ПЕРСПЕКТИВЫ ПЛАТИНОНОСНОСТИ КУЛИБИНСКОГО ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РУДНОГО УЗЛА (ВОСТОЧНЫЙ САЯН)**Н. А. Бабинцев, А. И. Чернышов**Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск
mas9915@mail.ru

Объектом исследования являются мафит-ультрамафитовые комплексы Кулибинского потенциального рудного узла, включая интрузивные образования кингашского комплекса и метаэффузивы кулижинской и кузынской толщ; изученные объекты располагаются на северо-западном окончании Канского зеленокаменного пояса в Восточном Саяне. Актуальность исследования обусловлена появлением новых данных о геологических образованиях Канского зеленокаменного пояса, являющихся объектом широких дискуссий. По результатам исследования установлено, что перспективы территории связаны с малосульфидным платинометальным типом руд, которые были обнаружены в мафит-ультрамафитовых телах кингашского дунит-верлит-пикритового магматического комплекса. Наиболее высокие концентрации элементов платиновой группы (ЭПГ) приурочены к приподожненным частям тел метапикритов, в которых содержания Pd достигают 1 г/т при отношении Pd/Pt = 5—20. Дана характеристика рудовмещающих толщ, описаны особенности их геохимической зональности, химического и минерального состава, закономерности распределения полезных компонентов. Выявлены геолого-геохимические критерии выделения продуктивных горизонтов. По комплексу признаков в качестве аналога предложены платинометальные месторождения комплекса Портимо (Финляндия).

Ключевые слова: ультрамафиты, пикриты, платина, палладий, ЭПГ, малосульфидные платинометальные месторождения, зеленокаменный пояс.

PGE POTENTIAL OF KULIBINSK POTENTIAL ORE UNIT (EAST SAYAN)**N. A. Babintsev, A. I. Chernyshov**

National Research Tomsk State University, Tomsk

The objects of the study are mafic-ultramafic complexes of Kulibinsk potential ore unit, including intrusive bodies of kingashsk complex and metavolcanic rocks of kuliginskaya and kuzinskaya series; the studied objects are located at the north-western edge of Kansk greenstone belt in East Sayan. The relevance of the study is due to the appearance of new data on geological formations of the Kansk Greenstone Belt, which are the object of extensive discussions. Our studies showed a high potential of the territory associated with low-sulfidic type of PGE (platinum-group elements) mineralization, which founded in mafic-ultramafic bodies of kingashsk dunite-verlite-picritic magmatic complex. The highest concentrations of PGE are associated with footwalls of metapicritic bodies, where Pd concentrations reach 1 ppm with Pd/Pt ratio = 5—20. We characterized ore-bearing series, described features of their geochemical zoning, chemical and mineral composition, patterns of distribution of ore components. By the set of signs, PGE-metal deposits of Portimo complex (Finland) were proposed as the object-analogue.

Keywords: ultramafites, picrite, platinum, palladium, PGE, low-sulfidic PGE deposits, greenstone belt.

Введение

В последние десятилетия в результате реализации долгосрочной государственной программы по геологическому изучению и воспроизводству минерально-сырьевой базы на юге Сибири выделена новая Восточно-Саянская платино-никеленосная провинция. В пределах Восточно-Саянской провинции выявлены, оценены и разведаны Кингашское и Верхнекингашское месторождения, а также ряд рудопроявлений медно-никелевых и благороднометаллических руд. Открытие Кингашского месторождения обусловило повышенный практический интерес к изучению данной территории, и с начала 2000-х на ней были проведены тематические, поисковые и геолого-разведочные работы. По их результатам была выделена Кулибинская площадь, перспективная на Cu-Ni с попутными элементами платиновой группы (ЭПГ). В 2013—2015 гг. сотрудниками ГПКК «КНИИГиМС» при участии авторов проведены поисковые работы на Кулибинской площади (рис. 1), изучены её геология и рудоносность, даны рекомендации по проведению дальнейших геолого-разведочных работ. В пределах изученной территории выявлены геологические перспективы обнаружения промышленных скоплений руд платиноидов.

Геологическое строение изучаемой территории

Канская глыба, ограниченная зонами разломов, занимает пограничное положение между юго-запад-

ной окраиной Сибирского кратона и структурами складчатого обрамления. Такое положение обуславливает сложное блоково-чешуйчато-надвиговое строение и интенсивную тектонизированность амфиболито-гнейсовых толщ, для которых характерны минеральные ассоциации зеленосланцевой, эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций [4, 5]. В Канской глыбе выделены Идарский и Канский зеленокаменные пояса (ЗКП) со значительным распространением мелких тел ультрамафитов [9]. Ультрамафиты Идарского и Канского ЗКП объединяются в два комплекса: кингашский магматический дунит-верлит-пикритовый и идарский реститовый дунит-гарцбургитовый [9]; с первым из них связано платино-медно-никелевое оруденение. Исследуемый нами Кулибинский потенциальный рудный узел (ПРУ) является Кирельским фрагментом Канского ЗКП [4, 5].

