

УДК 552.321.6:553.08

## НОВЫЕ ДАННЫЕ О БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ КИНГАШСКОГО УЛЬТРАМАФИТОВОГО МАССИВА (СЕВЕРО-ЗАПАД ВОСТОЧНОГО САЯНА)

**Юричев Алексей Николаевич,**

кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры петрографии геолого-географического факультета Национального исследовательского Томского государственного университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36. E-mail: juratur@sibmail.com

**Чернышов Алексей Иванович,**

доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой петрографии геолого-географического факультета Национального исследовательского Томского государственного университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36. E-mail: aich@ggf.tsu.ru

**Кульков Алексей Сергеевич,**

кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник лаборатории структурной петрологии и минералогии Национального исследовательского Томского государственного университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36; младший научный сотрудник лаборатории механики структурно-неоднородных сред Института физики прочности и материаловедения СО РАН, Россия, 634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4. E-mail: 727@sibmail.com

**Актуальность работы** обусловлена необходимостью детального петрологического исследования многочисленных потенциально рудоносных ультрамафитовых и мафит-ультрамафитовых массивов Канской глыбы Восточного Саяна с целью совершенствования региональных схем корреляции, а также выявления в них Pt-Cu-Ni-оруденения. Один из таких массивов – Кингашский, включающий в себя одноименное крупное Pt-Cu-Ni-месторождение, открытое еще в советское время, является объектом настоящего исследования. Однако, несмотря на повышенный интерес исследователей к данному массиву, остаются до конца нерешенными вопросы глубины его формирования, комагматичности ультраосновных и основных пород, а также условий формирования и локализации в нем руд.

**Цель работы:** изучение благороднометалльной минерализации в кумулятивных дунитах Кингашского ультрамафитового массива с целью расширения ее минералогической специализации.

**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» с энергодисперсионной и волнодисперсионной приставками и микроанализатора «Camebax-micro».

**Результаты.** В рудах Кингашского ультрамафитового массива, наряду с уже известными для этого месторождения минералами золото-серебряной и платиноидной минерализаций, авторами впервые установлены и охарактеризованы аргентит, железистый сперрилит и висмутистая разновидность меренскиита. В целом состав благороднометалльной минерализации обладает особенностями, обусловленными геохимической специализацией рудно-магматической системы, отличающейся высокой железистостью, что сближает Кингашское месторождение с другими медно-никелевыми месторождениями раннего протерозоя: Джинчун (Китай), Печенга (Россия), Унгава (Канада), Маунт-Шолл (Западная Австралия) и др.

### **Ключевые слова:**

Кингашский массив, благороднометалльная минерализация, химический состав, аргентит, железистый сперрилит, висмутистый меренскиит.

### **Введение**

Ультрамафитовые и мафит-ультрамафитовые интрузии являются производными мантийных расплавов, несут в себе ценную информацию о глубинных зонах Земли, а также позволяют проследить эволюцию ультраосновного и основного магматизма. С ними связаны месторождения хромитов, медно-никелевых сульфидных руд, платиноидов и др.

Ультрамафиты и мафиты различной формационной принадлежности характеризуются широким распространением в пределах Канской глыбы Восточного Саяна. Они картируются в виде многочисленных массивов, чаще небольших размеров, и привлекают внимание многих исследователей в связи с их потенциальной рудоносностью [1–6]. Однако формационная принадлежность и металлогеническая специализация данных объектов часто

оказываются дискуссионными и требуют дальнейшего изучения.

Объектом настоящего исследования является благороднометалльная минерализация Кингашского ультрамафитового массива, являющегося эталонным объектом для одноименного дунит-верлит-пикритового комплекса [7] и включающего в себя крупное Cu-Ni-месторождение с элементами платиновой группы (ЭПГ) [8–11]. Несмотря на повышенный интерес к массиву, остаются до конца нерешёнными вопросы глубины его формирования, комагматичности ультраосновных и основных пород, а также условий формирования и локализации руд.

Полученные результаты позволяют расширить минералогическую благороднометалльную специализацию Кингашского массива и уточнить состав исходного рудоконтролирующего магматического расплава.

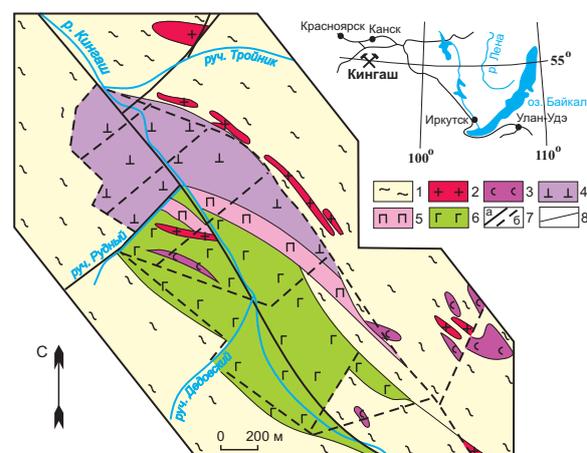
#### Краткая геологическая характеристика исследуемого объекта

Кингашский ультрамафитовый массив (AR<sub>2</sub>-PR<sub>1</sub>) расположен в пределах зеленокаменного пояса Канской глыбы Восточного Саяна. Многие аспекты его внутреннего строения и происхождения остаются до настоящего времени дискуссионными. Одни исследователи относят его к расслоенным интрузиям [8], другие считают его субвулканическим телом базальт-коматиитовой формации [7, 12–13], третьи рассматривают его в качестве фрагмента кингашского базальт-коматиитового вулканического комплекса [1, 14], четвертые считают, что по формационным признакам массив больше соответствует полигенным комплексам, а не расслоенным интрузиям [15].

