

УДК 552.321.6:553.08

РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ГАББРОИДОВ АРГЫСУКСКОГО МАССИВА (СЕВЕРО-ЗАПАД ВОСТОЧНОГО САЯНА)

Юричев Алексей Николаевич,
juratur@sibmail.com

Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

Актуальность работы обусловлена необходимостью детального петрологического исследования многочисленных потенциально рудоносных мафит-ультрамафитовых массивов Канской глыбы Восточного Саяна с целью совершенствования региональных схем корреляции, а также выявления в них Pt-Cu-Ni оруденения.

Цель работы: изучение рудной специализации пород Аргысукского массива с целью доказательства обоснованности ранее сделанного предположения о существенном сходстве Талажинского и Аргысукского массивов и возможности их отнесения к единому формационному типу, а также для оценки степени потенциальной перспективности интрузива на обнаружение в нем промышленного медно-никелевого оруденения.

Методы исследования: изучение рудной минерализации в аншлифах с использованием поляризационного микроскопа Axio-Scope Carl Zeiss; диагностика химического состава рудной минерализации методом рентгеноспектрального микроанализа с применением электронного сканирующего микроскопа Tescan Vega II LMU, оборудованного энергодисперсионным спектрометром (с полупроводниковым Si (Li) детектором INCA x-sight) INCA Energy 450 и волнодисперсионным спектрометром INCA Wave 700. **Результаты.** Впервые выявлены и диагностированы в габброидах Аргысукского массива рудные минералы и их вещественный состав. В ходе изучения проведено их разделение на две минеральные группы (магнетит-шпинелид-ильменитовую и сульфидную) и сделано предположение о генетической природе данных минералов. Изученная минерализация обнаруживает высокое сходство по своей специализации, минеральному набору и химизму с минерализацией габброидов Талажинского массива, что дополнительно подтверждает ранее сделанное предположение о высоком сходстве этих объектов и их единой формационной природе. Типоморфные и химические особенности сульфидов указывают на то, что их кристаллизация в габброидах происходила из исходного высокожелезистого сульфидного расплава в условиях повышенной фугитивности серы и значимой роли меди в рудной системе. Полученные результаты наряду с петрологическими особенностями позволяют предполагать высокую перспективность исследуемого массива на обнаружение Cu-Ni оруденения.

Ключевые слова:

Аргысукский массив, габброиды, рудная минерализация, химизм, сульфиды, потенциальная рудоносность.

Введение

В последние несколько десятилетий стали появляться новые данные по Pt-Cu-Ni оруденению, связанному с различными типами ультрамафит-мафитовых формаций разновозрастных подвижных поясов Центральной и Юго-Восточной Азии, охватывающих обширную территорию Южной Сибири, Казахстана, Монголии и Северного Китая [1–10], что представляет как научный, так и практический интерес. На территории Канской глыбы Восточного Саяна (рис. 1) при проведении ранее геолого-съемочных (ГСР) и прогнозно-металлогенических работ были выявлены многочисленные тела ультрамафитовых и мафит-ультрамафитовых интрузий, в которых неоднократно отмечалась рудная минерализация меди, никеля и благородных металлов [11–13]. В 60–80-е гг. XX в. в результате ГСР масштаба 1:50000 в пределах северо-западной части Канской глыбы Восточного Саяна был выделен Талажинский расслоенный плагиодунит-троктолит-анортосит-габбровый массив, не имеющий по своей формационной принадлежности аналогов в данном регионе. В 2007–2008 гг. в процессе поисково-разведочных работ на Pt-Cu-Ni оруденение А.Н. Смагиным был выделен небольшой по размерам габбровый Аргысукский массив, который в настоящее время мы считаем возмож-

ным сателлитом Талажинского массива, расположенного к юго-западу на расстоянии 1,5 км. Ранее проведенные комплексные петрологические исследования автора с соавторами подтвердили существенное сходство габброидов обоих массивов и позволили предположить их единую формационную принадлежность [14]. Однако структурная позиция, генезис и металлогеническая специализация данных объектов до сих пор остаются дискуссионными.

Целью настоящего исследования является изучение рудной минерализации габбровой серии пород Аргысукского массива для выяснения ее специализации и сравнения с рудными минералами габброидов Талажинского массива, а также для оценки степени перспективности исследуемого интрузива на обнаружение в нем промышленного медно-никелевого оруденения.

Краткая геологическая характеристика исследуемого массива

Аргысукский габбровый массив выделен в самостоятельный объект в 2008 г. из Малодизинского плутона, который в настоящее время также требует всестороннего изучения в силу его противоречивой комплексной и возрастной трактовки: пи-

роксенит-габбровый – ϵ_{2-3} по [15], манский существенно габбровый – ϵ_{1-2} (по результатам ГСР 1978–1981 гг. на Кингашской площади под руководством А.Н. Смагина), кулибинский анортозит-пироксенит-габбровый – PR_1 (в легенде к геологической карте района 1:50000). Непосредственно возраст Аргысукского массива не определялся.

Массив расположен северо-восточнее Талажинского плутона на водоразделе истоков рр. Аргысук и Анжа (рис. 1), имеет на поверхности округлую форму ($3 \times 3,5$ км²) и сложен исключительно габброидами. Однако характер аэромагнитного поля

на исследуемой территории (по данным А.Н. Смагина, 2008 г.), указывает на наличие в нижней его части пластины ультрамафитов и их практически полную сохранность в результате крайне слабого современного эрозионного среза последних. Учитывая, что весь Аргысукский массив полностью находится в контурах контрастной аэромагнитной аномалии, характеристики которой свойственны только рудоносным ультрамафитам в пределах Канской глыбы, а также наличие по результатам ГСР 1978–1981 гг. контрастного по содержанию (0,01 %) и короткого (1,5 км) потока рассеяния

