

УДК 552.321.5:553.08

## СУЛЬФИДЫ АРГЫСУКСКОГО ГАББРОВОГО МАССИВА (СЗ 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:** комплексное изучение сульфидной минерализации габброидов Аргысукского массива с целью оценки степени потенциальной перспективности интрузива на обнаружение в нем промышленного медно-никелевого оруденения.

**Методы исследования:** изучение рудной минерализации в аншлифах с использованием поляризационного микроскопа AxioScope 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 в габброидах Аргысукского массива проведена детальная диагностика сульфидной минерализации, которая увеличилась до 12 минеральных разновидностей. Изученная минерализация обнаруживает высокое сходство по своей специализации, минеральному набору и особенностям химизма с сульфидами из габброидов Талажинского массива, что также подтверждает ранее сделанное предположение о высоком сходстве этих объектов и их единой формационной природе. Типоморфизм 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, сульфиды, химизм, генезис, потенциальная рудоносность.

### Введение

В геологической литературе с конца 90-х гг. XX в. появляется все больше новых публикаций по вопросу Pt-Cu-Ni оруденения, связанного с разнотипными ультрамафит-мафитовыми формациями складчатых провинций азиатской части Евразии, включающих территорию Юга Сибири, Монголии, Казахстана и Северного Китая [1–7], что представляет, в первую очередь, как прикладной, так и научно-исследовательский интерес. В пределах Канской глыбы, локализованной в северо-западной части Восточного Саяна, по результатам выполненных ранее ГРП было выявлено большое число ультрамафитовых и мафит-ультрамафитовых интрузивов, в которых нередко отмечалась рудная минерализация Cu, Ni и ЭПГ [8–10]. В 60–80-е гг. XX в. по результатам таких работ в северо-западной части глыбы был охарактеризован расслоенный Талажинский плагиодунит-троктолит-анортозит-габбровый массив, не имеющий по своей формационной принадлежности аналогов в данном регионе [11, 12]. Сравнительно недавно, в 2007–2008 гг., в процессе поисково-разведочных работ на Pt-Cu-Ni оруденение А.Н. Смагиным был выявлен небольшой по размерам Аргысукский габбровый массив, который к настоящему времени мы считаем вероятным сателлитом от Талажинского массива, расположенного неподалеку к юго-западу на расстоянии 1,5 км. Ранее полученные автором с коллективом соавторов результаты петрологического исследования габброидов данных массивов подтвердили их высокое сходство и по-

зволили сделать вывод об единности их формационной принадлежности [13]. Также впервые выявленная и предварительно охарактеризованная рудная минерализация в габброидах Аргысукского массива позволила проследить ее высокое сходство по своей специализации, минеральному и вещественному составу с таковой минерализацией из талажинских габброидов [14].

Настоящая работа является заключительным исследованием по диагностике сульфидной минерализации из габброидов Аргысукского массива, по результатам которого минеральное разнообразие сульфидов массива увеличилось с 6 до 12 разновидностей, а также существенно расширена база химических составов ранее выявленных сульфидов, что к настоящему времени позволило дать наиболее полную оценку сульфидной минерализации, специфическим особенностям ее вещественного состава и предположить вероятную модель ее формирования.

Небольшой по величине (3...3,5 км<sup>2</sup>) габбрового состава Аргысукский массив формирует водораздел между истоками рр. Аргысук и Анжа. Природа аэромагнитного поля на исследуемой территории (данные А.Н. Смагина, 2008 г.) позволяет предположить наличие в его придонной части пластины ультрамафитов и ее практически полную сохранность в результате незначительного современного эрозионного среза интрузива. Принимая во внимание, что весь массив полностью расположен в контрастной аэромагнитной аномалии, характерной только рудоносным ультрамафитам в

пределах Канской глыбы, а также наличие по результатам геолого-съёмочных работ 1978–1981 гг. контрастного и короткого (1,5 км) потока рассеяния Ni, можно выделить ультрамафиты массива, скрытые на глубине под преобладающими на поверхности габбро, в ранг весьма перспективных на обнаружение Cu-Ni оруденения.

Габбровая серия пород массива изменяется от меланократовых (оливиновых, оливин-пироксен-роговообманковых) до лейкократовых (преимущественно плагиоклазовых) разновидностей, которые в неравномерной степени были подвержены вторичным изменениям (амфиболизации, хлоритизации). Они сложены главным образом хризолитом ( $Ca_{19-21}$ ) ~5...25 %, лабрадором ( $Al_{57-70}$ ) ~50...70 % и клинопироксеном – до 30 %. Отмечаются коричнево-бурая роговая обманка (до 7...10 %) и биотит (до 5 %), из вторичных минералов – актинолит, уралит и хлорит. Рудные минералы распределены неравномерно в основной массе породы и занимают до 10 % от общего объема.