Методики аналитических исследований

Для проведения аналитических исследований использовали образцы пород, отобранные авторами в пределах Кулибинского ПРУ из коренных выходов, полотно канав и керны скважин, а также дубликаты рядовых проб, отобранных в ходе поисковых работ ГПКК «КНИИГиМС» в 2013—2015 гг. Все пробы были истёрты машинно-ручным способом с доведением размера частиц до 0.074 мм. Для характеристики петрохимических особенностей изучаемых магматических ком-

Рис. 1. Схематическая геологическая карта Канской гранитно-зеленокаменной провинции [4].

1 — осадочно-вулканогенные образования девона (Рыбинская впадина); 2 — вулканогенно-осадочные отложения позднего рифея—кембрия; 3 — метатерригенно-карбонатные комплексы протерозоя; 4, 5 — позднерифейские метаморфические гнейсово-амфиболитовые комплексы: 4 — Шумихинского террейна, 5 — Кирельского ареала; 6–14 — метаморфические толщи зеленокаменных поясов раннего протерозоя: 6 — биотитовых и гранат-биотитовых парагнейсов, 7 — гнейсово-амфиболитовых (дацит-базальтовых), 8 — биотитовых и амфиболовых ортогнейсов (андезит-дацит-риодацитовых), 9 — амфиболитовых (пикробазальт-базальтовых), 10 — гранатосодержащих амфиболитовых и биотитовых парагнейсов (граувакковых), 11 — полевошпатовых амфиболитов (лейкобазальт-андезитбазальтовых), 12 — гранатосодержащих биотитовых парагнейсов (терригенных) и амфиболитов, 13 — амфиболитовых с горизонтами тремолит-серпентиновых сланцев (коматиит-базальтовых), 14 — мигматит-гнейсовых; 15 — маркирующие горизонты: а) мраморов, б) кварцитов; 16 — тела ультрамафитов (вне масштаба) (а); треугольником обозначено положение Кингашского рудоносного массива (б); 17–22 — интрузивные комплексы: 17 — палеозойский габброидный, 18 — ордовикский лейкогранит-гранитовый, 19 — вендский трондьемитовый (Верхнеканский массив), 20 — верхнерифейский тоналит-трондьемитовый (Шумихинский и Кирельский массивы), 21 — позднерифейский плагиогранит-гранитовый (Кузинский массив), 22 — раннепротерозойский габбровый; 23 — тектонические границы: а) региональные разломы, б) прочие; 24: а) геологические границы, б) элементы залегания толщ; 25 — Кулибинский потенциальный рудный узел

Fig 1. Schematic geological map of Kansk granitic-greenstone province [6].

1 — volcanic sedimentary Devonian formations (Rybinskaya depression); 2 — volcanic sedimentary Neoproterozoic deposits; 3 — metaterigenous carbonaceous Proterozoic complexes; 4, 5 — Neoproterozoic metamorphic gneiss-amphibolitic complexes: 4 — Shumikhinskiy terrane, 5 — Kirelskiy area; 6–14 — metamorphic series of Paleoproterozoic greenstone belts: 6 — biotitic and garnet-biotite paragneisses, 7 — gneiss-amphibolitic (dacite-basaltic), 8 — biotitic and amphibolitic orthogneisses (greywacke), 9 — amphibolitic (picrobasalt-basaltic), 10 — garnetiferous biotitic paragneisses (terrigeneous), 11 — feldspar amphibolites (leicobasalt-andesitebasaltic), 12 — garnetiferous biotitic paragneisses (terrigeneous) and amphibolitic, 13 — amphibolitic series with beds of tremolite-serpentinic schists, 14 — migmatite-gneissic; 15 — marker horizons: a) marble, b) quartzite; 16 — ultramafite bodies (out of scale) (a); triangle shows the position of the Kingashsk ore-bearing massif (b); 17–22 — intrusive complexes: 17 — Paleozoic gabbroic, 18 — Ordovician leicogranite-granitic, 19 — Neoproterozoic trondhjemitic (Verkhnekansk massif), 20 — Neoproterozoic tonalite-trondhjemitic (Shumikhinsk and Kirelsk massifs), 21 — Neoproterozoic plagiogranite-granitic (Kuzinsk massif), 22 — Paleoproterozoic gabbroic; 23 — tectonic borders: a) regional, b) others; 24: a) geological borders, b) attitude elements; 25 — studied Kulibinskaya area

