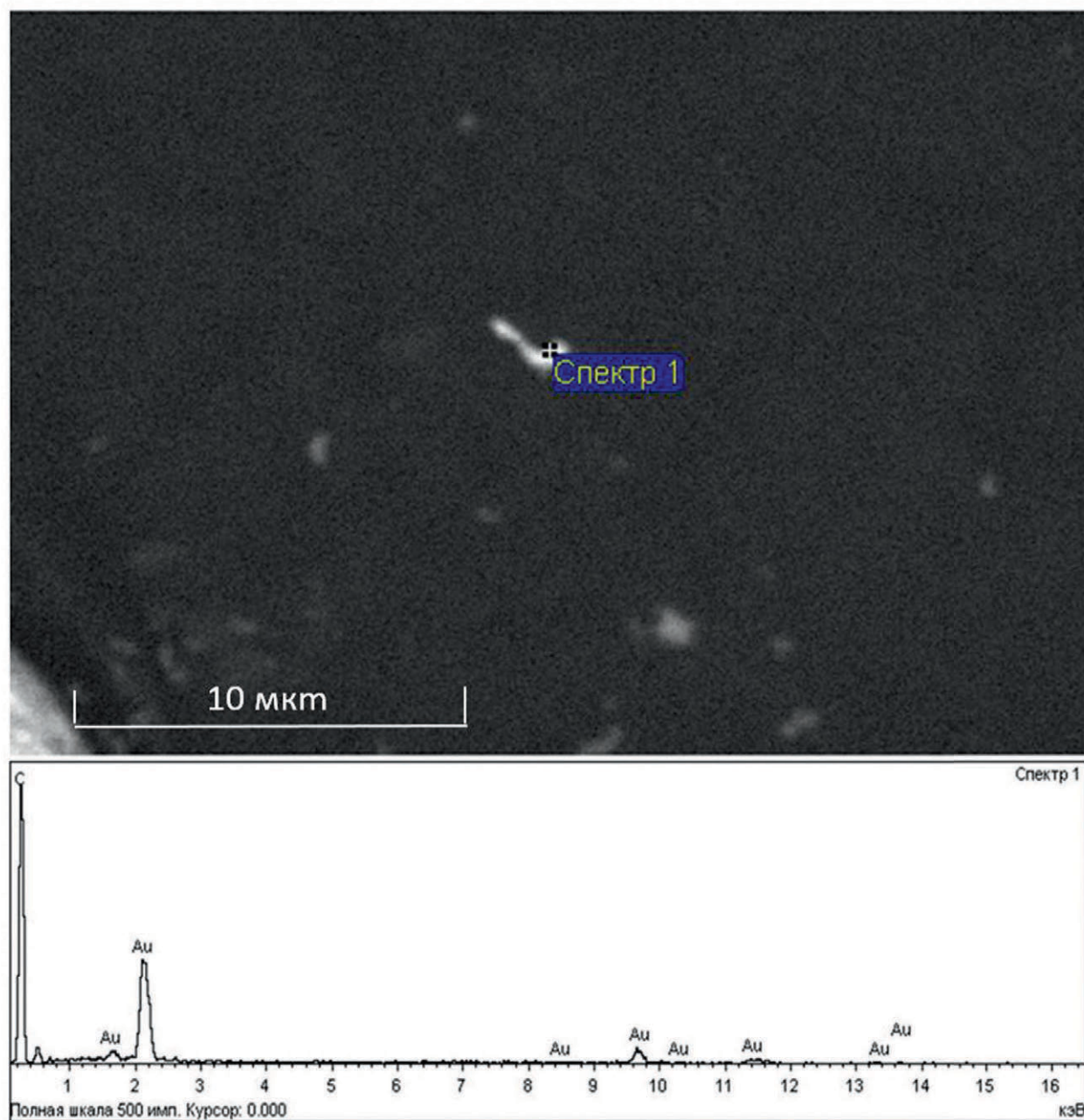


Рис. 2. Изображение беспримесной золотины с соответствующим энергодисперсионным спектром.

с использованием двойной системы напуска. Определения изотопного состава приведены относительно лабораторного рабочего стандарта, калибровка которого выполнена с использованием международных стандартов IAEA-S-1, IAEA-S-2, IAEA-S-3 и NBS-123. Погрешность определения $\delta^{34}\text{S}$ составляла $\pm 0.2\text{‰}$.

Изотопный анализ углерода в магматических породах выполнен на изотопном масс-спектрометре Finnigan MAT 253 с использованием двойной системы напуска. Подготовка образцов

к масс-спектрометрическому изотопному анализу углерода проведена по методике окисления углерода на окислительной колонке CuO [4]. Воспроизводимость метода составляет $\pm 0.1\text{‰}$.