#### Сульфидная минерализация

Сульфиды наблюдаются достаточно часто в виде мелких зерен (0,1...0,4 мм) в основной матрице породы и представлены преимущественно пирротин, пентландитом, халькопиритом, железистым халькопиритом и пиритом. Реже отмечается никелистый пирротин, галенит, сфалерит, халькозин, борнит и миллерит. При этом в меланократовых разновидностях габброидов минерализация представлена пирротин-пентландит-халькопиритовой триадой с доминированием пирротина, а в лейкократовых разновидностях и метагаббро – преимущественно неправильными агрегативными выделениями пирита и (или) тонкозернистой «сыпью» данного минерала.

*Пирротин* является наиболее распространенным сульфидом и отмечается в виде каплевидных зерен (0,2...0,4 мм) в ассоциации с пентландитом, формируя структуры распада твердых растворов, а также в ассоциации с пентландитом и халькопиритом

(рис. 1, рис. 2, а). Химический состав минерала схож с его стехиометрической формулой (табл. 1). По дифференциации значений S в составе, а также по эволюционному тренду фигуративных точек составов, отражающему обратную зависимость между Fe и S, аргысукские пирротины обнаруживают высокое сходство с таковым сульфидом из габбровой серии Талажинского массива (рис. 3, а). Однако оба этих массива по химическому составу пирротинотитов отличаются от подобного минерала из Кингашского ультрамафитового массива Канской глыбы, включающего крупное Pt-Cu-Ni одноименное месторождение [15, 16].

В процессе исследования пирротинотитов отмечены разновидности со значимым содержанием никеля (табл. 1). Автором они были выделены в отдельную разновидность – никелистый пирротин.

*Пентландит*, наряду с пирротинотитом, также широко представлен в изученных габброидах. Он наблюдается преимущественно в виде веретенообразных, пламевидных включений распада внутри пирротинотита; крайне редко образует обособленные мелкие (до 0,1 мм) зерна треугольной, округлой формы, в которых часто отмечается весьма отчетливая октаэдрическая спайность (111) (рис. 1, 2). Минерал характеризуется постоянным присутствием в химическом составе примеси кобальта (2,14...4,38 %) и повышенной железистостью (табл. 1). Такие особенности химического состава обнаруживают большое сходство с талажинскими пентландитами из габброидов и отличают их от кингашских пентландитов (рис. 3, б–е). Последние характеризуются несколько большей железистостью при меньших значениях содержания кобальта (обычно до 1,5 %) [18]. При этом содержания Ni и S, а также отношение Ni/Fe являются близкими для пентландитов из всех трех массивов (рис. 3, б, в).

*Халькопирит* не распространен так широко, как два предыдущих сульфида. В изученных образцах отмечено две его генерации. Халькопирит первой генерации образует мелкие самостоятельные зерна до 0,05 мм вблизи пирротин-пентландит-

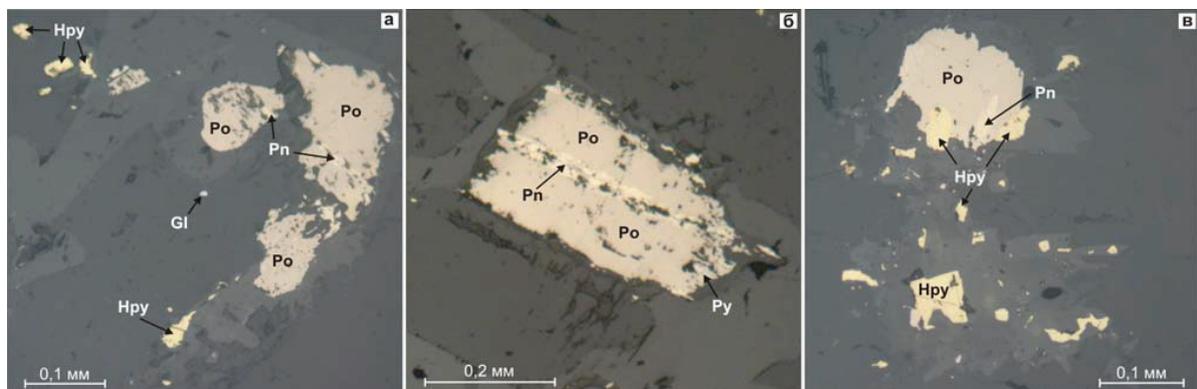


Рис. 1. Микрофотографии сульфидной минерализации в габброидах Аргысукского массива в отраженном свете, шлифы: Po – пирротин; Pn – пентландит; Hpy – халькопирит; Py – пирит; Gl – галенит

Fig. 1. Microphotographs of sulfide mineralization in gabbroides of Argysuksky massif in reflected light, polished sections: Po – pyrrhotite; Pn – pentlandite; Hpy – chalcopyrite; Py – pyrite; Gl – galena