Кингашский массив в плане картируется в виде крупной линзы (3×0,7 км), вытянутой в северо-западном направлении, и имеет согласное залегание со структурой пород обрамления. Контакты его с вмещающей толщей тектонические [16]. Массив сложен ультрамафитами и габброидами, со значительным преобладанием первых. Ультрамафиты обнажаются в его северной части, а в южной они перекрываются габброидами (рис. 1).

Согласно нашим исследованиям, ультрамафитовая часть разреза массива сложена преимущественно кумулятивными дунитами и их серпентинизированными разностями, при этом верлиты и пикриты пользуются ограниченным распространением. Выделяемые породы не обнаруживают какой-либо стратификации в массиве, а распределяются хаотично. Можно предположить, что образование ультрамафитового тела осуществлялось в магматической камере в условиях активной тектонической обстановки, когда режим сжатия периодически сменялся растяжением [7]. В моменты растяжения, очевидно, происходило пульсационное внедрение в камеру по образовавшимся в ней ослабленным зонам неоднородных по составу ультраосновных расплавов, которые возникли в результате

магматической дифференциации в глубинных промежуточных магматических очагах.



**Рис. 1.** Схематическая геологическая карта Кингашского мафит-ультрамафитового массива (составлена Н.А. Третьяковым, В.А. Прохоровой, в редакции авторов): 1 – вмещающие породы: гнейсы, амфиболиты, мраморы; 2 – гранитоиды; 3 – серпентиниты; 4 – ультрамафиты; 5 – клинопироксениты; 6 – габброиды; 7 – тектонические нарушения: а) достоверные, б) предполагаемые; 8 – геологические границы

**Fig. 1.** Schematic geological map of Kingashsky mafic-ultramafic massif (composed by N.A. Tretyakov, V.A. Prokhorova, in the wording of the authors): 1 – host rocks: gneisses, amphibolites, marbles; 2 – granitoids; 3 – serpentinites; 4 – ultramafites; 5 – clinopyroxenites; 6 – gabbroes; 7 – tectonic violations: a) reliable, b) anticipated; 8 – geological boundaries

Габброиды, перекрывающие ультрамафиты, очевидно, представляют собой последующую, оторванную по времени фазу внедрения, при этом наблюдаемые на контакте ультрамафитов и габброидов клинопироксениты, вероятно, являются реакционными образованиями [3].

Установлено, что промышленные пирротин-пентландитовые руды с минералами ЭПГ в Кингашском массиве обособляются в интерстициях, главным образом, кумулятивных дунитов и их серпентинизированных разностях [11]. Руды преимущественно вкрапленные (интерстиционно-вкрапленные, гнездово-вкрапленные, сидеронитовые и шпирово-вкрапленные) и охватывают в разной степени все ультрамафиты месторождения. Жильные сульфидные руды (брекчиевидные, массивные и флюидально-полосчатые, прожилковые) распространены в ограниченном объеме (около 0,3 %), их мощность – до 1,5 м.

Главные минералы вкрапленных руд – пирротин, пентландит и халькопирит – находятся в различных соотношениях: от преобладания пирротина до преобладания пентландита. Халькопирит всегда занимает подчиненное положение. Второстепенные рудные минералы представлены пиритом, сфалеритом, галенитом, виоларитом, кубанитом, макинавитом, герсдорфитом и др. Минералы благородных металлов представлены самородным

серебром и золотом, электрумом, кюстелитом, мончеитом, майченеритом, фрудитом, меренскиитом, соболевскиитом, котульскиитом, эрлихманитом, ирарситом, иридарсенитом, паоловитом, сперрилитом, гесситом и др. [8–10, 17–18]. Они образуют зерна и их сростки размером до 0,3 мм (преобладают 5–30 мкм). Выявлены сульфиды и сульфоарсениды, в составе которых присутствуют твердые растворы ЭПГ [17].

В приповерхностных условиях месторождения развиты зона окисления и кора выветривания. Окисленные руды сложены гидроокислами железа (гетит, гидрогетит), марказитом, гематитом, виоларитом, реже встречаются борнит, ковеллин, халькозин, самородная медь. Силикатный тип руд приурочен к коре выветривания линейного типа. В ней установлены повышенные содержания силикатов никеля, отмечены вольфрамит, касситерит и минералы благородных металлов: сплавы золота с серебром, аурикуприд, тетрааурикуприд, медистое золото, палладистое золото, амальгама золота и серебра, стибнопалладинит, мертиит II и др. [10].