В геологическом строении изученной площади, расположенной в центральной части Приморского края, принимают участие среднеюрские турбидиты и микститы (субдукционный меланж) аккреционной призмы с включениями позднепалеозойских и раннемезозойских

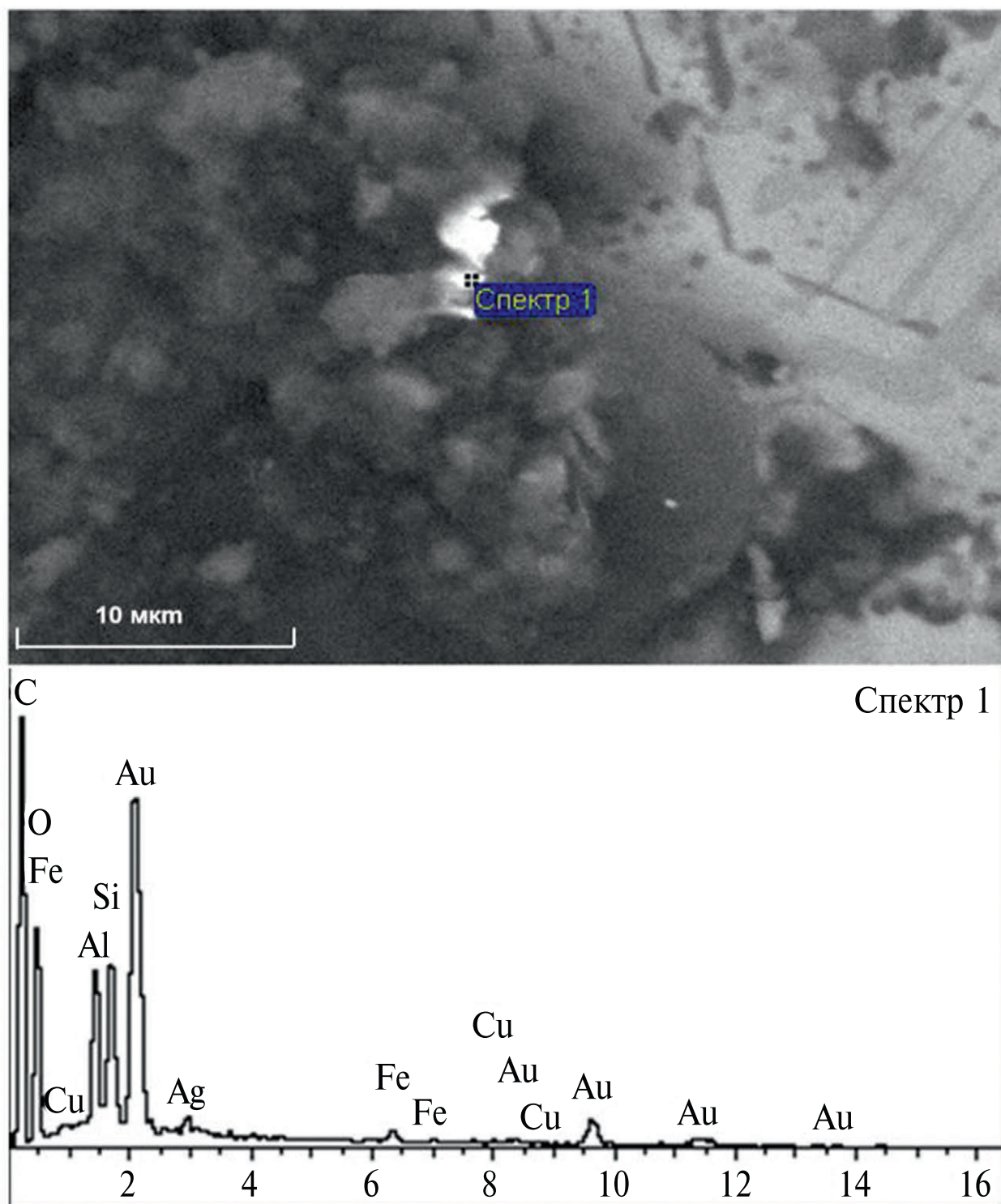


Рис. 3. Изображение частицы медистого золота с соответствующим энергодисперсионным спектром.

океанических кремней, сланцев, известняков и базальтов (рис. 1 а, б).