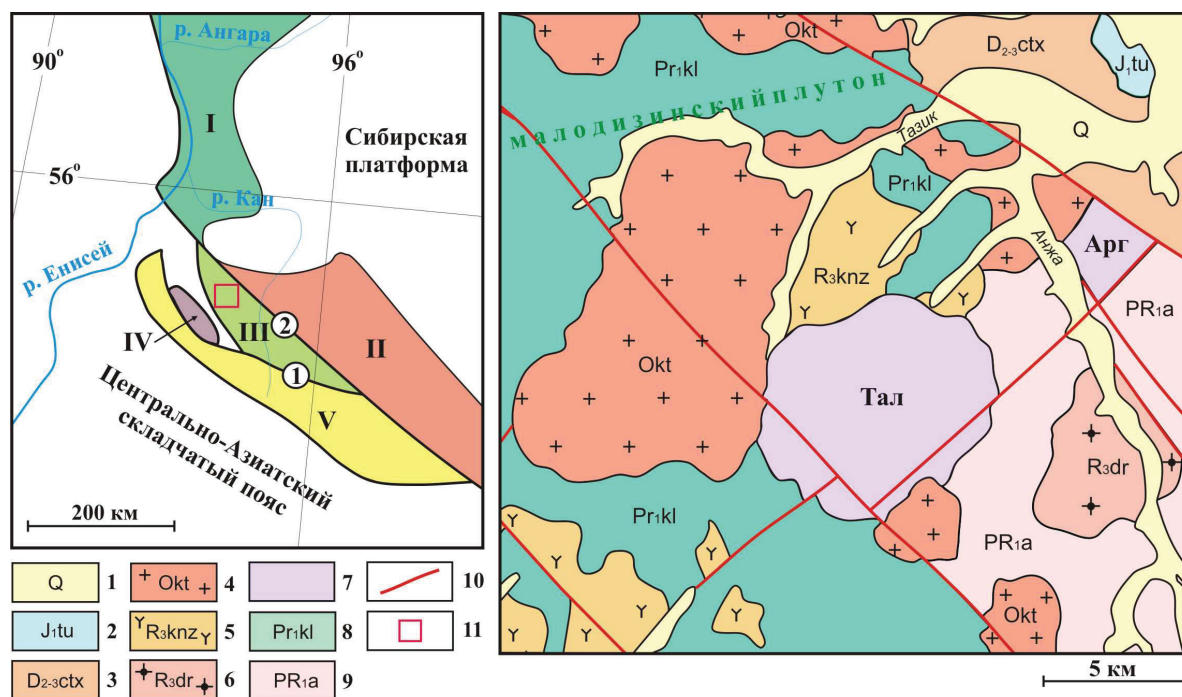


Рис. 1. Геологическая карта района локализации Аргысукского массива в пределах Канской глыбы и ее положение в региональной структуре (составлено по материалам А.Н. Смагина, А.В. Ренжина, А.Г. Еханина, А.Д. Ножкина, О.М. Туркиной, А.И. Чернышова): 1 – четвертичная аллювиальная терригенная формация; 2 – юрская терригенно-угленосная формация: переясловская свита; 3 – средне-верхнедевонская карбонатно-терригенная формация: павловская, кунгусская свиты; 4 – ордовикская лейкогранитовая формация: кутурчинский комплекс; 5 – позднерипейская габбро-сиенитовая формация: кинзельюкский (казырский) комплекс; 6 – позднерипейская (?) формация микроклиновых гранитов: дербинский, широкологский комплексы (возможно, полихронная); 7 – позднерипейская плагиодунит-троктолит-габбро-анортозитовая формация: Талажинский (Тал) и Аргысукский (Арг) массивы; 8 – раннепротерозойская (?) перидотит-пироксенит-габбровая формация: кулибинский комплекс (очевидно, полихронный); 9 – раннепротерозойская (?) орьинская толща, преимущественно амфиболитовая с метакоматиитами; 10 – тектонические нарушения; 11 – расположение района исследования в Канской глыбе. На врезке положение Канской глыбы в структурах юго-западного обрамления Сибирской платформы. Выступы кристаллического фундамента платформы: I – Ангара-Канский; II – Присянский. Докембрийские структуры складчатого обрамления: III – Канский блок; IV – Арзыйский блок; V – Дербинский блок. Разломы (цифры в кружках): 1 – Главный Восточно-Саянский; 2 – Канско-Агульский

Fig. 1. Geological map of the area of Argysuksky massif localization within the Kan block and its position in regional structure (drawn by the data of A.N. Smagin, A.V. Renzhin, A.G. Ekhanin, A.D. Nozhkin, O.M. Turkina, A.I. Chernyshov): 1 is the quaternary alluvial terrigenous formation; 2 is the Jurassic terrigenous-coal formation: pereyaslav strata; 3 is the middle Upper Devonian terrigenous-carbonate formation: pavlovskaya, kungusskaya strata; 4 is the Ordovician leucogranite formation: kuturchinsky complex; 5 is the late Riphean gabbro-syenitic formation: kinzelyuksky (kazyrsky) complex; 6 is the late-Riphean (?) formation of microcline granites: derbinsky, shirokologsky complexes (probably polychronous); 7 is the late-Riphean plagioclone-tractolite-gabbro-anorthite formation: Talazhinsky (Tal) and Argysuksky (Arg) complexes; 8 is the Early Proterozoic (?) peridotite-pyroxenite-gabbro formation: kulibinsky complex (obviously polychronous); 9 is the Early Proterozoic (?) oryinskaya formation, essentially amphibolitic with metakomatiites; 10 is the tectonic deformations; 11 is the position of the area under study in the Kan block. The inset map demonstrates the position of the Kan block in the structures of South-West framing of Siberian platform. Highs of platform crystalline basement: I – Angara-Kansk; II – Sayan. Pre-Cambrian folded framing structures: III – Kan block; IV – Arzybysky block; V – Derbinsky block. Faults (the numbers are in circles): 1 – Main East-Sayan; 2 – Kansk-Agulsk

Ni, можно выделить ультрамафиты массива, скрытые на глубине под превалирующими на поверхности габбро, в ранг весьма перспективных на обнаружение промышленных концентраций Cu и Ni.

Габброиды массива представлены от меланократовых (оливин-пироксен-роговообманковых) до лейкократовых (преимущественно плагиоклазовых) разностей, которые в различной степени подверглись вторичным преобразованиям (амфиболитизации, хлоритизации). Они обычно имеют массивную текстуру, однако в лейкократовых разностях нередко обнаруживают трахитоидную, обусловленную субпараллельной ориентировкой призматических зерен плагиоклаза. Основная масса мелко-, среднезернистая габбро-офитовая с размерами зерен 1...3,5 мм. Габбро сложены главным образом оливином – хризолитом (Fa₁₉₋₂₁) ~5...25 %, плагиоклазом – лабрадором (An₅₇₋₇₀) ~50...70 % и клинопироксеном – до 30 %, встречаются коричнево-бурая роговая обманка, биотит. Из вторичных минералов отмечаются уралит, актинолит и хлорит. Рудные минералы распределены неравномерно и занимают до 5 %.

Методика исследования

Рудные минералы в габброидах Аргысукского массива изучались в проходящем и отраженном свете на поляризационном микроскопе Axioscop 40 Pol. Анализ их вещественного состава выполнен методом рентгеноспектрального микроанализа [16] на электронном сканирующем микроскопе Tescan Vega II LMU, оборудованном энергодисперсионным спектрометром (с детектором Si (Li) Standard) INCA Energy 350 и волнодисперсионным спектрометром INCA Wave 700 в ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем» ТГУ (г. Томск). Для этого из отобранных образцов пород с рудной минерализацией были изготовлены плоскопараллельные аншлифы толщиной 3...4 мм по рекомендуемым методикам [16]. Перед проведением анализов на исследуемые поверхности предварительно напыляли слой углерода толщиной 25...30 нм. Последующие расчеты химических составов проводились по программе INCA-Issue 18b и по дополнительным авторским программам.

Рудная минерализация

Изучение рудной минерализации в габброидах Аргысукского массива позволило выделить по составу рудных минералов два основных типа минерализации: магнетит-шпинелид-ильменитовую и сульфидную. При этом в меланократовых разностях габбро отмечается некоторое преобладание сульфидной минерализации над магнетит-шпинелид-ильменитовой (60 % к 40 %), а в лейкократовых разностях – наоборот.

Магнетит-шпинелид-ильменитовая минерализация представлена шпинелидами, магнетитом, манганоильменитом, ильменитом и гематитом.