**Таблица 1.** Химический состав основных сульфидных минералов из габброидов Аргысуцкого массива, вес. %

**Table 1.** Chemical composition of basic sulfide minerals from gabbroides of Argysuisky massif, wt. %

Образец/Sample	Минерал/Mineral	S	Fe	Ni	Co	Cu	
151-2-1	Пирротин Pyrrhotite	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				
2141-1-2		38,48	61,26				0,26
151-3-1		36,65	63,35				
151-3-2		36,47	63,53				
151-3-5		36,38	63,62				
151-3-6		36,45	63,55				
151-4-2		36,49	63,51				
151-5-1		36,85	63,15				
151-5-3		36,56	63,44				
151-5-5		36,73	63,27				
151-6-2		36,39	63,61				
2141-1-1		36,75	63,25				
2141-1-4		37,89	62,11				
2141-2-1	39,29	60,71					
41/5-4-1	38,78	61,22					
<i>среднее/average (22)</i>		37,17	62,82				
2141-2-5	Никелистый пирротин Ni-pyrrhotite	37,97	60,01	2,03			
151-3-1		39,41	58,90	1,69			
<i>среднее/average (2)</i>		38,69	59,45	1,86			
151-3-3	Пентландит/Pentlandite	33,40	36,10	28,16	2,34		
151-3-7		33,81	34,25	29,28	2,66		
151-4-3		33,56	35,74	28,23	2,48		
151-5-6		33,36	35,99	27,98	2,68		
151-6-3		33,29	36,54	28,03	2,14		
2141-1-3		34,35	31,34	29,93	4,38		
2141-2-2		33,51	31,51	31,16	3,83		
151-3-3		33,99	36,24	27,14	2,63		
<i>среднее/average (8)</i>		33,66	34,71	28,74	2,89		
151-5-4		Халькопирит Chalcopyrite	34,68	31,00	-		34,33
2141-2-3	34,84		30,14	0,27		34,75	
2141-2-4	36,36		29,31			34,33	
2127-3-1	34,32		31,21			34,47	
2144-2-4	34,27		30,53			35,20	
2144-6-1	35,35		29,90			34,76	
152-2-1	34,65		30,46			34,89	
152-2-2	34,99		30,38			34,63	
2144-1-1	34,68		30,69			34,64	
<i>среднее/average (9)</i>			34,90	30,40			34,66
151-9-1	Железистый халькопирит Glandular chalcopyrite		35,30	40,94	-		23,76
151-9-2			35,34	41,14			23,52
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	
<i>среднее/average (5)</i>		35,28	40,93			23,79	
2141-3-1	Пирит Pyrite (самостоятельные зерна) (independent grains)	53,69	46,31	0,47			
2141-3-3		53,69	46,31				
2141-3-4		54,44	45,09				
2144-2-5		53,24	46,76				
2144-3-1		53,34	46,66				
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				
151-3-4		52,69	47,31				
151-3-8		52,75	47,25				
2144-2-1		52,97	47,03				
2146-5-1		52,45	47,55				
<i>среднее/average (13)</i>		53,28	46,68				

Примечание к табл. 1. Здесь и далее диагностика химического состава сульфидов выполнена методом рентгеноспектрального микроанализа [17] на электронном сканирующем микроскопе «Tescan Vega II LMU», оборудованном энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 350 и волнодисперсионным спектрометром INCA Wave 700 в ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем» ТГУ (г. Томск), аналитик Е. Карбовяк

Note to table 1. Here and below diagnostics of chemical composition of sulfides was performed by X-ray spectral microanalysis [17] 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 E. Karbovyak.

товых обособлений либо представлен в виде аллотриоморфных агрегатов в ассоциации с пирротинном и пентландитом (рис. 1, а, в). По химическому составу такой халькопирит близок своей стехиометрической формуле.

Халькопирит второй генерации формирует неправильные агрегативные выделения размером до 0,4 мм, заполняющие мелкие интерстиции между силикатными зернами, и отклоняется от стехиометрического состава повышенными содержаниями железа (до 41,15 %) при пониженных содержаниях меди (23,52...24,30 %) (рис. 2, б; табл. 1).

В метагаббро отмечается развитие по халькопириту неравномерных каемок пирита, который в свою очередь интенсивно замещается каймой магнетита (рис. 2, в).

По химическому составу халькопириты первой генерации в целом близки халькопиритам из Талажинского и Кингашского массивов. Однако аргысукские и талажинские халькопириты отличаются от кингашских несколько большей железистостью.

Пирит, подобно халькопириту, также отмечен в виде двух генераций, первая из которых формирует самостоятельные мелкие округлые и неправильные зерна размером до 0,3 мм в основной силикатной массе породы, а вторая представлена в виде кайм замещения по зернам пирротина и халькопирита (рис. 1, б; рис. 2, в, г). При этом пирит второй генерации отличается от пирита первой генерации меньшим содержанием S при большей железистости (табл. 1).

Пирит имеет неровный, бугристый рельеф, по краевым зонам зерен часто отмечается интенсивное развитие магнетита (рис. 2, в, г).

Галенит выявлен в виде «сыпи» самостоятельных мелких (до 0,01 мм) округлых зерен, обособляющихся вокруг более крупных зерен пирротина и пентландита. В химическом составе нередко отмечается примесь железа до 0,58 % (табл. 2; рис. 1, а).

Железистый сфалерит (содержание Fe > 3 %, табл. 2) отмечен единожды в метагаббро в виде самостоятельного мелкого зерна размером ~4 мкм, неподалеку от зерен мангонильменита и рутила (рис. 2, д). Подобный специфический по химическому составу сфалерит с содержанием Fe до 6,5 % ранее был диагностирован в габброидах Талажинского массива [11].