Вулканогенно-осадочные породы прорваны Ариадненской интрузией ультраосновного

состава, юго-западная часть которой сложена ультраосновными породами первой фазы внедрения — перидотитами и оливиновыми пироксенитами, постепенно переходящими к центру

в ильменитовые и амфиболовые габбро. На северо-востоке интрузии преобладают диориты, монцодиориты и сиениты второй фазы. Ко второй фазе отнесены также немногочисленные маломощные дайки диабазов, сиенитов, трахитов и умеренно-щелочных пикритов в интрузии первой фазы и во вмещающих массив роговиках, а также своеобразные дайки флюидоэксплозивных брекчий умеренно-щелочных пикритов, приуроченные к ЮВ-экзоконтакту плутона. Возможно, что граниты на СВ-окончании массива являются фазой Ариадненского массива [1]. В центральной части массива в ильменитовых габбро локализованы Ариадненское золото-титановое месторождение с россыпями р. Падь Тодохова и кл. Потапова, в эндоконтакте — золото-сурьмяные образования Тодоховского рудопроявления, а в околоинтрузивной зоне — золото-медное Конторское рудопроявление (рис. 1 в).

Изученные ультраосновные (перидотиты и пироксениты) и основные (ильменитовые габбро) породы массива образуют единую серию с постепенным накоплением редких и редкоземельных элементов в более дифференцированных разновидностях. Одной из их отличительных черт является присутствие первичной (магматической) благороднометальной минерализации. Как показали наши исследования, в перидотитах и пироксенитах концентрации золота редко превышают 0.02–0.03 г/т. В рудных ильменитовых габбро содержания золота колеблются в интервале от 0.03 до 0.2 г/т и лишь в единичных случаях достигают 1.0 г/т. При этом ресурсы благородных металлов оцениваются весьма высоко. Судя по фондовым материалам (Лосив, 1990 г.), прогнозные запасы золота достигают 22.5 т, а платиновых металлов — 22 т.

Для выяснения закономерностей формирования благороднометальной минерализации Ариадненского массива сопоставлены результаты исследований золота и платины ультрамафитов и титаноносной россыпи, продуцируемой рудными ильменитовыми габбро.

Золото. Самородное золото ультраосновных пород (23 зерна) по особенностям химизма подразделяется на три группы. В первую из них входят микронные выделения (рис. 2) практически беспримесного золота (проба до 1000‰).

Ко второй группе (доминирующей) относятся мелкие частицы металла ярко-жёлтого цвета размером не более 0.05 мм, основу состава макрокомпонентов у которых составляют Au (экстремум в пределах от 94.3 до 95.3 мас. %) и Ag

(3.7–5.6 мас. %). Третья группа состоит из мелких изометричных частиц золота жёлтого цвета с красноватым оттенком. Типоморфной примесью этих высокопробных (4–5 мас. % Ag) золотин можно считать медь, содержание которой обычно колеблется в пределах 2.1–3.5 мас. % (рис. 3).

Отличительной чертой ильменитовой россыпи, продуцируемой рудными ильменитовыми габбро, является присутствие трех групп самородного золота — медистой, ртутистой и серебряистой. Первая из них представлена тонкими (менее 0.1 мм) изометричными золотиными ярко-жёлтого цвета с красноватым оттенком средней пробы (850–900 ‰), характеризующихся постоянным присутствием Cu (0.1–3.2 ат. %). Во вторую входят мелкие зёрна (менее 0.1 мм) изометричных очертаний, примечательных постоянным присутствием примеси Hg: от 3.5 до 4.3 мас. %. Концентрации Au и Ag колеблются соответственно от 53.7 до 55.4 и от 39.1 до 41.5. Они характеризуются невысокой устойчивостью в гипергенных условиях. Своеобразие вторичных преобразований выразилось в образовании высокопробной пористой диффузионной зоны, в которой практически полностью отсутствует Hg. Схожие изменения претерпевало гипогенное ртутистое золото в процессе формирования многих россыпей Урала, тяготеющих к интрузиям ультрабазитов [5]. Третья группа состоит из низко-, средне- и высокопробных разновидностей золото-серебряных природных сплавов. Наиболее широко представлены золотины средней пробы. Макроскопически эти обособления — комковидные (до 0.3 мм в поперечнике), редко пластинчатые частицы жёлтого цвета. Поверхность частиц — мелкаямчатая, окатанность — средняя, иногда плохая. Они характеризуются сравнительно узким диапазоном колебаний значений пробы от 850 до 930‰.