плексов были проведены силикатные анализы по стандартной методике в лабораториях ОАО «Минусинская ГРЭ» (г. Минусинск, 36 анализов) и Института геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск, 20 анализов). Концентрации ЭПГ определялись методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (МС-ИСП) и сцинтиляционным атомно-эмиссионным методом. В лаборатории ГПКК «КНИИГиМС» проводилось измерение массовых долей Pt, Pd, Rh, Ru, Ir методом МС-ИСП после обжига пробы и перевода ее в рас-

твор разложением в смеси кислот (соляной, азотной, фтористоводородной, хлорной) и доплавом нерастворимого остатка (при его наличии). Для выполнения измерений применялся метод TotalQuant из программного обеспечения прибора ELAN 9000. Определения проводились без предварительного концентрирования по методике М-02-АЛ-2011 (ФР.1.31.2011.10375), соответствующей требованиям ОСТ 41-08-212-04. В лаборатории Института геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск) проводилось сцинтиляцион-

ное определение концентраций Pt, Pd, Au и Ag атомно-эмиссионным методом с дуговым разрядом (спектрограф СТЭ-1 с высокоскоростными фотодиодными линейками МАЭС; устройство «Поток»; количество параллельных измерений $n=2$; аналитическая навеска одного параллельного измерения 0.15 г). Концентрации меди и никеля определялись в лаборатории ГПКК «КНИИГиМС» атомно-абсорбционным методом по методике НСАМ №155-ХС-1, с использованием спектрофотометра атомно-абсорбционного Solaar S2. Концентрации хрома определялись количественным рентген-флуоресцентным методом в лаборатории Института геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск) на приборе BRUKER S4 PIONEER. Результаты MS-ISP и химических анализов на медь и никель заимствованы из фондовых материалов.

Краткая петрохимическая характеристика пород мафит-ультрамафитовых комплексов

На диаграмме (рис. 2) породы кингашского и идарского комплексов образуют непересекающиеся поля распространения фигуративных точек, однако по химическому составу ранние дифференциаты кингашского комплекса близки к реситовым породам идарского комплекса. По аналогии с изученными магматическими комплексами Канского ЗКП в ходе дифференциации исходного высокомагнезиального расплава

Рис. 2. Ультрамафиты Кулибинского ПРУ на петрологической диаграмме В. Л. Барсукова — Л. М. Дмитриева.

1 — ультрамафиты кингашского комплекса Кулибинского ПРУ: 1-1 — дуниты-1 (ранние дуниты, оливин Fa=11.2 %), 1-2 — дуниты-2 (поздние дуниты, оливин Fa=21.2 %), 1-3 — серпентиниты с реликтами кумулятивных структур, 1-4 — верлиты (оливин Fa=23.7 %), 1-5 — пикриты (оливин Fa=26.8 %), клинопироксениты; 2 — ультрамафиты идарского комплекса Кулибинского ПРУ: 2-1 — дуниты (оливин Fa=7.0 %), 2-2 — гарцбургиты (оливин Fa=7.0 %); 3 — поле составов пород кингашского комплекса в Кингашском рудном районе по [8, 9]; 4 — поле составов пород идарского комплекса в Кингашском рудном районе по [8, 9]. Примечание: составы оливинов приведены по [7]

Fig. 2. Ultramafites of Kulibinsky POT at a petrological diagram. 1 — ultramafites of kingash complex from Kulibinsky POT: 1-1 — dunites-1 (olivine Fa=11.2 %), 1-2 — dunites-2 (olivine Fa=21.2 %), 1-3 — serpentinites, 1-4 — verlites (olivine Fa=23.7 %), 1-5 — picrites (olivine Fa=26.8%), 1-6 — clynopyroxenites. 2 — ultramafites of idarsk complex from Kulibinsky POT: 2-1 — dunites (olivine Fa=7.0 %), 2-2 — harzburgites (olivine Fa=7.0 %). 3 — composition field of kingash complex rocks from Kingashsk ore region by [8, 9]. 4 — composition field of idarsk complex rocks from Kingashsk ore region by [8, 9]. Note: olivine compositions by [7]