Таблица 2. Химический состав второстепенных сульфидов из габброидов Аргысукского массива, вес. %

Table 2. Chemical composition of minor secondary sulfide minerals from gabbroides of Argysuksky massif, wt. %

Образец Sample	Минерал Mineral	S	Fe	Ni	Cu	Pb	Zn
151-7-1	Халькозин Chalcocine	23,13	2,70	1,18	72,99		
151-8-2	Борнит Bornite	26,38	10,11	–	63,51	–	–
151-8-3	Миллерит Millerite	34,73	1,15	60,02	4,10		
41/5-8-1	Сфалерит Sphalerite	33,69	3,07				63,23
151-4-1	Галенит	13,00	0,58			86,42	
2144-10-1	Галена	12,89	–			87,11	

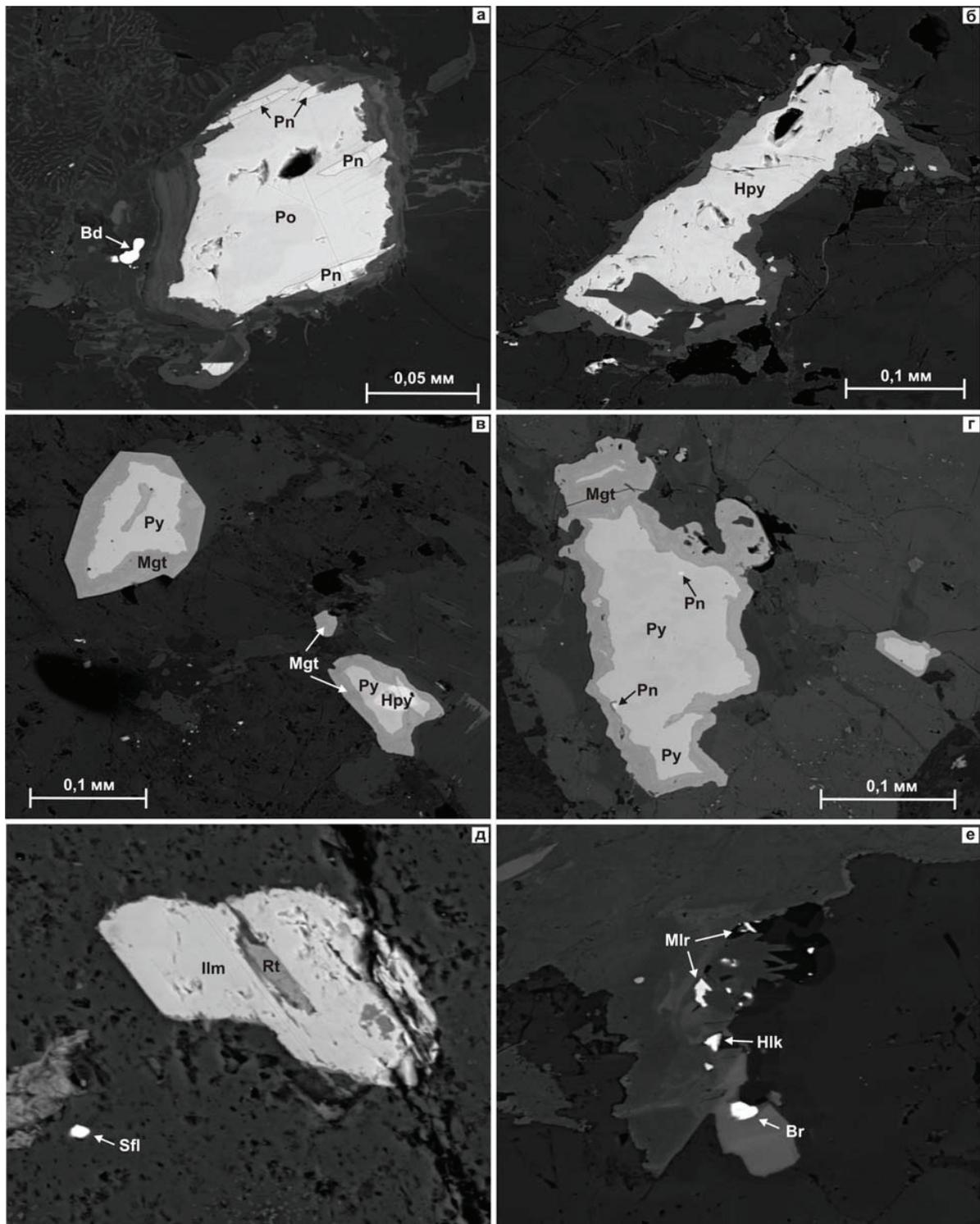
Миллерит, борнит и халькозин выявлены в тесной ассоциации друг с другом в виде «сыпи» мелких (первые микроны) однообразных округлых зерен, диагностируемых только путем применения метода рентгеноспектрального анализа (рис. 2, е; табл. 2). Нередко они также ассоциируют с агрегативными неправильными выделениями халькопирита.