#### Методика исследования

В полированных аншлифах из вкрапленных, сливных и брекчиевидных Cu-Ni-руд Кингашского массива редко встречаются минералы золото-серебряной и платиновой группы. Анализ вещественного состава рудных минералов, а также их качественные изображения в отраженных электронах (режим BSE) проводился методом рентгеноспектрального микроанализа [19] 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. Для этого из отобранных образцов пород (дуниты) и руд были изготовлены плоскопараллельные аншлифы толщиной 3–4 мм по рекомендуемым методикам [19–20]. Перед проведением анализов на исследуемые поверхности предварительно напыляли слой углерода толщиной 25–30 нм. Последующие расчеты химических составов проводились по программе INCA-Issue 18b.

Для достоверного количественного состава выявленных рудных минералов проведено их исследование на рентгеновском микроанализаторе Samebax-micro. Условия анализа: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 20–30 нА, время счета 10 с на каждой аналитической линии. В качестве эталонов для определения Pd, Pt, Ag, Fe, Ni, Co использовались чистые металлы, для As – NiAs, Bi – Bi<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, Te – PbTe.

#### Золото-серебряная минерализация

Минералы Au-Ag-минерализации в ультрамафитах Кингашского массива представлены гесситом, аргентитом, самородным золотом, медистым и палладистым золотом, электрумом, кюстелитом, аурикупридом, тетрааурикупридом, амальгамой

золота и серебра (табл. 1). Они образуют отдельные единичные зерна и их сростки с преимущественным размером 5–30 мкм, редко отмечаются выделения до 0,35 мм. Данная минерализация выявляется во всех типах Cu-Ni-руд. Однако наиболее часто минералы золота и серебра ассоциируют с халькопирит-кубанитовыми агрегатами, реже находятся в пентландите, пирротине, хромшпинелиде и основной силикатной матрице породы (рис. 2).

**Таблица 1.** Средние составы минералов золота и серебра в ультрамафитах Кингашского месторождения, вес. %

**Table 1.** Average compositions of minerals of gold and silver in ultramafites of Kingashsky deposit, wt. %

Минерал Mineral	Число анализов Number of analyses	Cu	Au	Ag	Hg	Te	Pd	S	Сумма Sum
Золото Gold	7	–	87,17	12,04	0,96	–	–	–	100,17
Cu-золото Cu-gold	3	7,88	89,31	4,01	0,09	–	–	–	101,29
Pd-золото Pd-gold	3	–	80,96	16,80	–	–	1,66	–	99,41
Тетрааурикуприд Tetraauricupride	6	29,50	64,83	5,60	–	–	–	–	99,93
Аурикуприд Auricupride	4	45,77	50,16	2,96	–	–	–	–	98,89
Электрум Electrum	6	0,70	51,05	46,04	0,57	0,04	–	–	98,39
Кюстелит Kustelite	2	0,79	28,37	67,93	0,11	0,06	–	–	97,24
Гессит Hessite	3	–	–	58,62	–	38,60	0,03	–	97,26
Аргентит Argentite	2	–	–	87,28	–	–	–	12,72	100,00

Примечание. Здесь и далее диагностика химического состава выполнена методом рентгеноспектрального микроанализа с применением электронного сканирующего микроскопа Tescan Vega II LMU с энергодисперсионным и волнодисперсионным спектрометрами в ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем» ТГУ (г. Томск) и микроанализатора Samebax-micro в ИГМ СО РАН (г. Новосибирск). Для данной выборки также частично использованы анализы Г.И. Шведова, В.Н. Князева [17–18, 21].

Note. Here and hereinafter the determination of the chemical composition was carried out by the method of X-ray spectrum microanalysis using scanning electron microscope Tescan Vega II LMU with energy-dispersive and wave-dispersive spectrometers in CCU «Analytical Center of geochemistry of natural systems» TSU (Tomsk) and microprobe Samebax-micro in IGM SB RAS (Novosibirsk). For a given set of data the assays of G.I. Shvedov, V.N. Knyazev [17–18, 21] were partly used.

Во вкрапленных и жильных сульфидных рудах широко распространенным минералом является гессит, который ассоциирует с алтаитом, халькопиритом, пентландитом и минералами платиновой группы (меренскиитом и майченеритом). Ассоциация с последними, очевидно, объясняет нередкое «загрязнение» химического состава данного минерала микропримесями Pt и Pd (табл. 1).

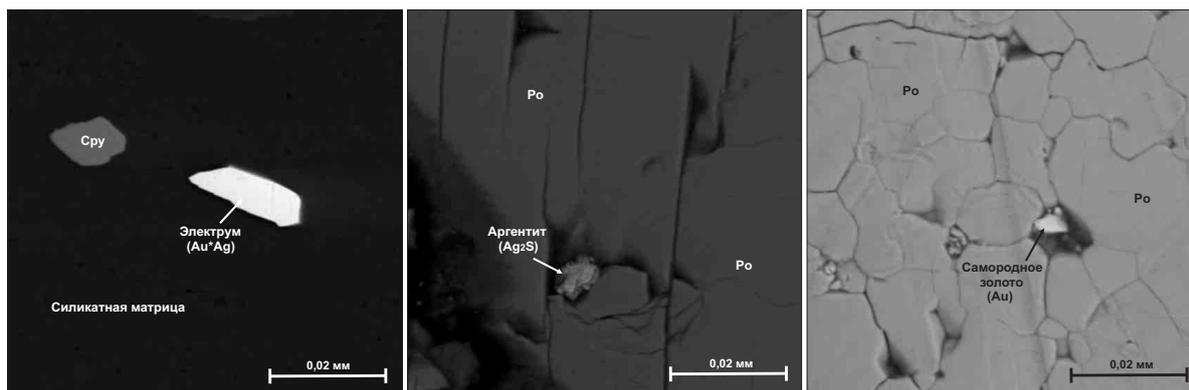


Рис. 2. Минералы Au и Ag в ультрамафитах Кингашского массива: Po – пирротин; Cpy – халькопирит