в промежуточных магматических камерах предполагается последовательное образование ряда пород: дуниты → перидотиты → высокомагнезиальные меланопикриты → пикриты → пироксениты → мафиты с последующим их порционным внедрением во вмещающие вулканогенно-осадочные толщи. Разделение метапикритов на высоко- и низкомагнезиальные условно и проведено по химическому составу (опираясь на классификацию по [12]). Они, зачастую, образуют единые тела с закономерно изменяющимся химическим и петрографическим составом от кровли к подошве. В ходе эволюции исходного расплава наблюдается постепенное увеличение титанистости, снижение магнезиальности пород (табл. 1), снижение концентраций Ni и увеличение — Cu. Концентрации ЭПГ постепенно возрастают в ряду дуниты — пикриты, резко снижаются после формирования пикритовых тел. Наибольшие содержания ЭПГ отмечаются в приподошвенных частях тел метапикритов в зоне перехода от ультрамафитов к мафитам, что хорошо согласуется с положением платинометаллических месторождений в классических расслоенных массивах [13].

Платиноносность пород Кулибинского ПРУ

Особенности рудной специализации пород Кулибинского ПРУ видны на треугольной диаграмме Pd-Ni-Cu (рис. 3). Рудная минерализация ультрамафитов

Рис. 3. Треугольная диаграмма в системе Ni-Cu-Pd пород магматических комплексов.

1 — Кулибинский ПРУ (материалы поисковых работ и неопубликованные данные авторов): 1-1 — дунит, 1-2 — серпентинит, 1-3 — клинопироксенит, 1-4 — пикрит, 1-5 — гарцбургит, 1-6 — мафиты, 1-7 — метасоматиты; 2 — Кингашский ПРУ, породы кингашского комплекса [2]: 2-1 — верлит, 2-2 — серпентинит, 2-3 — пироксенит, 2-4 — габбро; 3 — месторождение Котиярви, Финляндия [11]; 4 — месторождение Сопча, Мончегорский рудный район [6]

Fig. 3. Triangle diagram of magmatic complex rocks in the Ni-Ce-Pd system

1 — Kulibinsky POT (materials of prospection and autors unpublished data): 1-1 — dunites, 1-2 — serpentinites, 1-3 — clynopyroxenites, 1-4 — picrites, 1-5 — harzburgites, 1-6 — mafites, 1-7 — metasomatites; 2 — Kingashsk OR, kingashsk complex rocks [2]: 2-1 — verlites, 2-2 — serpentinites; 2-3 — pyroxenites, 2-4 — gabbros; 3 — Kontihaarvi deposits, Finland [11]; 4 — Sopcha deposits, Monchegorsk ore region [6]

Таблица 1. Вариации химического состава пород кингашского комплекса Кулибинского ПРУ в ряду дуниты — мафиты**Table 1.** Variations in the chemical composition of kingashsk complex rocks from Kulibinsky POT in a series dunites-mafites

Наименование	SiO ₂ , %	TiO ₂ , %	ΣFeO, %	MgO, %	Ni, %	Cr, %	Cu, %	Pd, г/т
Дуниты (22*)	42.9	0.05	10.20	37.2	0.26	0.20	0.002	0.08
Перидотиты (5)	41.9	0.10	13.01	27.8	0.08	0.20	0.003	н.д.
Высокомагнезиальные меланопикриты (13)	45.7	0.12	10.44	26.3	0.10	0.19	0.007	1.03**
Пикриты (15)	48.5	0.23	9.50	15.7	0.04	0.11	0.006	0.50
Пироксениты (1)	45.4	0.84	7.31	21.2	0.02	0.25	0.001	0.17
Мафиты (38)	46.8	1.60	13.90	7.5	0.02	0.02	0.020	0.30

Примечание: * — в скобках — количество анализов, ** — единичный анализ ЭПГ в меланопикритах, н. д. — нет данных.

Кулибинского ПРУ схожа с платинометальными месторождениями Балтийского щита, в особенности с месторождением Контиярви (Финляндия) [1, 11].

По результатам МС-ИСП отношение Pd/Pt в пределах Кулибинского ПРУ колеблется ~ от 5 до 20. Концентрации Pt во всех породах Кулибинского ПРУ на порядок ниже концентраций в породах Кингашского РР, но повсеместно отмечаются повышенные концентрации палладия. Содержания палладия на уровне 0.1—0.2 г/т характерны для всех пород в блоках с широким

распространением магматических тел кингашского комплекса (табл. 2), в отдельных пробах содержания Pd достигают 1 г/т. Повышенные концентрации палладия в пробах в виде тонких частиц металлического Pd (100—350 знаков при просыпке 50 г порошка) подтверждены фазовым анализом. Метапикриты повсеместно обнаруживают содержания палладия более 0.5 г/т, что позволяет прогнозировать участки с концентрациями Pd свыше 1—2 г/т. Отношение Pd/Pt в изученных образцах колеблется ~ от 5 до 20.