Шпинелиды образуют дискретные обособленные зерна, выделяющиеся высокой степенью идиоморфизма, местами с хорошо выраженными гранями. Отдельные из них характеризуются октаэдрическими либо квадратными габитусами (рис. 2, а–б). Размеры таких зерен составляют до 1,0 мм. Согласно классификации [17], шпинелиды по химическому составу соответствуют наиболее окисленной разновидности – хроммагнетиту. В химическом составе часто обнаруживается примесь титана (до 1,13 %) и ванадия (до 0,23 %) и постоянное присутствие алюминия (до 0,66 %) (табл. 1).

Таблица 1. Химический состав хроммагнетита и магнетита из габброидов Аргысукского массива, мас. %

Table 1. Chemical composition of chrome-magnetite and magnetite from gabbros of Argysuksky massif, wt. %

Минерал Mineral	Хроммагнетит Chrome-magnetite				Магнетит Magnetite			
Образец Sample	151-1-3	151-1/3-1	151-1/3-2	151-1/2-4	151-1/2-1	151-1/2-2	2144-3-1	2144-3-2
O	24,98	23,77	24,40	24,18	23,51	23,76	23,02	23,31
Mg	–	0,36	–	–	–	–	–	–
Al	0,22	0,66	0,36	0,22	0,24	–	–	0,28
Ti	1,13	0,82	0,22	–	–	–	–	0,38
V	–	0,23	–	0,23	0,20	–	0,27	0,21
Cr	1,28	2,56	1,75	0,96	–	–	0,45	0,48
Fe	72,38	71,60	73,27	74,41	76,06	76,24	76,26	75,33

Примечание. Здесь и далее определение химического состава осуществлялось на электронном сканирующем микроскопе Tescan Vega II LMU, оборудованном энергодисперсионным спектрометром (с детектором Si (Li) Standard) INCA Energy 350 и волнодисперсионным спектрометром INCA Wave 700 в ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем» ТГУ (г. Томск), оператор А.С. Кульков. Химические составы приведены к 100 %.

Note. Hereinafter chemical composition was determined on electron scanning microscope «Tescan Vega II LMU» equipped with energy-dispersive spectrometer (with detector Si (Li) Standard) INCA Energy 350 and wave-dispersive spectrometer INCA Wave 700 at TPU «Analytic center of natural system geochemistry» (Tomsk), the operator is A.S. Kulkov. The chemical compositions are given to 100 %.

Магнетит отмечается в виде самостоятельных обособленных мелких (0,2...0,8 мм) зерен овальной и неправильной формы, а также в виде крупных (до 5,0 мм) агрегативных магнетит-ильменитовых выделений (рис. 2, в, д–е). Последние, очевидно, являются продуктом замещения исходных магматических хромшпинелидов. По химизму зерна второй генерации отличаются постоянным присутствием небольшого содержания хрома (0,45...0,48 %). В магнетитах обеих генераций нередко обнаруживается присутствие ванадия (до 0,27 %), реже – алюминия (до 0,28 %) (табл. 1).

Ильменит встречается в виде линзочек, удлиненно-таблитчатых зерен размером до 0,2 мм вдоль зонк трещиноватости и в краевых частях зерен хроммагнетита (рис. 2, б) либо в виде агрегативных скоплений с магнетитом (о чем упоминалось выше).

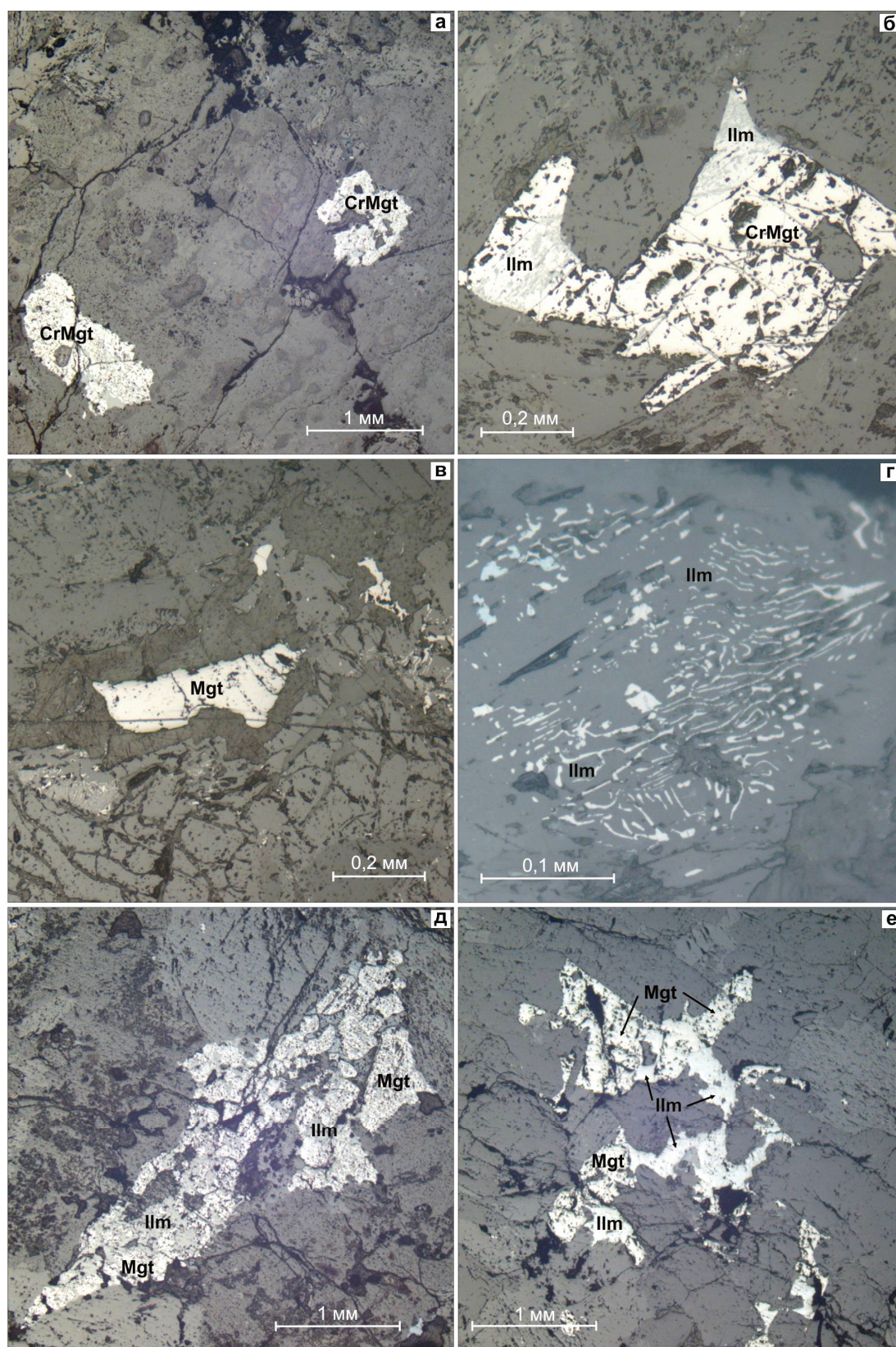


Рис. 2. Магнетит-шпинелид-ильменитовая минерализация в габброидах Аргысукского массива (аншлифы). Mgt (CrMgt) – магнетит (хроммагнетит), Ilm – ильменит

Fig. 2. Magnetite-spinel-ilmenite mineralization in gabbros of Argysuksky massif (polished sections). Mgt (CrMgt) is the magnetite (chrome-magnetite), Ilm is the ilmenite

Отмечены переотложенные скелетные формы минерала, образующие специфические дактило-скопические структуры (рис. 2, *г*), наблюдаемые ранее в других геологических объектах [18].