Fig. 2. Minerals of Au and Ag in ultramafites of Kingashsky massif. Po – pyrrhotite; Cpy – chalcopyrite

Наиболее распространенными минералами золота являются Au-Ag-сплавы, отвечающие по составу электриту, реже отмечается самородное золото и кюстелит. Эти минералы выявлены во всех типах руд и представлены субизометричными и проволочковидными зёрнами размером до 0,2 мм.

Аурикуприд, тетрааурикуприд, медистое и палладистое золото, амальгама золота преимущественно выявляются в коре выветривания, что отмечалось ранее [10, 17].

#### Платинометаллическая минерализация

Среди минералов платиновой группы (МПГ) в изученных образцах ультрамафитов авторами выявлены железистый сперрилит и висмутистый меренскиит.

В более ранних исследованиях был сделан вывод, что сперрилит является самым распространенным МПГ в ультрамафитах Кингашского массива [9, 17–18]. Он отмечается во всех типах Cu-Ni-руд: вкрапленных, брекчиевидных и массивных. Предполагается наличие двух генераций этого минерала – раннего первично-магматического происхождения и позднего – переотложенного. Выявленный нами железистый сперрилит отмечается в виде обособленных от других МПГ крупных зёрен размером до 0,05 мм, которые характеризуются прямолинейными контурами субизометричной формы (рис. 3). В его составе постоянно обнаруживается примесь железа до 1,84 % (табл. 2). По ти-

поморфным и химическим особенностям такая разновидность сперрилита, очевидно, относится к первой генерации, так как переотложенный сперрилит в кингашских ультрамафитах обычно находится в постоянной ассоциации с другими платиноидами (майченеритом и меренскиитом) или в тесном срастании с сульфидами – халькопиритом и пентландитом [10].

Меренскиит, после майченерита, относится к следующему по распространенности минералу палладия на Кингашском месторождении и встречается как среди богатых брекчиевидных Cu-Ni-руд, так и среди эпигенетических вкрапленных и прожилково-вкрапленных руд в виде мелких (до 0,01 мм) овальных зёрен. Минерал часто находится в тесной ассоциации с майченеритом в пирротин-пентландитовых или пентландитовых агрегатах (рис. 3). Выявленный авторами висмутистый меренскиит (содержание Bi до 28,1 %, табл. 2) ранее не отмечался на месторождении («классические» кингашские меренскииты содержат Bi ~ 16,0–17,0 %, по [10]) и, очевидно, является промежуточной разновидностью в ряду твердых растворов майченерит-меренскиит, о чем свидетельствует тесная ассоциация между этими минералами. Замещение теллура висмутом, а также постоянное присутствие в диагностированных меренскиитах примеси Pt (до 9,7 %) и Ni (до 0,11 %) характерно для этого минерала из других платиновых месторождений [22–23].

Таблица 2. Химический состав выявленных платиноидов в ультрамафитах Кингашского месторождения, вес. %

Table 2. Chemical composition of the identified minerals of PGE in ultramafites of Kingashsky massif, wt. %

Минерал Mineral	Fe	Ni	As	Pt	Te	Pd	Bi	Сумма Sum	Формула Formula
Железистый сперрилит Glandular sperrylite	1,84	0,74	42,66	52,76	–	–	–	98,00	$(Pt_{0,95}Fe_{0,11}Ni_{0,04})_{1,10}As_{1,90}$
	1,26	–	42,40	55,06	–	–	–	98,72	$(Pt_{0,99}Fe_{0,08})_{1,07}As_{1,90}$
	1,43	0,50	42,74	54,96	–	–	–	99,63	$(Pt_{0,98}Fe_{0,09}Ni_{0,03})_{1,10}As_{1,90}$
Висмутистый меренскиит Bi-bearing merenskyite	–	–	–	9,70	46,49	16,01	27,80	100,00	$(Pd_{0,66}Pt_{0,21})_{0,87}(Te_{1,57}Bi_{0,57})_{2,13}$
	–	0,11	–	9,52	45,43	16,78	28,12	99,96	$(Pd_{0,68}Pt_{0,21}Ni_{0,01})_{0,90}(Te_{1,53}Bi_{0,57})_{2,10}$