Таблица 2. Концентрации ЭПГ в породах Кулибинского ПРУ и Кингашского месторождения**Table 2.** PGE concentrations in rocks from Kulibinsky POT and Kingash deposit

Наименование породы		Концентрации ЭПГ, в г/т				
		Pt	Pd	Rh	Ru	Ir
Кулибинский РУ						
Дунит (66*)	среднее	<0.02**	0.092	0.0035	<0.01**	<0.002**
	макс.	0.052	0.3	0.011	0.022	0.011
Серпентинит лизардитовый (26)	среднее	<0.02	0.18	0.010	<0.01	0.0039
	макс.	0.049	0.42	0.031	0.016	0.0094
Метасоматит апогипербазитовый (31)	среднее	<0.02	0.20	0.015	<0.01	0.0039
	макс.	0.057	0.43	0.11	0.019	0.0076
Метапикрит (11)	среднее	<0.02	0.48	0.0098	0.014	0.005
	макс.	0.027	1.03	0.014	0.017	0.008
Брекчии клинопироксенитов (49)	среднее	<0.02	0.20	0.013	<0.01	0.0038
	макс.	0.044	0.4	0.058	0.034	0.0097
Амфиболит*** (109)	среднее	<0.02	0.33	0.0092	<0.01	0.0049
	макс.	0.062	0.84	0.022	0.033	0.0093
Гнейс*** (15)	среднее	0.028	0.44	0.0070	<0.01	0.0066
	макс.	0.061	0.98	0.0089	0.011	0.0096
Кингашское месторождение [10]						
Дунит (6)	среднее	0.38	0.67	н. д.	н. д.	н. д.
	макс.	0.44	0.9	н. д.	н. д.	н. д.
Дунит серпентинизированный (32)	среднее	0.28	0.39	н. д.	н. д.	н. д.
	макс.	0.77	0.88	н. д.	н. д.	н. д.
Серпентиниты лизардитовые (35)	среднее	0.48	0.57	н. д.	н. д.	н. д.
	макс.	1.83	1.03	н. д.	н. д.	н. д.
Серпентиниты антигоритовые (28)	среднее	0.59	0.78	н. д.	н. д.	н. д.
	макс.	1.63	2.97	н. д.	н. д.	н. д.
Метасоматиты (22)	среднее	0.4	0.6	н. д.	н. д.	н. д.
	макс.	1.24	1.54	н. д.	н. д.	н. д.

Примечания: * — в скобках — количество анализов, ** — в большей части выборки концентрации элемента ниже порога чувствительности анализа; *** — концентрации ЭПГ в амфиболитах и гнейсах Кулибинского РУ даны для пород рудоносных горизонтов, а не для всех аналогичных пород рудного узла; н. д. — нет данных.

В разрезе скважин 25 и 61 (рис. 4) выделено 14 тел с содержаниями палладия свыше 0.5 г/т. Мощности их колеблются от 1 до 12 м, средние содержания палладия от 0.54 до 0.76 г/т (максимальное по отдельным пробам до 1 г/т). Наиболее перспективными на обнаружение промышленных скоплений ЭПГ в пределах потенциального рудного узла являются метапикриты кингашского комплекса. На разрезе по скважине С-15/62 (рис. 5) отображён участок толщи, вмещающей тела метапикритов, фрагментарно проанализированный на ЭПГ. На разрезе видны закономерности распределения палладия в телах метапикритов: от кровли к подошве (как отдельных пластов, так и сближенных тел метапикритов, объединённых на плане в пачки) отмечается закономерное увеличение концентраций палладия; за пределами пикритовых тел концентрации палладия резко падают. Самые высокие в пределах рудного узла концентрации ЭПГ обнаружены в нижних, наиболее магнезиальных частях пикритовых пачек; здесь же обнаружена равномерно вкрапленная сульфидная минерализация на уровне ~ 5 %, что в полтора-два раза выше, чем в верхних частях пикритовой толщи. Для разреза пикритовой толщи характерно цикличное распределение Cr, Ni и ЭПГ, подобная цикличность распределения отмечается в рудоносных породах Кингашского РР и других рудоносных расслоенных интрузиях [2].

Обсуждение результатов исследования

Особенности геохимической зональности, последовательное изменение минерального состава и характера рудной минерализации в отдельных телах обнаруживают сходство изучаемых тел кингашского комплек-

са с типичными расслоенными интрузиями мафит-ультрамафитового состава. Это свидетельствует, вероятно, об их формировании в ходе дифференциации исходного высокомагнезиального пикритового расплава в неоднократно возникающих промежуточных магматических камерах. Дифференциация, главным образом, осуществлялась гравитационной отсадкой [3] с последующим внедрением порций расплава во вмещающие вулканогенно-осадочные толщи без формирования крупных расслоенных массивов. Эволюция расплава проходила с последовательным образованием пород: дуниты → перидотиты → пикриты → пироксениты → мафиты.