Ильменит, развивающийся по хроммагнетиту, характеризуется повышенным содержанием марганца (до 5,24 %, табл. 2) и отнесен автором к манганоильмениту. Ранее подобная разновидность отмечалась в габброидах Талажинского массива [19–20].

Нередко ильмениты из агрегативных магнетит-ильменитовых выделений обнаруживают в своем химическом составе примесь магния (до 1,98 %), которая отсутствует в манганоильменитах (табл. 2).

Гематит, имеющий, очевидно, постмагматическую гидротермальную природу, отмечается в виде венцовых кайм замещения шириной до 0,04 мм вокруг зерен пирита (рис. 3, *г-е*). В его химическом составе постоянно устанавливается примесь никеля (0,26...1,19 %, табл. 3).

Таблица 2. Химический состав ильменитов из габброидов Аргысукского массива, мас. %

Table 2. Chemical composition of ilmenites from gabbros of Argysuksky massif, wt. %

Минерал Mineral	Ильменит Ilmenite						Манганоильменит Manganoilmenite	
Образец Sample	151-1	151-2	151-2-3	41/5-1-1	41/5-1-2	41/5-3-3	2144-3-4	2144-3-5
O	29,75	30,07	30,33	30,78	30,84	30,42	29,70	29,50
Mg	1,24	0,50	1,98	–	–	–	–	–
Ti	30,34	30,17	30,84	32,59	30,62	31,17	32,80	32,57
Mn	0,62	0,73	1,50	2,36	2,15	2,07	5,24	4,95
Fe	38,05	38,52	35,35	34,26	36,40	36,36	32,25	32,98

Таблица 3. Химический состав гематита в измененных габброидах Аргысукского массива, мас. %

Table 3. Chemical composition of hematite in altered gabbros of Argysuksky massif, wt. %

Минерал/Mineral	Гематит/Hematite			
Образец/Sample	2127-2	2127-4	2144-1-3	2144-2-3
O	34,70	32,78	33,33	34,92
Fe	64,93	66,93	66,41	63,89
Ni	0,37	0,30	0,26	1,19

Сульфидная минерализация отмечаются довольно часто в виде мелкой вкрапленности (0,1...0,4 мм) в основной матрице породы и выполнена пирротинном, пентландитом, халькопиритом и пиритом. При этом в меланократовых разновидностях габброидов минерализация представлена пирротин-пентландит-халькопиритовой триадой с преобладанием пирротина, а в лейкократовых разновидностях и измененных (амфиболизированных, хлоритизированных) габброидах – преимущественно «сыпью» пирита.

Пирротин является самым распространенным сульфидом, имеет светло-желтый цвет с коричнево-розовым, кремовым оттенком, отражательная способность высокая. Он отмечается в виде капле-

видных зерен (0,2...0,4 мм) в ассоциации с пентландитом, образуя структуры распада твердых растворов, а также формирует тройную ассоциацию с пентландитом и халькопиритом (рис. 3, *а-в*). Химический состав минерала близок его стехиометрической формуле (табл. 4).

Таблица 4. Химический состав сульфидной минерализации из габброидов Аргысукского массива, мас. %

Table 4. Chemical composition of sulphide mineralization from gabbros of Argysuksky massif, wt. %

Минерал Mineral	Образец Sample	S	Fe	Ni	Co	Cu
Пирит/Pyrite	2127-1	53,89	46,11	–	–	–
	2144-1-2	53,06	46,94	–	–	–
	2144-2-1	53,00	47,00	–	–	–
	2144-2-2	53,42	46,58	–	–	–
Со-пирит/Co-pyrite	2127-3	52,89	44,69	–	2,43	–
	151-2-1	36,78	63,22	–	–	–
	151-2-2	38,83	61,17	–	–	–
	151-2-3	36,40	63,60	–	–	–
	151-2-4	39,55	60,45	–	–	–
	151-3-2	36,42	63,58	–	–	–
	151-4-1	36,45	63,55	–	–	–
	151-4-2	36,48	63,52	–	–	–
	151-4-3	36,61	63,39	–	–	–
Ni-пирротин Ni-pyrrhotite	151-3-1	39,41	58,90	1,69	–	–
Халькопирит Chalcocopyrite	2144-1-1	34,68	30,69	–	–	34,64
Железистый халькопирит Glandular chalcocopyrite	151-3/2-1	35,33	41,15	–	–	23,52
	151-3/2-2	35,21	40,94	–	–	23,86
	151-4-4	35,21	40,49	–	–	24,30
Пентландит Pentlandite	151-3-3	33,99	36,24	27,14	2,63	–
	151-3-4	33,82	36,19	27,07	2,92	–

Пентландит, наряду с пирротинном, является наиболее распространенным сульфидом в изученных габброидах. Он преимущественно наблюдается в виде пламевидных, веретенообразных включений распада внутри пирротина; реже образует обособленные мелкие зерна треугольной, округлой формы. Размеры таких зерен не превышают 0,1 мм, в них часто отмечается весьма отчетливая октаэдрическая спайность по системе (111). Цвет минерала бело-желтый, отражательная способность высокая. Пентландит характеризуется повышенной железистостью и постоянно обнаруживает в составе примесь кобальта (2,63...2,92 %, табл. 4).

Халькопирит распространен не так широко, как два предыдущих сульфида. Обычно он образует мелкие самостоятельные зерна до 0,05 мм вблизи пирротин-пентландитовых обособлений либо представлен в виде аллотриоморфных агрегатов в ассоциации с пирротинном и пентландитом (рис. 3, *б-в*). В метагаббро отмечается развитие по самостоятельным зернышкам халькопирита каемок пирита, которые, в свою очередь, замещаются каймой гематита (рис. 3, *г*).