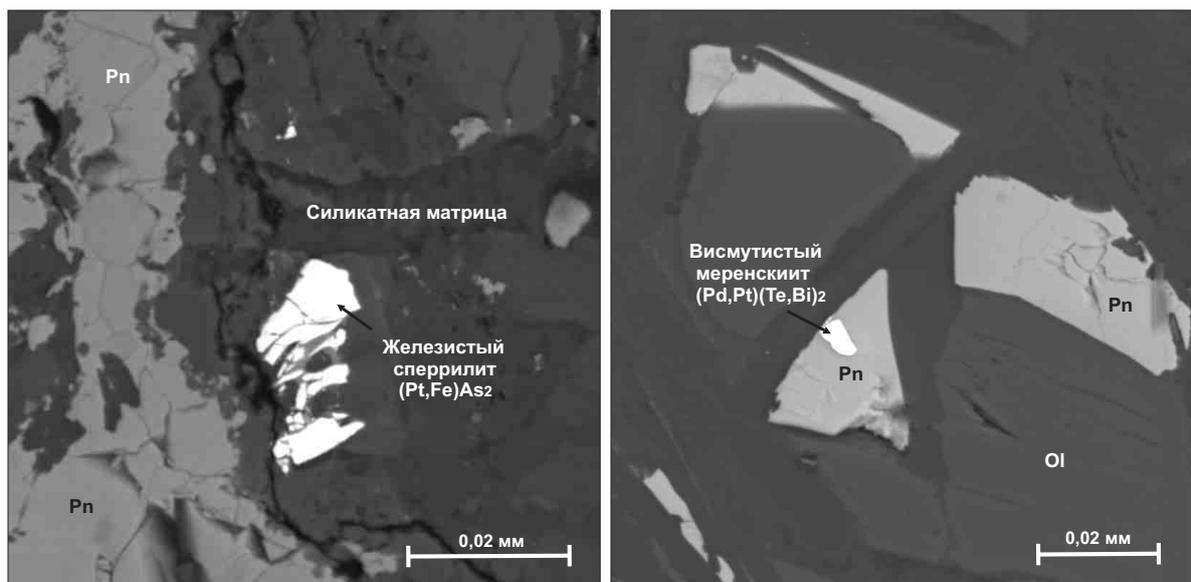


Рис. 3. Минералы ЭПГ в ультрамафитах Кингашского массива: Pn – пентландит; Ol – оливин

Fig. 3. Minerals of PGE in ultramafites of Kingashsky massif: Pn – pentlandite; Ol – olivine

#### Выводы

1. В рудах Кингашского ультрамафитового массива наряду с уже известными для этого месторождения минералами золото-серебряной и платиноидной минерализации авторами впервые установлены и охарактеризованы аргентит, железистый сперрилит и висмутистая разновидность меренскиита.
2. Исследованные составы благороднометалльной минерализации из Кингашского месторождения обладают особенностями, обусловленными геохимической специализацией рудно-магматической системы. Так, содержание примеси железа в первично-магматическом железистом сперрилите, наряду с особенностями состава сульфидной ассоциации (с участием троилита, макинавита и постоянно железистым составом пентландита), указывает на высокую железистость в целом кингашской рудно-магматической системы и сближает ее с другими медно-никелевыми месторождениями раннего протезоэра.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Платиноносность ультрабазит-базитовых комплексов Юга Сибири / под ред. В.И. Богнибова, А.П. Кривенко, А.Э. Исоха. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 1995. – 151 с.
3. Чернышов А.И., Ножкин А.Д., Мишенина М.А. Петрохимическая типизация ультрамафитов Канского блока (Восточный Саян) // Геохимия. – 2010. – № 2. – С. 1–25.
4. Юричев А.Н. Мафит-ультрамафитовый магматизм Канской глыбы и его рудный потенциал, Северо-Запад Восточного Саяна // Руды и металлы. – 2013. – № 3. – С. 11–20.

роэра: Джинчуан (Китай), Печенга (Россия), Унгава (Канада), Маунт-Шолл (Австралия).

3. Присутствие железистого сперрилита делает обоснованным ранее сформулированное предположение [10] о наличии двух генераций этого минерала в ультрамафитах Кингашского массива. При этом авторы относят выделенный сперрилит к ранней первично-магматической генерации. Наличие повышенной примеси железа в его химическом составе наряду со склонностью зерен к обособлению от других МПГ предлагается считать специфическими признаками сперрилита этой генерации.
4. Присутствие в составе сульфидных руд Кингашского массива, наряду с Ni, Cu, Co и платиноидами, Au-Ag-минерализации существенно повышает экономическую и минералогическую привлекательность Кингашского месторождения и открывает перспективы использования комплексного подхода при разработке руд месторождений кингашского типа.

5. 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.
6. Юричев А.Н., Чернышов А.И., Конников Э.Г. Талажинский плагиодунит-троктолит-анортосит-габбровый массив Восточного Саяна: петрогеохимические особенности и проблемы рудоносности // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54. – № 2. – С. 219–236.
7. Кингашский мафит-ультрамафитовый массив: геологическое положение, внутреннее строение, вещественный состав и петроструктурный анализ ультрамафитов (Восточный Саян) / А.И. Чернышов, А.Д. Ножкин, С.И. Ступаков, П.А. Балыкин, Н.И. Кузоватов, И.Г. Резников, Н.А. Третьяков, В.А. Прохорова.