Установлено, что породы Кулибинского ПРУ обеднены серой и крайне редко содержат сульфидную вкрапленность свыше 5%. Этим обусловлена их низкая перспективность на обнаружение промышленных скоплений сульфидных Cu-Ni руд. При том в ультрамафитах и мафитах отмечаются повышенные концентрации ЭПГ, достигающие 1 г/т. По характеру рудоносности магматические образования Кулибинского ПРУ схожи с расслоенными интрузиями, вмещающими малосульфидные платинометалльные руды. Таким образом, перспективы Кулибинского ПРУ связаны с малосульфидным платинометалльным орудением.

Исходя из описанных особенностей геологического строения и рудоносности можно сделать вывод, что наиболее перспективными на обнаружение промышленных скоплений ЭПГ в пределах потенциального рудного узла являются метабазагит-пикритовые тела кингашского комплекса. В них повсеместно обнаруживаются концентрации палладия на уровне 0.4–1 г/т. В рудоносных частях таких тел вниз по разрезу возра-

Рис. 4. Геологический разрез по линии скважин С-14/25—С-15/62 с элементами палладиеносности.

1—2 — ультрамафиты кингашского комплекса: 1 — метапикриты; 2 — брекчии клинопироксенитов; 3—4 — кулижинская толща раннего протерозоя: 3 — амфиболиты; 4 — гнейсы, кварц-слюдяные и кварц-биотит-амфиболовые сланцы; 5 — плагиограниты кирельского (саянского) комплекса; 6 — палладиеносные горизонты, вмещающие сближенные тела палладиевых руд; 7 — рудные тела, выделенные по результатам рядового опробования (средние содержания Pd > 0,5 г/т при мощности более 2 м); 8 — тектонические нарушения; 9 — геологические границы

Fig. 4. Geological cross-section with the elements of Pd-mineralization by the line of drill-holes C-14/25—C-15/62

1—2 — kingash complex ultramafites: 1 — metapicrites; 2 — clinopyroxenite breccias; 3—4 — kulijinskaya Paleoproterozoic stratum: 3 — amphibolites; 4 — gneisses, quartz-micas and quartz-biotite-amphibolic; 5 — plagiogranites of kirelsk (sayansk) complex; 6 — areas of Pd-mineralization; 7 — ore deposits with concentration of Pd > 0.5 ppm; 8 — tectonic faults; 9 — geological lines

Рис. 5. Фрагмент разреза по скважине С-15/62 (интервал 180—205 м). 1 — метапикриты кингашского комплекса, 2 — амфиболиты кулижинской толщи, 3 — амфибол-слюдавые и карбонат-амфиболовые сланцы кулижинской толщи, 4 — кварциты кулижинской толщи, 5 — интервалы, проанализированные на ЭПГ и содержания Pd в г/т

Fig. 5. Part of drill-hole C-15/62 cross-section (interval 180—205 m). 1 — kingash complex metapicrites, 2 — kulijinsk stratum amphibolites, 3 — kulijinsk stratum amphibole-micas and carbonate-amphibolite schists, 4 — kulijinsk stratum quartzites, 5 — intervals, analyzed on a PGE and Pd concentrations in ppm

стает магнетиальность, в кровельной части тел эти породы по химическому и минеральному составу близки к меланократовым мафитам (пикробазальтам), в приподожвенной — высокомагнетиальным ультрамафитам (оливиновым пикритами). Расположение малосульфидной платинометальной минерализации в зоне перехода от мафитов к ультрамафитам обнаруживает сходство изучаемого объекта с классическими расслоенными массивами, вмещающими крупнейшие платинометальные месторождения.

В целом для пород Кулибинского ПРУ характерно увеличение концентраций палладия с уменьшением магнетиальности и увеличением содержания TiO_2 в породах. Однако в пределах палладиеносных пикритовых толщ наблюдается обратная закономерность: к подошве последних магнетиальность растёт вместе с увеличением концентраций палладия, наиболее высоких значений достигающих в приподожвенных частях пикритовых толщ. Здесь же обнаружена равномерно вкрапленная сульфидная минерализация на уровне ~ 5 %, что в полтора-два раза выше, чем в верхних частях пикритовой толщи. При этом за пределами рудоносных пикритовых тел концентрации палладия резко падают.