Ртутистый и медистый состав примесей в самородном золоте россыпей [6, 7] является важным информативным признаком “ультрабазитового” типа коренного источника. Так, находки самородного золота с высокими концентрациями Cu и Hg неоднократно отмечались в рудо-россыпепроявлениях, тяготеющих к комплексам урало-аляскинского типа [5, 8]. В пользу этой точки зрения, в нашем случае, свидетельствует близость макросоставов шлихового золота “ультрамафитового” профиля и его аналогов из ультраосновных пород. Факт сохранения геохимических характеристик россыпных золотин первично-магматического генезиса имеет

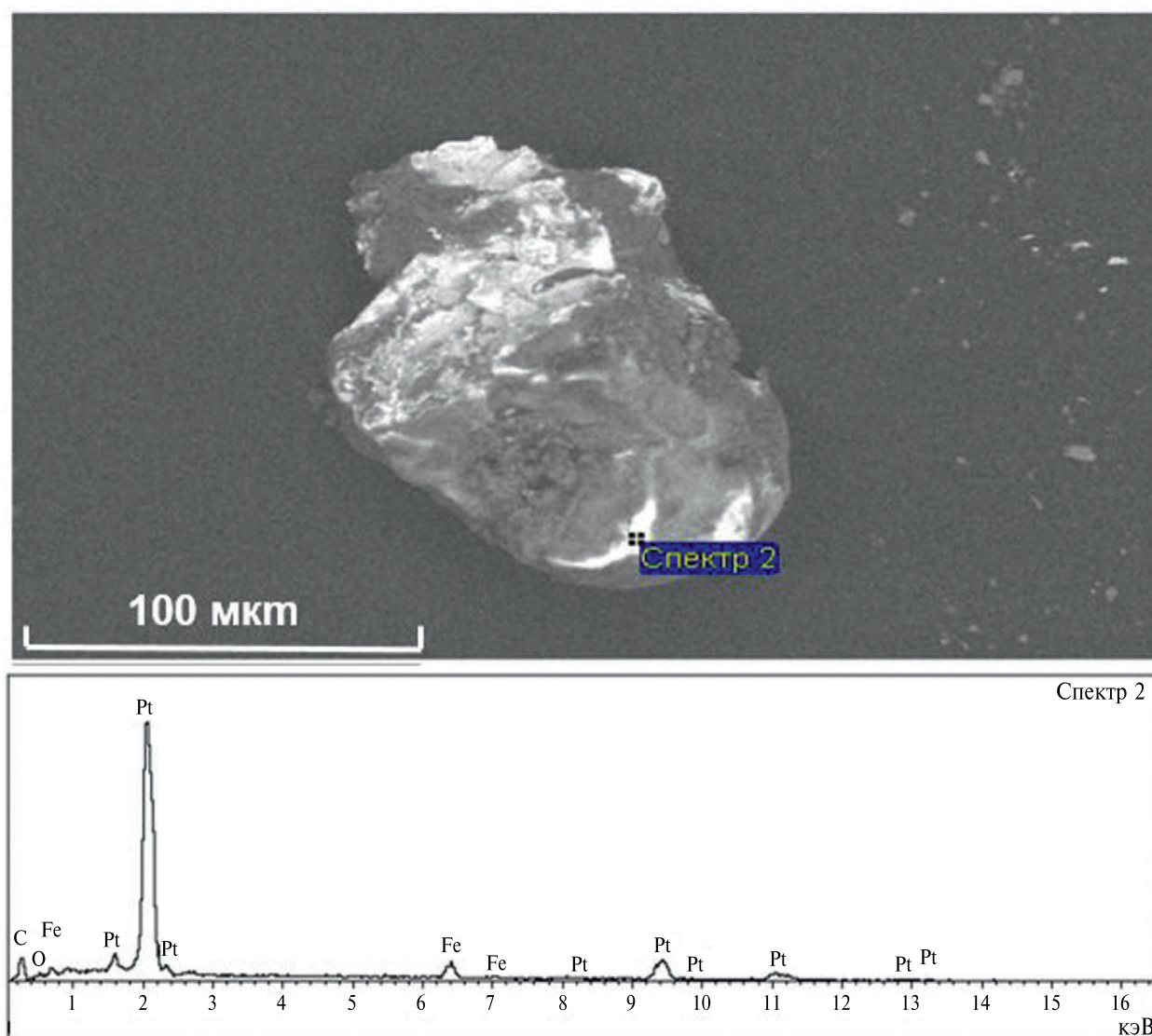


Рис. 4. Морфология выделения изоферроплатины.

принципиальное значение, поскольку может использоваться при металлогенических построениях, а также оценке перспектив ресурсного потенциала территорий не только юга Дальнего Востока но и других регионов.