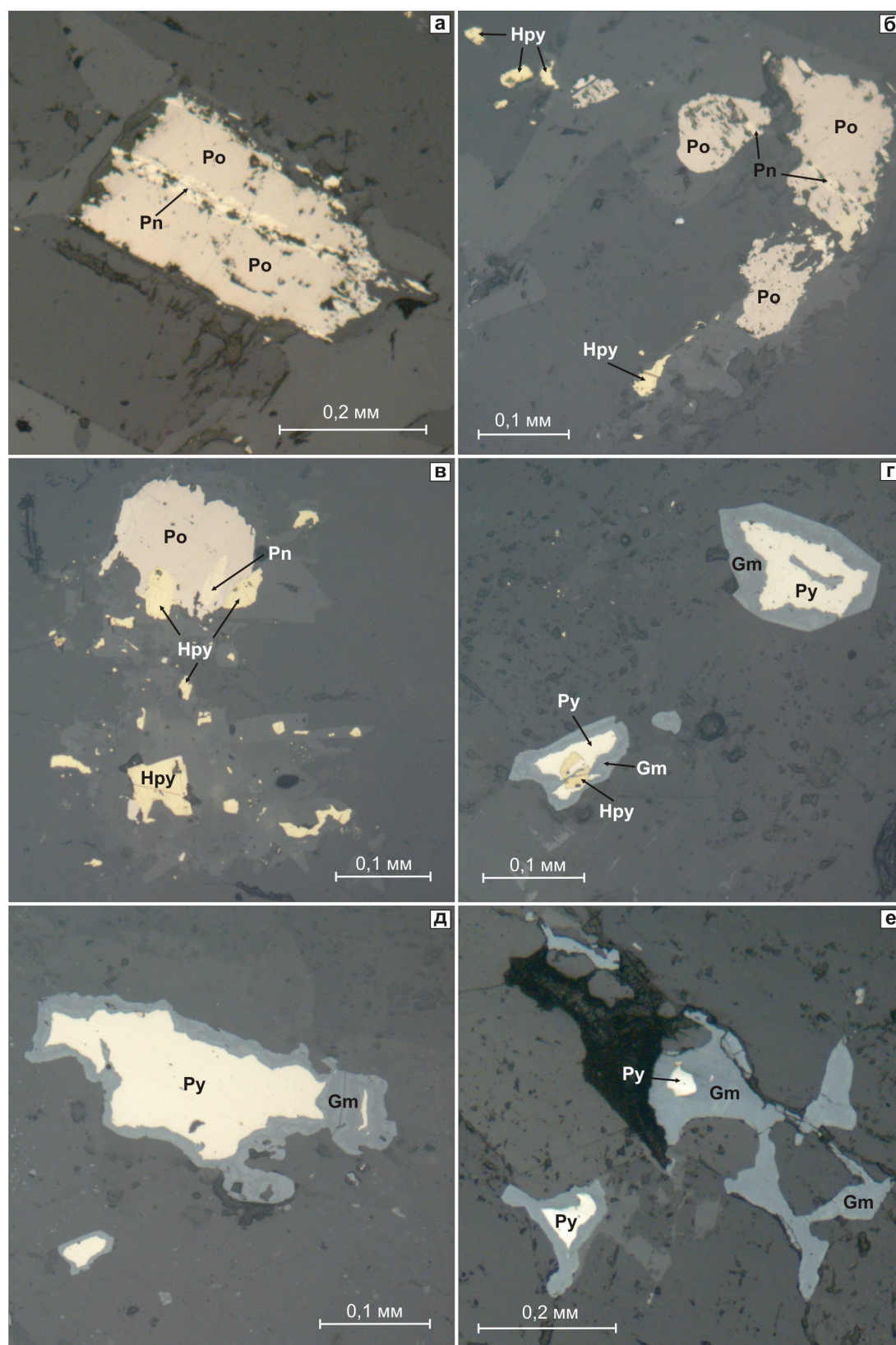


Рис. 3. Сульфидная минерализация в габброидах Аргысукского массива (аншлифы). Po – пирротин, Pn – пентландит, Hpy – халькопирит, Py – пирит, Gm – гематит

Fig. 3. Sulfide mineralization in gabbros of Argysuksky massif (polished sections). Po is the pyrrhotite, Pn is the pentlandite, Hpy is the chalcopyrite, Py is the pyrite, Gm is the hematite

По химическому составу самостоятельные зерна халькопирита, в отличие от халькопирита из триады, характеризуются высокой близостью своей стехиометрической формуле. В тройной ассоциации минерал отклоняется от своего стехиометрического состава повышенными содержаниями железа (до 41,15 %) при пониженных содержаниях меди (23,52...24,30 %).

Пирит формирует самостоятельные мелкие округлые и неправильные зерна размером до 0,3 мм в основной силикатной матрице породы (рис. 3, *г-е*). Они имеют светло-желтый, соломенно-желтый цвет и высокую отражательную способность. Рельеф неровный, бугристый, пузырчатый. Зерна часто корродированы в краевых частях, что позволяет судить об агрессивности метасоматической среды, в которой минерал перекристаллизовывался. Химический состав пирита близок своей стехиометрической формуле (табл. 4).

Обсуждение результатов и выводы

Впервые выявлены и диагностированы в габброидах Аргысукского массива рудные минералы и их вещественный состав. В ходе изучения проведено их разделение на две минеральные группы: магнетит-шпинелид-ильменитовую и сульфидную. Аналогичная по специализации рудная минерализация ранее была описана в габброидах (троктолитах, оливиновых габбро) Талажинского массива [19–20]. Это также, наряду с ранее проведенными петрологическими исследованиями, свидетельствует в пользу большой схожести данных интрузивов.

Химические составы сульфидов обоих массивов хорошо сопоставляются и отвечают единому эволюционному тренду (рис. 4). В габброидах обоих объектов выявлен и изучен манганоильменит. Однако в породах Аргысукского массива, в отличие от таких пород Талажинского массива,

хромшпинели представлены только хроммагнетитом. Отсутствие более ранних разновидностей хромшпинелидов, очевидно, связано с большей степенью метаморфического преобразования пород, а также с ограниченным числом изученных образцов. Автор допускает, что при дальнейших изучениях их число может расшириться.

Проведенные исследования позволяют предположить, что формирование сульфидной минерализации происходило из высокожелезистого сульфидного расплава, который в процессе ликвации выделился из родоначального магматического расплава и претерпел последующую дифференциацию в процессе становления массива. При понижении температуры из него происходила близкая по времени кристаллизация зерен пирротина и пентландита, в том числе с образованием ряда твердых растворов между этими двумя минералами. Частое присутствие совместно с пирротином и пентландитом халькопирита, а также наличие раннего железистого халькопирита, очевидно, свидетельствует о повышенной фугитивности серы и значимой роли меди в системе на момент кристаллизации габброидов и, как следствие, ранней кристаллизации данного минерала наряду с пирротин-пентландитовыми выделениями.

Отмечаемая сыпь зерен пирита в метагаббро, вероятнее всего, является продуктом замещения зерен халькопирита и пирротина под действием постмагматических гидротермальных процессов. Под действием этих же процессов с резким повышением концентрации кислорода происходит развитие кайм гематита вокруг зерен пирита, вплоть до полного замещения последнего.

Согласно гравитационной модели наибольшее накопление сульфидов происходит в результате опускания капель сульфидной жидкости из головы магматической колонны в придонные части магматической камеры и их сегрегации в струк-

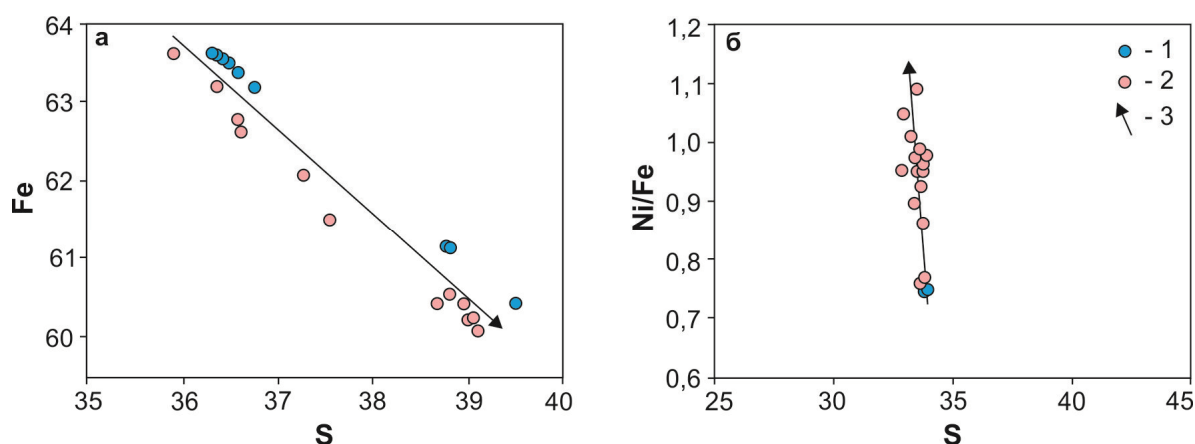


Рис. 4. Бинарные диаграммы для пирротитов (а) и пентландитов (б) из габброидов Аргысукского и Талажинского массивов: 1 – Аргысукский массив, 2 – Талажинский массив, 3 – эволюционный тренд изменения составов