Закключение

По результатам поисковых работ на сульфидные медно-никелевые руды в пределах Кулибинского потенциального рудного узла, был выявлен высокий по-

тенциал платиноносности изученной площади и смежных территорий северо-западного окончания Канского ЗКП. Перспективы обнаружения промышленно значимых скоплений ЭПГ связаны с малосульфидными платинометальными рудопроявлениями в метапикритах кингашского комплекса и вмещающих их амфиболитогнейсовых толщах. Малосульфидный платинометальный тип месторождений является новым для региона, и обнаружение объектов такого типа требует переоценки потенциала платиноносности всего Канского ЗКП.

Литература

1. Бабинцев Н. А., Чернышов А. И. Малосульфидные платинометальные рудопроявления северо-запада Восточно-Саянской платино-никеленоносной провинции как аналог платинометальных месторождений комплекса Портимо (Финляндия) // Ультрамафит-мафитовые комплексы: геология, строение, рудный потенциал. Материалы V международной конференции. Улан-Удэ, 2017. С. 30—32.
2. Глазунов О. М., Богнинов В. И., Еханян А. Г. Кингашское платино-медно-никелевое месторождение. Иркутск, 2003. 192 с.
3. Коматииты и высокомагнетиальные вулканиты раннего докембрия Балтийского щита / Под ред. О. А. Богатикова. Л.: Наука, 1988. 192 с.
4. Ножкин А. Д., Туркина О. М., Бибилова Е. В., Пономарчук В. А. Состав, строение и условия формирования метасадочно-вулканогенных комплексов Канского зеленокаменного пояса (Северо-Западное Присяянье) // Геология и геофизика, 2001. Т. 42. № 7. С. 1058—1078.
5. Ножкин А. Д., Чернышов А. И., Туркина О. М. и др. Метасадочные-вулканогенные и интрузивные комплексы Идарского зеленокаменного пояса (Восточный Саян) // Петрология магматических и метаморфических комплексов: Материалы всероссийской науч. конф. В 2 т. Томск, 2005. Т. 1. Вып. 5. С. 356—384.
6. Расслоенные интрузии Мончегорского рудного района: петрология, оруденение, изотопия, глубинное строение. / Под ред. Ф. П. Митрофанова и В. Ф. Смолькина. Апатиты: Кольский научный центр РАН, 2004. В 2 т. 344 с.
7. Чернышов А. И., Бабинцев Н. А., Ворошилов В. Г. Петрографические и минералогические особенности ультрамафитов Кирельского фрагмента Канского зеленокаменного пояса (СЗ Восточного Саяна) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 2017. Т. 328. № 1. С. 75—88.
8. Чернышов А. И., Балыкин П. А., Резников И. Г. и др. Вещественный состав пород Кингашского массива и его формационная принадлежность // Геология и минеральные ресурсы Центральной Сибири. Сб. научн. трудов. Красноярск, 2002. Т. 3. С. 128—133.
9. Чернышов А. И., Ножкин А. Д., Мишенина М. А. Петрохимическая типизация ультрамафитов Идарского зеленокаменного пояса Канского блока (Восточный Саян) // Геохимия. 2010. Т. 48. № 2. С. 1—25.
10. Чернышов А. И., Ножкин А. Д., Ступаков С. И. и др. Кингашский мафит-ультрамафитовый массив: геологическое положение, внутреннее строение, вещественный состав и петроструктурный анализ ультрамафитов (Восточный Саян) // Платина России. Проблемы развития, оценки, воспроизводства и комплексного использования минерально-сырьевой базы платиновых металлов. Сб. научн. трудов. Красноярск, 2004. Т. 5. С. 152—175.
11. Iljina, M., Maier, W. D., Karinen, T. PGE-(Cu-Ni) deposits of the Tornio-Narankavaara belt of intrusions (Portimo,

Penikat, and Koillismaa). // Mineral deposits of Finland, Amsterdam: Elsevier, 2015, 133—164.

12. Jensen L. S. A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks. Ontario: Ontario Division of Mines publ., 1976, 22 p.

13. Naldrett A. J. Magmatic Sulfide Deposits. Oxford University Press, New York, 1989, 196 p.

References

1. Babintsev N. A., Chernyshov A. I. *Malosulfidnye platino-metal'nye rudoproyavleniya severo-zapada Vostochno-Sayanskoi platino-nikelenosnoi provintsii kak analog platinometal'nykh mestorozhdenii kompleksa Portimo (Finlyandiya)* (Low-sulfidic pge deposits from north-west of East-Sayan platinum-nickel province as an analogue of pge deposits of portimo complex (Finland)). *Ul'tramafit-mafitovy kompleksy: geologiya, stroenie, rudnyi potentsial* (Mafit-ultramafic complexes: geology, structure, ore potential). Proceedings of conference. Ulan-Ude, 2017, pp. 30—32.