Платина. Минералы платиноидов, выделенные из протолочек ультрабазитов, образуют округлые, комковидные зёрна (рис. 4). Размер их варьирует в пределах 0.05–0.15 мм. Анализ 7 изученных зёрен с применением сканирующей электронной микроскопии показал, что их можно отнести к изоферроплатине (Pt от 88.5 до 90.1 мас. %), по составу соответствующей формализованной формуле Pt_3Fe .

Поверхности зёрен изоферроплатины фрагментарно покрыты наноразмерной плёнкой

толщиной порядка 500–600 нм, состоящей из углерода, железа, циркония, кремния, хлора и серы (рис. 5). На ней обнаружены микронные изометричные выделения сульфида платины – куперита (Pt от 84.4 до 86.1, S от 10.8 до 15.6 мас. %). Исходя из взаимоотношений минералов, можно заключить, что метасоматические преобразования Fe–Pt-сплавов осуществлялись с выносом Pt и привносом S. Из литературных источников известно об интенсивных преобразованиях платиноидов при серпентинизации ультрабазитов [9]. В нашем случае можно предположить, что изменение платиноидов происходило в процессе гидротермальной переработки на поздних этапах ультрабазитового магматизма.

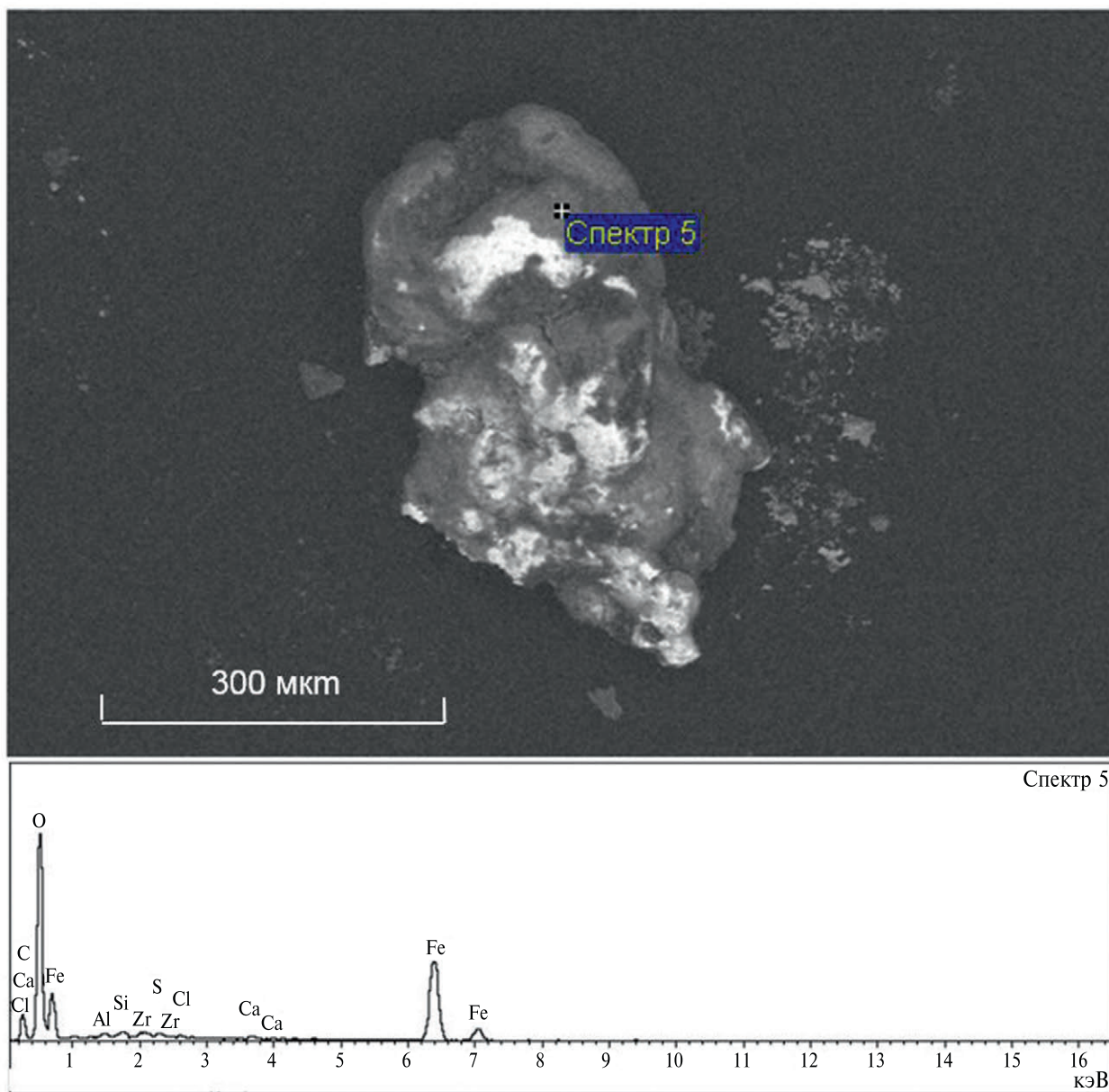


Рис. 5. Изображение плёнки на зерне изоферроплатины с соответствующим энергодисперсионным спектром.