- рова // Платина России. Проблемы развития, оценки, воспроизводства и комплексного использования минерально-сырьевой базы платиновых металлов: Сб. научн. трудов. Т. V. – М.: ООО «Геоинформмарк», 2004. – С. 152–175.
8. Глазунов О.М., Богнибов В.И., Еханин А.Г. Кингашское платиноидно-медно-никелевое месторождение. – Иркутск: Изд-во ИГТУ, 2003. – 192 с.
  9. Радомская Т.А. Минералогия и геохимия Кингашского платиноидно-медно-никелевого месторождения (В. Саян): автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Иркутск, 2012. – 23 с.
  10. Путеводитель по Кингашскому месторождению медно-никелевых и благороднометаллических руд (Восточный Саян) / Т.Я. Корнев, А.П. Романов, В.Н. Князев, С.К. Шарифуллин, Г.И. Шведов, Н.А. Третьяков, И.Г. Резников, В.В. Некос. – Красноярск: КНИИГиМС, 2001. – 72 с.
  11. Юричев А.Н. Эволюция сульфидного расплава в процессе образования Кингашского ультрамафитового массива (северо-запад Восточного Саяна) // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. – № 1. – С. 56–63.
  12. Коматит-базальтовая ассоциация Канского зеленокаменного пояса (Восточный Саян) / М.Ю. Цыпуков, А.Д. Ножкин, В.А. Бобров, Ю.Г. Шипицын // Геология и геофизика. – 1993. – № 8. – С. 98–108.
  13. Сульфидно-никелевое и благороднометаллическое оруденение в гранит-зеленокаменной области Восточного Саяна / А.Д. Ножкин, М.Ю. Цыпуков, В.А. Попереков, А.Н. Смагин, А.В. Ренжин // Отечественная геология. – 1995. – № 6. – С. 11–17.
  14. Корнев Т.Я., Еханин А.Г. Эталон Кингашского базальт-коматитового комплекса (Восточный Саян). – Новосибирск: СНИИГиМС, 1997. – 88 с.
  15. 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.
  16. Амфиболит-гнейсовые комплексы зеленокаменных поясов Канской глыбы: геохимия, реконструкция протолитов и условий их образования (Восточный Саян) / А.Д. Ножкин, О.М. Туркина, В.А. Бобров, А.Д. Киреев // Геология и геофизика. – 1996. – № 12. – С. 30–41.
  17. Князев В.Н. Геология и условия образования благороднометаллического и медно-никелевого оруденения Канского зеленокаменного пояса (Восточный Саян): дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Красноярск, 2004. – 145 с.
  18. Минералы элементов платиновой группы в сульфидных медно-никелевых рудах Кингашского массива (Восточный Саян) / Г.И. Шведов, Н.Д. Толстых, В.В. Некос, Л.Н. Поспелова // Геология и геофизика. – 1997. – Т. 38. – № 11. – С. 1842–1848.
  19. Reed S.J.V. Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology. – N.Y.: Cambridge University Press, 2005. – 189 p.
  20. Taylor C.M., Radtke A.S. Preparation and polishing of ores and mill products for microscopic examination and electron microprobe analysis // Econ. Geol. – 1965. – № 65. – P. 1306–1319.
  21. Шведов Г.И., Некос В.В., Третьяков Н.А. Новые данные о минералогии базит-ультрабазитовых массивов Кингашского рудного района (Восточный Саян) // Платина в геологических формациях Сибири: общероссийский семинар. – Красноярск: КНИИГиМС, 2001. – С. 134–135.
  22. Барков А.Ю., Леднев А.И., Бакушкин Е.М. Минералы элементов группы платины из массива горы Генеральской, Кольский полуостров // Доклады Академии наук. – 1994. – Т. 338. – № 6. – С. 785–788.
  23. Изох А.Э., Майорова О.Н., Лаврентьев Ю.Т. Минералы платиновых металлов в Номгонском троктолит-анортозит-габбровом интрузиве // Геология и геофизика. – 1992. – № 1. – С. 104–110.

*Поступила 19.01.2016 г.*

UDC 552.321.6:553.08

## NEW DATA ABOUT NOBLE-METAL MINERALIZATION OF KINGASHSKY ULTRAMAFIC MASSIF (NORTHWEST OF EASTERN SAYAN)

**Alexey N. Yurichev,**

National Research Tomsk State University,  
36, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: juratur@sibmail.com

**Alexey I. Chernyshov,**

National Research Tomsk State University,  
36, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: aich@ggf.tsu.ru

**Alexey S. Kulkov,**

National Research Tomsk State University,  
36, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia;  
Institute of Strength Physics and Materials Science  
of Siberian Branch Russian Academy of Sciences,  
2/4, Academicheskoy Avenue, Tomsk, 634021, Russia. E-mail: 727@sibmail.com

**The relevance of the work** is caused by the need of detailed petrological studies of numerous potentially mineralized ultramafic and 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. One of these massifs – Kingashsky massif, including an eponymous large Pt-Cu-Ni deposit, discovered in Soviet times – is the subject of this study. However, despite the increased interest of researchers to this massif, the following issues – the depth of its formation, the comagmatic ultramafic and mafic rocks and the conditions of formation and localization of ore in it – remain unresolved.