Fig. 4. Binary diagrams for pyrrhotines (a) and pentlandites (b) from gabbro of Argysuksky and Talazhinsky massifs: 1 is the Argysuksky massif, 2 is the Talazhinsky massif, 3 is the evolutionary trend of change in compositions

турных ловушках в результате гравитационной дифференциации [21]. Принимая во внимание, что аэромагнитной разведкой доказывается наличие перекрытого габброидами тела ультрамафитов в основании Аргысукского массива, такая модель указывает на потенциальную их рудоносность. При этом исследуемый массив, в отличие от Талажинского массива, характеризуется меньшим эрозионным срезом, что позволяет ожидать полную сохранность потенциального Cu-Ni оруденения в его придонной ультрамафитовой части.

В пользу высокой потенциальной рудоносности Аргысукского массива также свидетельствует его значительное сходство с эталонным Талажинским массивом плагиодунит-троктолит-анортозит-габбрового состава, который в настоящее время относится к рифейской дунит-троктолит-габбровой никеленой формации [13, 19–20]. Наиболее характерными представителями данной формации являются троктолит-анортозитовые массивы Дулут, Войсес-Бей и Маскок (Канада), Джинчуан (Китай) и Никеландия (Бразилия) [21]. Интрузии этой формации сейчас рассматриваются в качестве перспективных источников рифейской эпохи платинометалльно-медно-никелевого рудообразования [22–23].

Интрузивы этой формации установлены на южной окраине Сибирской платформы. Рудоносными представителями здесь являются Йоко-Довыренский и Чайский массивы Байкало-Витимского региона [24–28]. Другие массивы южной окраины Сибирской платформы остаются слабо изученными.

Данные соотношения позволяют предполагать аналогичную степень рудоносности Аргысукского массива Восточного Саяна, который локализован в пределах Саянской никель-платиноносной провинции. Дополнительным аргументом в пользу его потенциальной рудоносности является наблюдаемая в габброидах массива сульфидная триада (пирротин-пентландит-халькопирит) и обнаружение по результатам геолого-поисковых работ Ивановской ГРЭ (г. Канск) в 2008 г. контрастного по содержанию (0,01 %) и короткого (1,5 км) потока рассеяния никеля. Большие, чем в литофицированных породах, содержания никеля в рыхлых породах вторичного ореола, очевидно, свидетельствуют о телескопировании данного элемента от скрытых рудных тел по полостям тектонических трещин. Для подтверждения факта наличия «скрытой» пластины ультрамафитов и оценки степени ее потенциальной рудоносности необходима постановка глубокого разведочного бурения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Платиноносность ультрамафит-мафитов Монголии и Тувы / Л.В. Агафонов, Ж. Лхамсурэн, К.С. Кужугет, Ч.К. Ойдуп. – Улаанбаатар: Монгольский государственный университет науки и технологии, 2005. – 224 с.
2. Mineralogy and geochemistry of the Tartai massif, East Siberian metallogenic province / M.Y. Podlipsky, N.D. Tolstykh, A.V. Vishnevskiy, G.V. Polyakov, A.S. Mekhonoshin // *Geology of Ore Deposits*. – 2015. – V. 57. – № 3. – P. 172–196.
3. Ernst R.E. Large igneous province. – Cambridge: Cambridge University Press, 2014. – 654 p.
4. Ore mineralogy of PGM placer in Siberia and the Russian Far East / N. Tolstykh, A. Krivenko, E. Sidirov, K. Laajoki, M. Podlipsky // *Ore Geol. Rev.* – 2002. – V. 20. – P. 1–25.
5. Kuzmin M.I., Yarmolyuk V.V. Mantle plumes of Central Asia (northeast Asia) and their role in forming endogenous deposits // *Russian Geology and Geophysics*. – 2014. – V. 55. – № 2. – P. 120–143.
6. Юричев А.Н. Идарский ультрамафитовый комплекс Восточного Саяна: петрогеохимические особенности и вопросы рудоносности // *Отечественная геология*. – 2014. – № 6. – С. 56–66.
7. Pirajno F., Santosh M. Rifting, intraplate magmatism, mineral systems and mantle dynamics in Central-East Eurasia: an overview // *Ore Geol. Rev.* – 2014. – V. 63. – P. 265–295.
8. Ultramafic-mafic igneous complexes of the Precambrian East Siberian metallogenic province (southern framing of the Siberian craton): age, composition, origin, and ore potential / G.V. Polyakov, N.D. Tolstykh, A.E. Izokh, M.Y. Podlipskii, A.S. Mekhonoshin, T.B. Kolotilina, D.A. Orsoev // *Russian Geology and Geophysics*. – 2013. – V. 54. – № 11. – P. 1319–1331.
9. Черкасова Т.Ю., Мазуров А.К., Чернышов А.И. Потенциальная рудоносность расслоенных мафит-ультрамафитовых массивов Нижнедербинского комплекса (СЗ Восточного Саяна) // *Известия Томского политехнического университета*. – 2010. – Т. 317. – № 1. – С. 20–27.
10. Field Relationships and Geochemical Constraints on the Emplacement of the Jinchuan Intrusion and its Ni-Cu-PGE Sulfide Deposit, Gansu, China / J. Lehmann, N. Arndt, B. Windley, M.-F. Zhou, C.Y. Wang, C. Harris // *Econ. Geol.* – 2007. – V. 102. – P. 75–94.
11. Платиноносность ультрабазит-базитовых комплексов Юга Сибири / под ред. В.И. Богникова, А.П. Кривенко, А.Э. Изоха и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 1995. – 151 с.
12. Зеленокаменные пояса юго-западного обрамления Сибирской платформы и их металлогения / Т.Я. Корнев, А.Г. Еханин, В.Н. Князев, С.К. Шарифулин. – Красноярск: КНИИГМС, 2004. – 176 с.
13. Юричев А.Н. Мафит-ультрамафитовый магматизм Канской глыбы и его рудный потенциал, Северо-Запад Восточного Саяна // *Руды и металлы*. – 2013. – № 3. – С. 11–20.
14. Юричев А.Н., Чернышов А.И. Талажинский и Аргысукский массивы: общность петролого-геохимических черт (северо-запад Восточного Саяна) // *Известия Томского политехнического университета*. – 2015. – Т. 326. – № 1. – С. 40–49.
15. Ящук В.И. Магматические комплексы зоны Манского разлома (Восточный Саян): дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Канск, 1975. – 124 с.
16. Reed S.J.B. Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology. – N.Y.: Cambridge University Press, 2005. – 189 p.
17. Павлов Н.В. Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов // *Труды Геологического института РАН*. – 1949. – Вып. 103. – № 3. – 91 с.
18. Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. – М.: Иностранная литература, 1962. – 1132 с.
19. Юричев А.Н. Геолого-генетическая модель образования и потенциальная рудоносность мафит-ультрамафитовых массивов талажинского и кулибинского комплексов Восточного Саяна:

- автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 22 с.
20. Yurichev A.N., Chernyshov A.I., Konnikov A.E. The Talazhin plagioclone-troctolite-anorthosite-gabbro massif (East Sayan): petrogeochemistry and ore potential // Russian Geology and Geophysics. – 2013. – V. 54. – № 2. – P. 166–180.
21. Naldrett A.J. Magmatic sulfide deposits: geology, geochemistry and exploration. – Berlin: Springer, 2004. – 727 p.
22. Кислов Е.В. Рифейская платинометалльно-медно-никелевая металлогеническая эпоха: факторы рудообразования // Петрология магматических и метаморфических комплексов. Вып. 7. – Томск: ЦНТИ, 2009. – С. 328–338.
23. Кислов В.Е., Конников Э.Г. Рифейская эпоха платинометалльно-медно-никелевого рудообразования // Проблемы геологии и геохимии юга Сибири. – Томск: Изд-во ТГУ, 2000. – С. 67–72.
24. Fluid regime of platinum group elements (PGE) and gold-bearing reef formation in the Dovyren mafic-ultramafic layered complex, eastern Siberia, Russia / E.G. Konnikov, W.P. Meurer, S.S. Neruchev, E.M. Prasolov, E.V. Kislov, D.A. Orsoev // Miner. Deposita. – 2000. – V. 35. – P. 526–532.
25. The Dovyren intrusive complex (northern Baikal region, Russia): isotope-geochemical markers of contamination of parental magmas and extreme enrichment of the source / A.A. Ariskin, L.V. Danyushevsky, E.G. Konnikov, R. Maas, Yu A. Kostitsyn, A. McNeill, S., Meffre G.S. Nikolaev, E.V. / Kislov / Russian Geology and Geophysics. – 2015. – V. 56. – № 3. – P. 526–532.
26. Благороднометалльная минерализация малосульфидного оруденения в Йоко-Довыренском расслоенном массиве (Северное Прибайкалье) / Д.А. Орсов, Н.С. Рудашевский, Ю.Л. Крецер, Э.Г. Конников // Доклады академии наук. – 2003. – Т. 390. – № 2. – С. 233–237.
27. Глазунов О.М., Золотина М.А., Мехоношин А.С. Геохимия и рудоносность базит-гипербазитовых серий Байкало-Витимского региона // Докембрийские троговые структуры Байкало-Амурского региона и их металлогения. – Новосибирск: Наука, 1985. – С. 85–89.
28. Цыганков А.А. Петрология, контактовые процессы и оруденение Чайского гипербазит-базитового массива (Северное Прибайкалье): автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – Улан-Удэ, 1991. – 22 с.

Поступила 09.06.2016 г.

Информация об авторах

Юричев А.Н., кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры петрографии геолого-географического факультета Национального исследовательского Томского государственного университета.

UDC 552.321.5:553.08

ORE MINERALIZATION FROM GABBROIDES OF ARGYSUKSKY MASSIF (NORTHWEST OF EASTERN SAYAN)

Alexey N. Yurichev,

juratur@sibmail.com

National Research Tomsk State University,
36, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

The relevance of the work is caused by the need of detailed petrological studies of numerous potentially mineralized mafic-ultramafic massifs of the Kan block of the Eastern Sayan to improve the correlation of regional schemes, and to identify Pt-Cu-Ni mineralization in them.

The main aim of the research is to study ore specialization of the rocks from Argysuksky massif in order to prove the validity of the previously made assumption on the essential similarity of Talazhinsky and Argysuksky massifs and their possible inclusion in common formation type, as well as to assess the degree of potential prospects of penetration rock for detecting commercial copper-nickel mineralization in it.

The methods used in the work: study of ore mineralization in polished sections using a polarizing microscope AxioScope Carl Zeiss; determination of chemical composition of ore mineralization by the method of X-ray spectrum microanalysis using scanning electron microscope Tescan Vega II LMU, equipped with energy-dispersive spectrometry (with a semiconductor Si (Li) detector INCA x-sight) INCA Energy 450 and wave-dispersive spectrometer INCA Wave 700.

The results. For the first time the authors identified and diagnosed ore minerals and their material composition in gabbros from Argysuksky massif; separated them into two groups of minerals (magnetite-spinel-ilmenite and sulphide) and made an assumption on the genetic nature of these minerals. The studied mineralization has high similarity of their specialization, mineral composition and chemistry to mineralization from gabbros of Talazhinsky massif, that confirms the assumption made before on the high similarity of these objects and their assignment to a single formation type. Typomorphic and chemical features of sulphides indicate the fact that their crystallization in gabbros occurred from the original high-iron sulfide melt at high sulfur fugacity and significant role of copper in ore system. The results obtained, along with petrological features, point out the great potential of the array under study for detection of Cu-Ni mineralization.

Key words:

Argysuksky massif, gabbroides, ore mineralization, chemistry, sulfides, potentially ore-bearing.