Шлиховая платина россыпи обычно встречается в виде комковатых обособлений неправильной или овальной, уплощённой формы, в поперечнике не превышающих 0.3 мм.

Анализ изученных 8 зёрен показывает, что они представлены фазами системы Pt–Fe, где ведущим минералообразующим элементом является Pt (87.1–90.8 мас. %). Их можно отнести, используя известную номенклатуру [10], к изоферроплатине с концентрацией Fe+Cu в интервале 25.7–27.9 ат. %. Преобладание Pt–Fe фаз в россыпях, как отмечалось ранее [11], является

типоморфным признаком их генетической связи с ультрабазит-базитовыми комплексами урало-алаянского типа. Классическими объектами этого типа являются ультрабазит-базиты Урала, Корякской складчатой области, Юга-Восточной Аляски, Китая [11–13]. Минералы системы Pt–Fe преобладают в платиноидно-золотых россыпях Приморья, тяготеющих к ультрабазит-базитам урало-алаянского типа [14, 15]. Результаты проведённых исследований дают основания полагать, что ультраосновные и основные породы Ариадненского узла активно участвовали в формировании россыпей, поставляя в них ильменит,

серебристое, медистое и ртутистое золото, изoferроплатину. Опыт геологических работ в пределах Платинового пояса Урала указывает на высокую вероятность открытия перспективных рудных объектов непосредственно в ультрамафит-мафитах, что меняет представление о критериях поиска и разведки коренных проявлений благородно-редкометальной минерализации Сихотэ-Алиня.

Для оценки источников рудного вещества был проанализирован изотопный состав серы пиритов ультраосновных пород, а также пирротина из рудных ильменитовых габбро. Изотопные характеристики серы сульфидов (12 анализов) обладают высокой степенью гомогенности, укладываясь в довольно узкий интервал значения $\delta^{34}\text{S}$ от 0.5 до -1.3‰ , отвечающий мантийному источнику серы [16]. Диапазон изменений $\delta^{34}\text{S}$ сульфидов рудных образований несколько облегчен. Так, значения $\delta^{34}\text{S}$ (6 анализов) пирротина меняются от -3.0 до -3.7‰ . Изотопное фракционирование обусловлено, скорее всего, изменениями физико-химических характеристик рудообразующих флюидов (Eh-pH, температуры) в направлении от юга-западной (перидотиты и пироксениты) через центр интрузии (ильменитовые габбро) к её периферии, обусловивших развитие в экзоконтакте и околоинтрузивной зоне золото-сурьмяных и золото-медных образований.

Изотопно-лёгкий состав сульфидной серы разнотипных руд может свидетельствовать об участии в их формирования коровых процессов. Представляется, что наиболее вероятным источником серы были коровые породы, обогащенные органическим веществом, контаминированные в процессе становления Ариадненской интрузии. Сульфат-редукция осадочных сульфатов привела к появлению значительных количеств сероводорода. Этот сероводород участвовал как в формировании сульфидов титановых руд, так и сурьмяной и медной минерализации. Появление сурьмы и меди в рудоносных флюидах также может быть связана с их мобилизацией из корового вещества. К настоящему времени накоплен значительный материал [17], указывающий на возможность корового происхождения многих металлов, в том числе сурьмы и меди.

Ключом к расшифровке природы рудного вещества может послужить углеродистое вещество ультрабазит-базитов, а точнее изотопный состав его углерода. Как показал элементный анализ, отличительной чертой ультраосновных пород является довольно высокая степень углеродизации

(содержание углерода в них достигают 0.3–0.5 мас. %). При этом, среди составных компонентов углеродистого вещества значимое место занимает графит. Его образование в природе, как отмечалось ранее [18], возможно при метаморфизме органического вещества, воздействии магматических интрузий на карбонатные породы, восстановлении из флюида мантийного происхождения, насыщенного CH_4 , CO , CO_2 . Поскольку эти источники характеризуются различными величинами изотопных соотношений $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, то эти параметры можно считать индикаторами генезиса графита. Так, изотопные характеристики углерода органического вещества варьируют в диапазоне $\delta^{13}\text{C}$ от -17 до -40‰ при средних значениях $\delta^{13}\text{C}$ от -26 до -28‰ [19]. Морские карбонаты ($\delta^{13}\text{C}$ от -2.0 до $+2.0\text{‰}$) и мантийный углерод (от -5 до -7‰) по изотопно-углеродному весу значительно тяжелее органического вещества [20]. Изученные магматические породы, как показал изотопно-углеродный анализ, характеризуются широким диапазоном колебаний $\delta^{13}\text{C}$, изменяясь в интервале от -17.5 до -26.6‰ , отражающим присутствие изотопно-лёгкого биогенного углерода.