**The main aim** of the paper is to study the noble-metal mineralization in cumulative dunite of Kingashsky ultramafic massif in order to increase its mineralogical specialization.

**The methods used in the work:** study of ore mineralization in polished sections using a polarizing microscope AxioScope Carl Zeiss. Determination of the chemical composition of ore mineralization was carried out by the method of X-ray spectrum microanalysis using scanning electron microscope Tescan Vega II LMU with energy-dispersive and wave-dispersive spectrometers and microprobe Samebax-micro.

**The results.** For the first time the authors identified and described new for this massif species of ore minerals of gold, silver and PGE: argentite, glandular sperrylite, Bi-bearing merenskyite. In general, the composition of noble-metal mineralization has an array of features due to the geochemical specialization of ore-magmatic system, which is characterized by a high iron content, which brings Kingashsky ore field together with other copper-nickel deposits of the Early Proterozoic: Dzhinchuan (China), Pechenga (Russia), Ungava (Canada), Mount Scholl (Western Australia) and others.

### Key words:

Kingashsky massif, noble-metal mineralization, chemical composition, argentite, glandular sperrylite, Bi-bearing merenskyite.

### REFERENCES

1. 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.
2. *Platinonosnost ultrabazit-bazitovykh kompleksov Yuga Sibiri* [PGE mafic-ultramafic complexes of South Siberia]. Ed. by V.I. Bognibova, A.P. Krivenko, A.E. Izokha. Novosibirsk, Publishing House of SB RAS, Branch «Geo», 1995. 151 p.
3. Chernyshov A.I., Nozhkin A.D., Mishenina M.A. Petrokhimicheskaya tipizatsiya ultramafitov Kanskogo bloka (Vostochnyy Sayan) [Petrogeochemical typification of the ultramafic rocks from the Idar greenstone belt, Kan block, East Sayan]. *Geochimistry International*, 2010, no. 2, pp. 1–25.
4. Yurichev A.N. Mafit-ultramafitovyy magmatizm Kanskoy glyby i ego rudnyy potentsial, Severo-Zapad Vostochnogo Sayana [Mafic-ultramafic magmatism of the Kan block and its ore potential, NW Eastern Sayan]. *Rudy i metally*, 2013, no. 3, pp. 11–20.
5. Yurichev A.N., Chernyshov A.I. Rudnaya mineralizatsiya peridotitov i gabbroidov kulibinskogo kompleksa (severo-zapad Vostochnogo Sayana) [Ore mineralization of peridotites and gabbroes of the Kulibinsky complex (north-west of the Eastern Sayan)]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2011, vol. 319, no. 1, pp. 64–70.
6. Yurichev A.N., Chernyshov A.I., Konnikov E.G. Talazhinsky plagiodunit-troktolit-anortozit-gabbrovyy massiv Vostochnogo Sayana: petrogeokhimicheskie osobennosti i problemy rudonosnosti [The Talazhin plagioclone-troctolite-anorthosite-gabbro massif (East Sayan): petrogeochemistry and ore potential]. *Russian Geology and Geophysics*, 2013, vol. 54, no. 2, pp. 219–236.
7. Chernyshov A.I., Nozhkin A.D., Stupakov S.I., Balykin P.A., Kuzovatov N.I., Reznikov I.G., Tretyakov N.A., Prokhorova V.A. Kingashsky mafit-ultramafitovyy massiv: geologicheskoe polozhenie, vnutrennee stroenie, veshchestvennyy sostav i petrostrukturnyy analiz ultramafitov (Vostochnyy Sayan) [Kingashsky mafic-ultramafic massif: geological position, internal structure, material composition analysis and petrostructural analysis of ultramafic (Eastern Sayan)]. *Platina Rossii. Problemy razvitiya, otsenki, vosпроизводства i kompleksnogo ispolzovaniya mineralno-syrevoy bazy platinovykh metallov: Sb. nauchnykh trudov* [Proc. Platinum of Russia. Problems of development, evaluation, reproduction and complex use of mineral resources base of the platinum metals.]. Moscow, 2004. pp. 152–175.