#### Выводы

Впервые в габброидах Аргысукского массива проведена детальная диагностика сульфидной минерализации. Полученные результаты позволили к настоящему времени расширить минералогию сульфидов Аргысукского массива до 12 разновидностей. Наряду с известными до этого сульфидными минералами (пирит, пирротин, халькопирит, железистый халькопирит, пентландит), впервые выявлены и описаны новые для данного массива разновидности сульфидов: никелистый пирротин, галенит, железистый сфалерит, миллерит, борнит, халькозин.

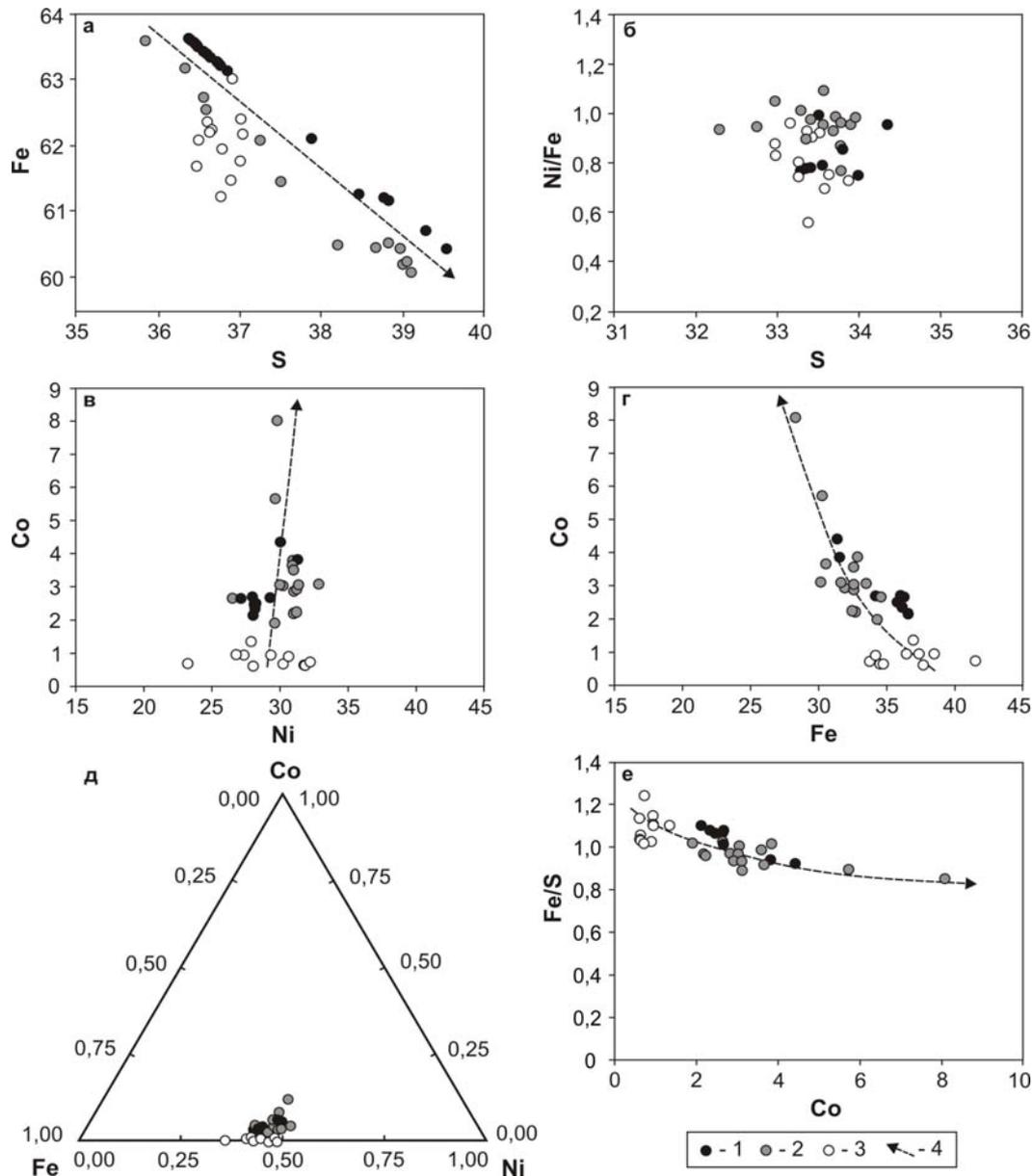
Полученные результаты показывают высокое сходство сульфидов Аргысукского массива с подобной минерализацией из габброидов (троктолитов, оливиновых габбро) Талажинского массива. Это, наряду с ранее полученными результатами петрологического исследования, свидетельствует в пользу большой схожести данных интрузивов.