Для выяснения природы углеродистого вещества партия проб магматических пород прошла обогащение флотационным методом. При этом, в качестве вспенивателя использовали сосновое масло, а в качестве собирателя – длинноцепочечный амин. Установлено, что в пенном продукте значения $\delta^{13}\text{C}$ меняются в пределах от -24.1 до -25.8‰ , тогда как значения $\delta^{13}\text{C}$ углерода камерного продукта, где концентрируются минералы благородных металлов, сдвинуты в сторону мантийного источника, характеризуясь низкими значениями $\delta^{13}\text{C}$ (от -13.2 до -15.9‰). Полученные данные по изотопии углерода ультрабазит-базитов позволяет полагать, что в формировании сингенетичной им рудной минерализации участвовала по меньшей мере два изотопно-контрастных источника: флюиды мантийного происхождения и осадочные породы с органическими соединениями. Широкие вариации изменений изотопного состава углерода ($\delta^{13}\text{C}$ от -13.2 до -26.6‰) отражает различный вклад биогенного углерода [19]. В любом случае, одним из главных поставщиков углерода при формировании рудного вещества Ариадненской интрузии были глубинные флюидные потоки.

Таким образом, выполненные исследования позволили установить присутствие в ультрабазитах Ариадненского массива золото-платиноидной минерализации близкой рудам

урало-алаянского типа. Выделено четыре разновидности золота, различающиеся соотношением Ag, Cu и Hg. Среди платиновых минералов преобладает изоферроплатина. Установлено, что изотопный состав серы сульфидов перидотитов и пироксенитов соответствует мантийному источнику рудного вещества. В то же время изотопные характеристики серы сульфидов ильменитовых габбро укладываются в довольно узкий интервал, несколько облегченный относительно ультраосновных пород свидетельствуя, скорее всего, об участии в их формирования коровых процессов. Представляется, что наиболее вероятным источником серы были осадочные породы, обогащенные органическим веществом, контаминированные в процессе становления Ариадненской интрузии. Сульфат-редукция осадочных сульфатов привела к появлению значительных количеств сероводорода. Этот сероводород участвовал в формировании рудного вещества. Изотопный состав углерода из ультрабазит-базитов также свидетельствует в пользу участия в рудогенезе углеродистого вещества черносланцевых пород околоинтрузивной зоны. Геодинамическая обстановка ультрабазитов позволяет полагать об участии в формировании рудной минерализации мантийных и коровых процессов. Ассоциация ильменита, золота и платины, производная этих процессов, может служить в качестве поискового критерия для обнаружения промышленно-перспективных источников стратегических металлов.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-17-00093 (<https://rscf.ru/project/23-17-00093>).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Khanchuk A. I., Molchanov V. P.* The Ore Potential of the Late Mesozoic Ariadnensky Massif of Ultramafic, Mafic, and Granitoid Rocks (Sikhote-Alin Orogenic Belt) // *Russian Journal of Pacific Geology*. 2023. V. 17. № 6. P. 517–530. <https://doi.org/10.1134/S1819714023060052>
2. *Ivannikov S. I., Markin N. S., Zhelezov V. V.* // *Nuclear Technology and Radiation Protection*. 2021. V. 36. № 1. P. 12–17. <https://doi.org/10.2298/NTRP2012170051>
3. *Ignatiev A. V., Velivetskaya T. A., Budnitskiy S. Y., Yakovenko V. V., Vysotskiy S. V., Levitskii V. I.* Precision analysis of multisulfur isotopes in sulfides by femtosecond laser ablation GC-IRMS at high spatial resolution // *Chem. Geol.* 2018. № 493. P. 316–326. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2018.06.006>
4. *Веливецкая Т. А., Игнатьев А. В., Рейзе М. В., Куяшко С. И.* Экспрессный метод подготовки жидких и твердых проб органических веществ для изотопного анализа углерода // *Масс-спектрометрия*. 2006. Т. 3. № 3. С. 169–174.
5. *Мурзин В. В., Малюгин А. А.* Типоморфизм золота зоны гипергенеза (на примере Урала). Свердловск: УНЦ, 1987. 96 с.
6. *Chapman R. J., Moles N. R., Bluemel B., Walshaw R. D.* Detrital Gold as an Indicator Mineral // *Geological Society, London, Special Publications: London, UK*. 2021. V. 516. P. 313–336. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c.5625450.v1>
7. *Palyanova G. A., Zhegunov P. S., Beliaeva T. V., Murzin V. V., Borovikov A. A., Goryachev N. A.* Palladian Gold: Chemical Composition, Minerals in Association, and Physicochemical Conditions of Formation at Different Types of Gold Deposits // *Minerals*. 2023. № 13. P. 1019. <https://doi.org/10.3390/min13081019>
8. *Johan Z.* Platinum-group minerals from placers related to the Nizhni Tagil (Middle Urals, Russia) Uralian-Alaskan-type ultramafic complex: Ore-mineralogy and study of silicate inclusions in (Pt, Fe) alloys // *Mineral. Petrol.* 2006. № 87. P. 1–30. <https://doi.org/10.1007/s00710-005-0117-1>
9. *Заварицкий А. Н.* Коренные месторождения платины на Урале. Геолком: Материалы по общей и прикладной геологии. Л.: Изд-во Геолкома, 1938. 61 с.
10. *Harris D. C., Cabri L. J.* Nomenclature of platinum-group-elements Allous. Review and Revision // *Can. Miner.* 1991. V. 29. P. 231–237.
11. *Сидоров Е. Г., Козлов А. П., Толстых Н. Д.* Гальмоэнанский базит-гипербазитовый массив и его платиноносность. М.: Научный мир, 2012. 288 с.
12. *Иванов О. К.* Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 1997. 546 с.
13. *Himmelberg G. R., Loney R.* Characteristics and petrogenesis of alaskan-type ultramafic-mafic intrusions, Southeastern Alaska // *U.S. Geol. Surv. Prof. Papers*. 1995. № 1564. P. 1–43.
14. *Молчанов В. П., Мусеенко В. Г., Хомич В. Г.* Минералы благородных металлов россыпей Фадеевского узла (Приморье) как индикаторы формационной принадлежности коренных источников // *ДАН*. 2005. Т. 402. № 5. С. 661–664.
15. *Ishiwatari A., Ichiyama Y.* Alaskan-Type Plutons and Ultramafic Lavas in Far East Russia, Northeast China, and Japan // *Inter. Geol. Rev.* 2004. V. 46. P. 316–331.