2. Glazunov O. M., Bognibov V. I., Ekhanin A. G. *Kingashskoe platino-medno-nikelevoe mestorojdenie* (Kingash platinum-copper-nickel deposit). Irkutsk, 2003, 192 p.

3. Komatiiti I visokomagnezjalnie vulkaniti rannego dokembriya (Precambrian komatiites and high-magnesian volcanites of Baltic shield). Leningrad: Nauka, 1988, 192 p.

4. Nozhkin A. D., Turkina O. M., Bibikova E. V., Ponomarchuk V. A. *Sostav, stroenie i usloviya formirovaniya metaosadochno-vulkanogennikh kompleksov Kanskogo zelenokamennogo poyasa (Severo-Zapadnoe Prisyaniye)* (Composition, structure and conditions of forming of metasedimentary-volcanic complexes of Kansk greenstone belt (North-West Sayan)). *Geology and geophysics*, 2001, V. 42, No. 7, pp. 1058—1078.

5. Nozhkin A. D., Chernyshov A. I., Turkina O. M. et al. *Metaosadochnye-vulkanogennye i intruzivnye komplekсы Idarskogo zelenokamennogo poyasa (Vostochnyi Sayan)* (Metasedimentary-volcanic and intrusive complexes of Idarsk greenstone belt (East Sayan)). *Petrology of magmatic and metamorphic complexes: Proceedings of conference*. Tomsk, 2005, V. 1, No.5, pp. 356—384.

6. *Rassloennye intruzii Monchegorskogo rudnogo raiona: petrologiya, orudnenie, izotopiya, glubinnoe stroenie* (Layered

intrusions of Monchegorsk ore region: petrology, ore-potential, isotopia, deep structure) in 2 vol. Eds. Ph. P. Mitrophanov and V.Ph. Smolkin. Apatites: Kolsk science centre of RAS, 2004, 344 p.

7. Chernyshov A. I., Babintsev N. A., Voroshilov V. G. *Petrograficheskie i mineralogicheskie osobennosti ul'tramafitov Kirel'skogo fragmenta Kanskogo zelenokamennogo poyasa (SZ Vostochnogo Sayana)* (Petrographic and mineralogical features of ultramafites from Kirelsk fragment of Kansk greenstone belt (NW of the East Sayan)). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2017, V. 328, No. 1, pp. 75—88.

8. Chernyshov A. I., Balykin P. A., Reznikov I. G. et al. *Veshchestvennyi sostav porod Kingashskogo massiva I ego formacionnaya prinadlezhnost* (Material composition of Kingash massif rocks and its formational accessory). *Geology and mineral resources of Central Siberia*. Col. of proc. Krasnoyarsk, 2002, V. 3, pp. 128—133.

9. Chernyshov A. I., Nozhkin A. D., Mishenina M. A. *Petrohimicheskaya tipizatsiya ultramafitov Idarskogo zelenokamennogo poyasa Kanskogo bloka (Vostochnyi Sayan)* (Petrochemical typification of ultramafites of Idar green stone belt of Kansk block (East Sayan)). *Geohimiya*, 2010, V. 48, No. 2, pp. 1—25.

10. Chernyshov A. I., Nozhkin A. D., Stupakov S. I. et al. *Kingashskii mafit-ultramafitovyi massiv: geologicheskoe polozhenie, vnutrennee stroenie, veshchestvennyi sostav i petrostrukturnyi analiz ultramafitov (Vostochnyi Sayan)* (Kingash mafite-ultramafite massif: geological position, internal structure, material composition and petrostructural analysis of ultramafites (East Sayan)). *Platina Rossii. Problemy razvitiya, otsenki, vosproizvodstva i kompleksnogo ispol'zovaniya mineralno-syrevoi bazy platinovykh metallov* (Platinum of Russia. Problems of development, assessment, processing of platinum metals). Collection of papers. Krasnoyarsk, 2004, V. 5, pp. 152—175.

11. Iljina M., Maier W. D., Karinen T. PGE-(Cu-Ni) deposits of the Tornio-Narankavaara belt of intrusions (Portimo, Penikat, and Koillismaa). *Mineral deposits of Finland*, Amsterdam: Elsevier, 2015, pp. 133—164.

12. Jensen L. S. A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks. Ontario: Ontario Division of Mines publ., 1976, 22 p.

13. Naldrett A. J. Magmatic Sulfide Deposits. Oxford University Press, New York, 1989, 196 p.