Кристаллизация сульфидной минерализации, очевидно, осуществлялась из сульфидного расплава повышенной железистости, выделившегося в



**Рис. 2.** Микрофотографии сульфидной минерализации (режим BSE, сканирующий микроскоп «Tescan Vega II LMU») в габброидах Аргысукского массива: Po – пирротин; Pn – пентландит; Hpy – халькопирит; Py – пирит; Sfl – сфалерит; Hlk – халькозин; Br – борнит; Mlr – миллерит. Сопутствующие минералы: Mgt – магнетит; Ilm – ильменит; Rt – рутил; Bd – бадделейт

**Fig. 2.** Microphotographs of sulfide mineralization (BSE mode, scanning microscope «Tescan Vega II LMU») in gabbroides of Argysuksky massif: Po – pyrrhotite; Pn – pentlandite; Hpy – chalcopyrite; Py – pyrite; Sfl – sphalerite; Hlk – chalcocine; Br – bornite; Mlr – millerite. Related minerals: Mgt – magnetite; Ilm – ilmenite; Rt – rutile; Bd – baddeleyite



**Рис. 3.** Диаграммы элементного состава пирротитов (а) и пентландитов (б–е) из Аргысукского, Талажинского и Кингашского массивов Канской глыбы (СЗ Восточного Саяна). 1 – Аргысукский массив; 2 – Талажинский массив; 3 – Кингашский массив, по [18]; 4 – эволюционный тренд составов

**Fig. 3.** Diagrams of composition of pyrrhotines (a) and pentlandites (б–е) from Argysuksky, Talazhinsky and Kingash massifs of Kan block (NW of Eastern Sayan). 1 – Argysuksky massif; 2 – Talazhinsky massif; 3 – Kingash massif, according to [18]; 4 – evolutionary trend

процессе ликвации из исходного магматического расплава и претерпевшего последующую дифференциацию в процессе становления интрузива. На последнее предположение указывает присутствие наряду с основными сульфидами их переходных разновидностей, а также разброс значений содержания элементов внутри основных разновидностей сульфидов.

При понижающихся температурах из исходного сульфидного расплава осуществлялась близкая по времени кристаллизация зерен пирротина и

пентландита, с образованием на начальном этапе ряда твердых растворов между этими двумя сульфидами. Нередкое присутствие совместно с пирротитом и пентландитом халькопирита позволяет сделать предположение о повышенной фугитивности S и значимой роли Si в рудной системе на момент кристаллизации габброидов и, как следствие, ранней кристаллизации данного минерала наряду с пирротин-пентландитовыми выделениями.

Формирование железистого халькопирита, обеих генераций пирита, галенита, железистого сфа-

лерита, миллерита, борнита и халькозина автор склонен связывать с эпимагматическими гидротермальными процессами. При этом особенности химизма состава данных минералов также указывают на повышенную железистость и повышенную фугитивность серы в постмагматическом флюиде.

В соответствии с классической гравитационной моделью, наибольшая концентрация сульфидов происходит в результате опускания капелек сульфидной жидкости из головы магматической колонны в придонные части магматической камеры с их последующей сегрегацией в структурных ловушках и образованием густовкрапленного или сплошного оруденения [19, 20]. Учитывая, что магнитометрией доказывается наличие «скрытого» под габброидами ультрамафитового тела в основании Аргысукского массива, данная модель позволяет предположить потенциальную его рудоносность. При этом исследуемый массив, в отличие от Талажинского, характеризуется слабым эрозионным срезом, что позволяет ожидать полную сохранность предполагаемого Cu-Ni оруденения в его придонной ультрамафитовой части.

На потенциальную рудоносность Аргысукского массива также указывает его высокое сходство с Талажинским массивом плагиодунит-троктолит-анортозит-габбрового состава, который к настоящему времени причислен к рифейской дунит-трок-

толит-габбровой никеленосной формации [11, 12], характерными представителями которой являются массивы Войсис-Бей (Лабрадор, Канада), Дулут (Миннесота, США), Маскок (Нунавуд, Канада), Джинчуан (Ганьсу, Китай), пояс интрузивов Кабанга-Мусонгати (Западная Танзания), Йоко-Довыренский (Северное Прибайкалье, Россия) и др. [19, 21–25]. Интрузивы данной формации относятся к перспективным источниками рифейской эпохи Pt-Cu-Ni рудообразования и включают как богатые Pt-Cu-Ni руды, так и малосульфидные оруденения ЭПГ [26, 27].

В пользу потенциальной рудоносности Аргысукского массива также указывают выявленные редкие находки бабделейта вблизи сульфидных капель (рис. 2, а). Подобная минеральная ассоциация ранее была описана в образцах Таймырского, Талнахского и Норильского интрузивов, включающих уникальное Pt-Cu-Ni оруденение [28].