16. *Rollinson H. R.* Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Longman Group UK Ltd, 1993. 352 p.
17. *Озерова Н. А.* Ртуть и эндогенное рудообразование. М.: Наука, 1986. 232 с.
18. *Галимов Э. М.* Геохимия стабильных изотопов углерода. М.: Недра, 1968. 226 с.
19. *Hoefs J.* Stable Isotope Geochemistry. Berlin: Springer, 2015. 402 p.
20. *Luque F., Crespo Feo E., Barrenechea J., Ortega L.* Carbon isotopes of graphite: Implications on fluid history// Geoscience Frontiers. 2012. № 3. P. 197–207.

PRECIOUS METAL MINERALS IN THE ULTRABASITES OF THE ARIADNE MASSIF (SIKHOTE-ALIN OROGENIC BELT)

Academician of the RAS **A. I. Khanchuk, V. P. Molchanov[#], D. V. Androsov**

Far Eastern Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation

[#]*E-mail: vpmol@mail.ru*

The results of detailed mineralogical and geochemical studies of precious metals from ultrabasic rocks of the Ariadne massif (Sikhote-Alin orogenic belt) are presented. The presence of several varieties of gold has been revealed, differing in different ratios of Ag, Cu and Hg. Isoferroplatin predominates among platinum minerals. The isotopic composition of ultrabasic sulfides corresponds to the mantle source, while basites are characterized by isotope–light sulfur, indicating the possibility of participation in the oreogenesis of crustal rocks. Isotope–carbon analysis of igneous rocks indicates the presence of derivatives of deep fluids and isotope–light biogenic matter of sedimentary rocks in them. These data show that mantle and crustal processes were involved in the formation of ore-bearing intrusions of ultrabasic–basites. The association of ilmenite, gold and platinum in ultrabasic basites, a derivative of these processes, can serve as a search criterion for the detection of industrially promising sources of strategic metals.

Keywords: gold, platinum, mineralogy, geochemistry, isotopy, ultrabasites, basites, Ariadne massif, Sikhote-Alin orogenic belt