8. Glazunov O.M., Bognibov V.I., Ekhanin A.G. *Kingashskoe platinoidno-medno-nikelevoe mestorozhdenie* [Kingashsky PGE-copper-nickel deposit]. Irkutsk, IGTU Press, 2003. 192 p.
9. Radomskaya T.A. *Mineralogiya i geokhimiya Kingashskogo platinoidno-medno-nikelevogo mestorozhdeniya (V. Sayan)*. Avtoref. Dis. Kand. nauk [Mineralogy and geochemistry of the Kingashsky PGE-copper-nickel deposit (E. Sayan). Cand. Diss. Abstract]. Irkutsk, 2012. 23 p.
10. Kornev T.Ya., Romanov A.P., Knyazev V.N., Sharifulin S.K., Shvedov G.I., Tretyakov N.A., Reznikov I.G., Nekos V.V. *Putevoditel po Kingashskomu mestorozhdeniyu medno-nikelevykh i blagorodnometallnykh rud (Vostochnyy Sayan)* [Guide to Kingashsky deposit of copper-nickel and noble metal ores (Eastern Sayan)]. Krasnoyarsk, KNIIGiMS Publ., 2001. 72 p.
11. Yurichev A.N. *Evolutsiya sulfidnogo raspava v protsesse obrazovaniya Kingashskogo ultramafitovogo massiva (severo-zapad Vostochnogo Sayana)* [Evolution of sulfide liquid during formation of the Kingashsky ultramafic massif (north-west of Eastern Sayan)]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2014, vol. 324, no. 1, pp. 56–63.
12. Tsypukov M.Yu., Nozhkin A.D., Bobrov V.A., Shipitsyn Yu.G. *Komatiit-bazaltovaya assotsiatsiya Kanskogo zelenokamennogo poyasa (Vostochnyy Sayan)* [Komatiite-basalt association of the Kan greenstone belt (Eastern Sayan)]. *Russian Geology and Geophysics*, 1993, no. 8, pp. 98–108.
13. Nozhkin A.D., Tsypukov M.Yu., Poperekov V.A., Smagin A.N., Renzhin A.V. *Sulfidno-nikelevoe i blagorodnometalnoe orudenie v granit-zelenokamennoy oblasti Vostochnogo Sajyana* [Sulfide-nickel and noble-metal mineralization in the granite-greenstone field of the Eastern Sayan]. *Otechestvennaya geologiya*, 1995, no. 6, pp. 11–17.
14. Kornev T.Ya., Ekhanin A.G. *Etalon Kingashskogo bazalt-komatiitovogo kompleksa (Vostochnyy Sayan)* [Etalon of the Kingashsky basalt-komatiitic complex (East Sayan)]. Novosibirsk, SNIIGiMS Publ., 1997. 88 p.
15. Gertner I.F., Vrublevskiy V.V., Glazunov O.M., Tishin P.A., Krasnova T.S., Voytenko D.N. *Vozrast i priroda veshchestva Kingashskogo ultramafit-mafitovogo massiva, Vostochnyy Sayan* [Age and nature of matter of the Kingashsky ultramafic-mafic massif, East Sayan]. *Doklady Akademii Nauk*, 2009, vol. 429, no. 5, pp. 645–651.
16. Nozhkin A.D., Turkina O.M., Bobrov V.A., Kireev A.D. *Amfibolit-gneysovye komplekсы zelenokamennykh poyasov Kanskoy glyby: geokhimiya, rekonstruktsiya protolitov i usloviy ikh obrazovaniya (Vostochnyy Sayan)* [Amphibolite-gneiss complexes of greenstone belts of the Kan block: geochemistry, reconstruction of protolith and conditions of their formation (Eastern Sayan)]. *Russian Geology and Geophysics*, 1996, no. 12, pp. 30–41.
17. Knyazev V.N. *Geologiya i usloviya obrazovaniya blagorodnometalnogo i medno-nikelevogo orudneniya Kanskogo zelenokamennogo poyasa (Vostochnyy Sayan)*. Dis. Kand. nauk [Geology and formation conditions of noble metal and copper-nickel mineralization of the Kan greenstone belt (Eastern Sayan). Cand. Diss.]. Krasnoyarsk, 2004. 145 p.
18. Shvedov G.I., Tolstykh N.D., Nekos V.V., Pospelova L.N. *Mineraly elementov platinovoy gruppy v sulfidnykh medno-nikelevykh rudakh Kingashskogo massiva (Vostochnyy Sayan)* [Minerals of platinum group elements in copper-nickel sulfide ores of the Kingashsky massif (Eastern Sayan)]. *Russian Geology and Geophysics*, 1997, vol. 38, no. 11, pp.1842–1848.
19. Reed S.J.B. *Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology*. N.Y., Cambridge University Press, 2005. 189 p.
20. Taylor C.M., Radtke A.S. *Preparation and polishing of ores and mill products for microscopic examination and electron microprobe analysis*. *Econ. Geol.*, 1965, no. 65, pp. 1306–1319.
21. Shvedov G.I., Nekos V.V., Tretyakov N.A. *Novye dannye o mineralogii bazit-ultrabazitovykh massivov Kingashskogo rudnogo rayona (Vostochnyy Sayan)* [New data on the mineralogy of basic-ultrabasic massifs of Kingashsky ore district (Eastern Sayan)]. *Platina v geologicheskikh formatsiyakh Sibiri: obshcherossiyskiy seminar* [Seminar. Platinum in geological formations of Siberia]. Krasnoyarsk, KNIIGiMS Publ., 2001. pp. 134–135.
22. Barkov A.Yu., Lednev A.I., Bakushkin E.M. *Mineraly elementov gruppy platiny iz massiva gory General'skoy, Kolskiy poluostrov* [Minerals of platinum group elements from massif of General'sk mountain, Kola Peninsula]. *Doklady Akademii Nauk*, 1994, vol. 338, no. 6, pp. 785–788.
23. Izokh A.E., Mayorova O.N., Lavrentev Yu.T. *Mineraly platinovykh metallov v Nomgonskom troktolit-anortozit-gabbrovom intruzive* [Minerals of platinum group metals in Nomgonsky troctolite-anorthosite-gabbro intrusion]. *Russian Geology and Geophysics*, 1992, no. 1, pp. 104–110.

Received: 19 January 2016.