Отмеченные выше соотношения позволяют предположить высокую степень перспективности Аргысукского массива на обнаружение Pt-Cu-Ni оруденения. Для подтверждения факта наличия «скрытой» под габброидами ультрамафитовой пластины в его нижней части и реальной оценки степени ее рудоносности необходима постановка разведочного бурения со сквозной проходкой габбровой «покрышки».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Платиноносность ультрамафит-мафитов Монголии и Тувы / Л.В. Агафонов, Ж. Лхамсурэн, К.С. Кужугет, Ч.К. Ойдул. – Улаанбаатар: Монгольский государственный университет науки и технологии, 2005. – 224 с.
2. 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.
3. 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.
4. Юричев А.Н. Идарский ультрамафитовый комплекс Восточного Саяна: петрогеохимические особенности и вопросы рудоносности // *Отечественная геология*. – 2014. – № 6. – С. 56–66.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Платиноносность ультрабазит-базитовых комплексов Юга Сибири / под ред. В.И. Богнибова, А.П. Кривенко, А.Э. Исоха и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 1995. – 151 с.
9. Юричев А.Н., Чернышов А.И. Рудная минерализация перидотитов и габброидов кулибинского комплекса (северо-запад Восточного Саяна) // *Известия Томского политехнического университета*. – 2011. – Т. 319. – № 1. – С. 64–70.
10. Зеленокаменные пояса юго-западного обрамления Сибирской платформы и их металлогения / Т.Я. Корнев, А.Г. Еханин, В.Н. Князев, С.К. Шарифулин. – Красноярск: КНИИГиМС, 2004. – 176 с.
11. Юричев А.Н. Геолого-генетическая модель образования и потенциальная рудоносность мафит-ультрамафитовых массивов талажинского и кулибинского комплексов Восточного Саяна: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 22 с.
12. 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.
13. 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.
14. Юричев А.Н. Рудная минерализация габброидов Аргысукского массива (северо-запад Восточного Саяна) // *Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов*. – 2016. – Т. 327. – № 7. – С. 35–45.
15. Глазунов О.М., Богнибов В.И., Еханин А.Г. Кингашское платиноидно-медно-никелевое месторождение. – Иркутск: Изд-во ИГТУ, 2003. – 192 с.
16. Возраст и природа вещества Кингашского ультрамафит-мафитового массива, Восточный Саян / И.Ф. Гертнер, В.В. Врублевский, О.М. Глазунов, П.А. Тишин, Т.С. Краснова, Д.Н. Войтенко // *Доклады Академии наук*. – 2009. – Т. 429. – № 5. – С. 645–651.
17. Reed S.J.V. Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology. – N.Y.: Cambridge University Press, 2005. – 189 p.

18. Князев В.Н. Геология и условия образования благороднометалльного и медно-никелевого оруденения Канского зеленокаменного пояса (Восточный Саян): дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Красноярск, 2004. – 145 с.
19. Naldrett A.J. Magmatic sulfide deposits: geology, geochemistry and exploration. – Berlin: Springer, 2004. – 727 p.
20. Вахрушев А.М. Компьютерная модель формирования массивных сульфидных медно-никелевых руд Норильского месторождения // Руды и металлы. – 2012. – № 4. – С. 36–41.
21. Barnes S.-J., Zientek M.L., Seversen M.J. Ni, Cu, Au, and platinum-group element contents of sulphides associated with intraplate magmatism: a synthesis // Canadian Journal of Earth Sciences. – 1997. – V. 34. – № 4. – P. 337–351.
22. Formation of the Jinchuan ultramafic intrusion and the world's third largest Ni-Cu sulfide deposit: associated with the ~825 Ma south China mafic plume / X.H. Li, L. Su, S.-L. Chung, Z.X. Li, Y. Liu, B. Song, D.Y. Liu // Geochemistry, geophysics, geosystems. – 2005. – V. 6. – № 11. – P. 1–16.
23. Maier W.D., Barnes S.-J., Ripley E.M. The Kabanga Ni sulfide deposits, Tanzania: a review of ore-forming processes // Reviews in Economic Geology. – 2011. – V. 17. – P. 217–234.
24. Early Kibaran rift-related mafic-ultramafic magmatism in western Tanzania and Burundi: petrogenesis and ore potential of the Kapalagulu and Musongati layered intrusions / W.D. Maier, S.-J. Barnes, D. Bandyayera, T. Livesey, C. Li, E. Ripley // Lithos. – 2008. – V. 101. – P. 24–53.
25. The Dovyren intrusive complex: problems of petrology and Ni sulfide mineralization / A.A. Ariskin, G.S. Nikolaev, G.S. Barmina, K.A. Bychkov, E.G. Konnikov, L.V. Danyushevsky, E.V. Kislov, D.A. Orsoev // Geochemistry International. – 2009. – Т. 47. – № 5. – С. 425–453.
26. Кислов Е.В. Рифейская платинометалльно-медно-никелевая металлогеническая эпоха: факторы рудообразования // Петрология магматических и метаморфических комплексов. – Томск: ЦНТИ, 2009. – Вып. 7. – С. 328–338.
27. Кислов Е.В., Конников Э.Г. Рифейская эпоха платинометалльно-медно-никелевого рудообразования // Проблемы геологии и геохимии юга Сибири. – Томск: Изд-во ТГУ, 2000. – С. 67–72.
28. Серова А.А., Спиридонов Э.М. Бадделлит в ореолах флюидного воздействия над каплями сульфидов в пикритовых габбро-долеритах, плагиолерцолитах и троктолитах рудоносных интрузивов норильского типа // Известия вузов. Геология и разведка. – 2015. – № 3. – С. 83–85.

*Поступила 31.05.2017 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

**SULFIDES OF ARGYSUKSKY GABBRO 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 in 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 a complex study of sulfide mineralization of gabbroides of the Argysuksky massif in order to assess the degree of potential prospect of intrusion for detecting commercial copper-nickel mineralization in it.