REFERENCES

1. Agafonov L.V., Lkhamsuren J., Kuzhuget K.S., Oydup Ch.K. *Platinonosnost ultramafit-mafitov Mongolii i Tuvy* [Ultramafic-mafic PGE of Mongolia and Tuva]. Ulaanbaatar, Mongolian University of Science and Technology, 2005. 224 p.
2. Podlipsky M.Y., Tolstykh N.D., Vishnevskiy A.V., Polyakov G.V., Mekhonoshin A.S. Mineralogy and geochemistry of the Tartai massif, East Siberian metallogenic province. *Geology of Ore Deposits*, 2015, vol. 57, no. 3, pp. 172–196.
3. Ernst R.E. *Large igneous province*. Cambridge, Cambridge University Press, 2014. 654 p.
4. Tolstykh N., Krivenko A., Sidirov E., Laajoki K., Podlipsky M. Ore mineralogy of PGM placer in Siberia and the Russian Far East. *Ore Geol. Rev.*, 2002, vol. 20, pp. 1–25.
5. Kuzmin M.I., Yarmolyuk V.V. Mantle plumes of Central Asia (northeast Asia) and their role in forming endogenous deposits. *Russian Geology and Geophysics*, 2014, vol. 55, no. 2, pp. 120–143.
6. Yurichev A.N. Idarsky ultramafic complex of the Eastern Sayan: petrogeochemical features and issues of ore-bearing. *Otechestvennaya geologiya*, 2014, no. 6, pp. 56–66. In Rus.
7. Pirajno F., Santosh M. Rifting, intraplate magmatism, mineral systems and mantle dynamics in Central-East Eurasia: An overview. *Ore Geol. Rev.*, 2014, vol. 63, pp. 265–295.
8. Polyakov G.V., Tolstykh N.D., Izokh A.E., Podlipskii M.Y., Mekhonoshin A.S., Kolotilina T.B., Orsoev D.A. Ultramafic-mafic igneous complexes of the Precambrian East Siberian metallogenic province (southern framing of the Siberian craton): age, composition, origin, and ore potential. *Russian Geology and Geophysics*, 2013, vol. 54, no. 11, pp. 1319–1331.
9. Cherkasova T.Yu., Mazurov A.K., Chernyshov A.I. Potential ore-bearing of layered mafic-ultramafic massifs of the Nizhnerbinsky complex (NW East Sayan). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2010, vol. 317, no. 1, pp. 20–27. In Rus.
10. Lehmann J., Arndt N., Windley B., Zhou M.-F., Wang C.Y., Harris C. Field Relationships and Geochemical Constraints on the Emplacement of the Jinchuan Intrusion and its Ni-Cu-PGE Sulfide Deposit, Gansu, China. *Econ. Geol.*, 2007, vol. 102, pp. 75–94.
11. *Platinonosnost ultrabazit-bazitovykh kompleksov Yuga Sibiri* [PGE of mafic-ultramafic complexes of South Siberia]. Eds. V.I. Bognibova, A.P. Krivenko, A.E. Izokh. Novosibirsk, Publishing House of SB RAS, Branch «Geo», 1995. 151 p.
12. Kornev T.Ya., Ekhanin A.G., Knyazev V.N., Sharifulin S.K. *Zelenokamennye poyasa yugo-zapadnogo obramleniya Sibirskoy platformy i ikh metallogeniya* [Greenstone belts of southwestern framing of the Siberian platform and their metallogeny]. Krasnoyarsk, KNIIGiMS Press, 2004. 176 p.
13. Yurichev A.N. Mafit-ultramafitovy magmatizm Kanskoy glyby i ego rudny potentsial, Severo-Zapad Vostochnogo Sayana [Mafic-ultramafic magmatism of Kansk block and its ore potential, NW Eastern Sayan]. *Rudy i metally*, 2013, no. 3, pp. 11–20.
14. Yurichev A.N., Chernyshov A.I. Talazhinsky and Argysuksky massifs: petrologo-geochemistry common traits (Northwest of Eastern Sayan). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2015, vol. 326, no. 1, pp. 40–49.
15. Yashchuk V.I. *Magmaticheskie komplekсы zony Manskogo razloma (Vostochny Sayan)*. Dis. Kand. nauk [Magmatic complexes of Mansky fault zone (Eastern Sayan)]. Cand. Diss.]. Kansk, 1975. 124 p.
16. Reed S.J.B. *Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology*. N.Y., Cambridge University Press, 2005. 189 p.

17. Pavlov N.V. Khimichesky sostav khromshpinelidov v svyazi s petrograficheskim sostavom porod ultraosnovnykh intruzivov [Chemical composition of chromspinelides in connection with the petrographic composition of the rocks of ultramafic intrusive]. *Trudy Geologicheskogo instituta RAN*, 1949, vol. 103, no. 3, 91 p.
18. Ramdor P. *Rudnye mineraly i ikh srastaniya* [Ore minerals and their intergrowth]. Moscow, Inostrannaya Literatura Publ., 1962. 1132 p.
19. Yurichev A.N. *Geologo-geneticheskaya model obrazovaniya i potentsialnaya rudonosnost mafit-ultramafitovykh massivov talazhinskogo i kulibinskogo kompleksov Vostochnogo Sayana*. Avtoref. Dis. Kand. nauk [Geologo-genetic model of formation and potentially mineralisation of mafic-ultramafic massifs of talazhinsky and kulibinsky complexes of Eastern Sayan. Cand. Diss. Abstract]. Tomsk, 2011. 22 p.
20. Yurichev A.N., Chernyshov A.I., Konnikov A.E. The Talazhin plagioclone-troctolite-anorthosite-gabbro massif (East Sayan): petrogeochemistry and ore potential. *Russian Geology and Geophysics*, 2013, vol. 54, no. 2, pp. 166–180.
21. Naldrett A.J. *Magmatic sulfide deposits: geology, geochemistry and exploration*. Berlin, Springer, 2004. 727 p.
22. Kislov V.E. Rifeyskaya platinometalno-medno-nikelevaya metallogenicheskaya epokha: faktory rudoobrazovaniya [Riphean PGM-copper-nickel metallogenic epoch: factors of mineralization]. *Petrologiya magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov* [Petrology of igneous and metamorphic complexes]. Tomsk, TSNTI, 2009. pp. 328–338.
23. Kislov V.E., Konnikov E.G. Rifeyskaya epokha platinometalno-medno-nikelevogo rudoobrazovaniya [Riphean era of PGE-copper-nickel mineralization]. *Problemy geologii i geokhimii yuga Sibiri* [Problems of Geology and Geochemistry of southern Siberia]. Tomsk, Tomsk State University Press, 2000. pp. 67–72.
24. Konnikov E.G., Meurer W.P., Neruchev S.S., Prasolov E.M., Kislov E.V., Orsoev D.A. Fluid regime of platinum group elements (PGE) and gold-bearing reef formation in the Dovyren mafic-ultramafic layered complex, eastern Siberia, Russia. *Miner. Deposita*, 2000, vol. 35, pp. 526–532.
25. Ariskin A.A., Danyushevsky L.V., Konnikov E.G., Maas R., Kostitsyn Yu A., McNeill A., Meffre S., Nikolaev G.S., Kislov E.V. The Dovyren intrusive complex (northern Baikal region, Russia): isotope-geochemical markers of contamination of parental magmas and extreme enrichment of the source. *Russian Geology and Geophysics*, 2015, vol. 56, no. 3, pp. 526–532.
26. Orsoev D.A., Rudashevsky N.S., Kretser Yu.L., Konnikov E.G. Blagorodnometalnaya mineralizatsiya malosulfidnogo orudneniya v Yoko-Dovyrenskom rassloennom massive (Severnoe Pribaykale) [Precious metal mineralization in low-sulfide ores of the Ioko-Dovyren layered massif, northern Baikal region]. *Doklady Akademii Nauk*, 2003, vol. 390, no. 2, pp. 233–237.
27. Glazunov O.M., Zolotina M.A., Mekhonoshin A.S. Geokhimiya i rudonosnost bazit-giperbazitovykh seriy Baykalo-Vitimskogo regiona [Geochemistry and ore-bearing of mafic-ultramafic series of the Baikal-Vitim region]. *Dokembriyskie trogovye struktury Baykalo-Amurskogo regiona i ikh metallogeniya* [Precambrian trough structure of the Baikal-Amur region and their metallogeny]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1985. pp. 85–89.
28. Tsygankov A.A. *Petrologiya, kontaktovye protsessy i orudnenie Chayskogo giperbazit-bazitovogo massiva (Severnoe Pribaykale)*. Avtoref. Dis. Kand. Nauk [Petrology, contact processes and mineralization of Chaysky ultramafic-mafic massif (Northern Baikal). Cand. Diss. Abstract]. Ulan-Ude, 1991. 22 p.

Received: 09 June 2016.

Information about the authors

Alexey N. Yurichev, Cand. Sc., associate professor, National Research Tomsk State University.