**The methods:** 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.** The detailed diagnosis of sulfide mineralization was carried out in gabbroides of Argysuksky massif. The mineralization increased to 12 mineral varieties. The studied mineralization shows high similarity on specialization, mineral recruitment and chemistry with sulfides from gabbros of Talazhinsky massif, which further confirms the earlier assumption made about the high similarity of these objects and their assignment to a single formation type. Typomorphic and chemical features of sulphides indicate 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 on great promise of the test massif for detection of Cu-Ni ores.

**Key words:**

Argysuksky massif, gabbroides, sulfides, chemistry, genesis, 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. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. *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, Publ. House of SB RAS, Branch «Geo», 1995. 151 p.
9. Yurichev A.N., Chernyshov A.I. Ore mineralization of peridotites and gabbroides of the Kulibinsky complex (north-west of the Eastern Sayan). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2011, vol. 319, no. 1, pp. 64–70. In Rus.
10. 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.
11. Yurichev A.N. *Geologo-geneticheskaya model obrazovaniya i potentsialnaya rudonosnost mafit-ultramafitovykh massivov talazhinskogo i kulibinskogo kompleksov Vostochnogo Sayana*. Avtoref. Dis. Kand. nauk [Geologic genetic model of formation and potentially mineralization of mafic-ultramafic massifs of talazhinsky and kulibinsky complexes of Eastern Sayan. Cand. Diss. Abstract]. Tomsk, 2011. 22 p.
12. 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.
13. 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. In Rus.
14. Yurichev A.N. Ore mineralization from gabbroides of Argysuksky massif (north-west of Eastern Sayan). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2016, vol. 327, no. 7, pp. 35–45. In Rus.
15. Glazunov O.M., Bognibov V.I., Ekhanin A.G. *Kingashskoe platinoidno-medno-nikelevoe mestorozhdenie* [Kingash platinum-copper-nickel deposit]. Irkutsk, IGTU Publ., 2003. 192 p.
16. Gertner I.F., Vrublevskiy V.V., Glazunov O.M., Tishin P.A., Krasnova T.S., Voytenko D.N. Age and nature of the substance of Kingash ultramafic-mafic massif, Eastern Sayan. *Doklady Akademii nauk*, 2009, vol. 429, no. 5, pp. 645–651. In Rus.
17. Reed S.J.B. *Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology*. N.Y., Cambridge University Press, 2005. 189 p.
18. Knyazev V.N. *Geologiya i usloviya obrazovaniya blagorodnometalnogo i medno-nikelevogo orudneniya Kanskogo zelenokamennogo poyasa (Vostochny Sayan)*. Dis. Kand. nauk [Geology and

- conditions for formation of noble metal and copper-nickel mineralization of the Kan Greenstone Belt (Eastern Sayan). Cand. Diss.]. Krasnoyarsk, 2004. 145 p.
19. Naldrett A.J. *Magmatic sulfide deposits: geology, geochemistry and exploration*. Berlin, Springer, 2004. 727 p.
  20. Vakhrushev A.M. Computer model for formation of massive sulfide copper-nickel ores of Norilsk deposit. *Rudy i metally*, 2012, no. 4, pp. 36–41. In Rus.
  21. Barnes S.-J., Zientek M.L., Seversen M.J. Ni, Cu, Au, and platinum-group element contents of sulphides associated with intraplate magmatism: a synthesis. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 1997, vol. 34, no. 4, pp. 337–351.
  22. Li X.H., Su L., Chung S.-L., Li Z.X., Liu Y., Song B., Liu D.Y. Formation of the Jinchuan ultramafic intrusion and the world's third largest Ni-Cu sulfide deposit: associated with the ~825 Ma south China mafic plume. *Geochemistry, geophysics, geosystems*, 2005, vol. 6, no. 11, pp. 1–16.
  23. Maier W.D., Barnes S.-J., Ripley E.M. The Kabanga Ni sulfide deposits, Tanzania: a review of ore-forming processes. *Reviews in Economic Geology*, 2011, vol. 17, pp. 217–234.
  24. Maier W.D., Barnes S.-J., Bandyayera D., Livesey T., Li C., Ripley E. Early Kibaran rift-related mafic-ultramafic magmatism in western Tanzania and Burundi: petrogenesis and ore potential of the Kapalagulu and Musongati layered intrusions. *Lithos*, 2008, vol. 101, pp. 24–53.
  25. Ariskin A.A., Nikolaev G.S., Barmina G.S., Bychkov K.A., Konnikov E.G., Danyushevsky L.V., Kislov E.V., Orsoev D.A. The Dovyren intrusive complex: problems of petrology and Ni sulfide mineralization. *Geochemistry International*, 2009, vol. 47, no. 5, pp. 425–453.
  26. 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 Publ., 2009. Iss. 7, pp. 328–338.
  27. 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.
  28. Serova A.A., Spiridonov E.M. Baddeleyite in halos of fluid influence on droplets of sulfides in picritic gabbro-dolerites, plagiolherzolites and troctolites of ore-bearing intrusives of norilsk type. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*, 2015, no. 3, pp. 83–85. In Rus.

Received: 31 May 2017.

#### Information about the authors

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