

УДК 552.323.6

ТИПИЗАЦИЯ ПЛАТИНОНОСНЫХ ПИКРИТОВ СЕВЕРО-ЗАПАДА КАНСКОГО ЗЕЛЕНОКАМЕННОГО ПОЯСА (ВОСТОЧНЫЙ САЯН)

Бабинцев Никита Анатольевич¹,
mas9915@mail.ru

Чернышов Алексей Иванович²,
aich@ggf.tsu.ru

¹ ГПКК «Красноярский научно-исследовательский институт геологии и минерального сырья»,
Россия, 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 55.

² Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

Объектом исследования являются мафит-ультрамафитовые комплексы Кулибинского потенциального рудного узла, включая интрузивные образования кингашского комплекса и метаэффузивы кулижинской и кузьинской толщ; изученные объекты располагаются на северо-западном окончании Канского зеленокаменного пояса в Восточном Саяне.

Цель работы заключается в изучении петрографических, петрохимических и структурных особенностей исследуемых образований для их типизации и разработки критериев выделения рудоносных площадей.

Методы. Петрографическое изучение пород осуществлялось на поляризационном микроскопе AxioScop 40 фирмы Carl Zeiss. Определение петрогенных элементов в породах проводилось в Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск) и в лаборатории ОАО «Минусинская ГРЭ». Определение концентраций редкоземельных элементов проводилось методом ICP-MS в «Аналитическом центре геохимии природных систем» при Томском государственном университете (г. Томск) и в Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск).

Результаты. По комплексу петро-геохимических критериев выделено пять типов метавулканитов основного-ультраосновного состава. Четыре из пяти выделенных типов представлены породами базальт-мелапикритоидной формации, с которыми ассоциируют интрузии кингашского комплекса. Пятый тип метавулканитов близок к известково-щелочным базальтам и среди прочих образований выделяется макроскопически. Породы базальт-мелпикритоидной фомации образуют с интрузиями кингашского комплекса вулканоплутонический комплекс, продуктивный на платиноиды, Cu, Ni и являются продуктами дифференциации единого высокомагнезиального расплава. Комплекс исследований позволил определить критерии разделения метабазальтов на два типа, один из которых входит в рудоносную вулканоплутоническую ассоциацию, а другой пользуется широким распространением только на безрудных частях изученной территории.

Ключевые слова:

Ультрамафиты, базальты, пикробазальты, пикриты, коматииты, ЭПГ, малосульфидные платинометалльные месторождения, зеленокаменный пояс, Канская глыба.

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 [1]. В пределах Восточно-Саянской провинции выявлены, оценены и разведаны Кингашское и Верхнекингашское месторождения, а также ряд рудопроявлений медно-никелевых и благороднометалльных руд. Промышленно значимые платино-медно-никелевые месторождения и рудопроявления Канской глыбы связаны с мафит-ультрамафитовыми интрузиями кингашского комплекса, рудные тела этих месторождений залегают либо непосредственно в пределах интрузии, либо в её приконтактных частях. Исследователями неоднократно [2–4] отмечалась высокая перспективность рудоносности вулканитов, комагматичных интрузиям кингашского комплекса. В ходе поисковых работ 2013–2015 гг. в пределах Кулибинского потенциального рудного узла (северо-запад Канского зеленокаменного пояса (ЗКП)) бы-

ли выявлены геологические перспективы обнаружения промышленных скоплений руд платиноидов и отдельные тела вулканитов основного-ультраосновного состава с содержаниями Pd до 0,5–1 г/т [5]. В данной работе приводится характеристика геологического строения, вещественного состава и геохимических особенностей различных вулканитов узла, перспективы их рудоносности и взаимосвязь с потенциально рудоносными интрузиями кингашского комплекса.

Региональная позиция Канского ЗКП

Канский блок, занимающий пограничное положение между юго-западной окраиной Сибирского кратона и структурами складчатого обрамления, является фрагментом неопротерозойского аккреционного пояса. Для комплексов Канского блока характерна интенсивная тектонизированность и сложное блоково-чешуйчато-надвиговое строение, в породах блока фиксируется многоэтапное проявление дислокаций и метаморфизма [6].

В пределах Канского блока выделено два зеленокаменных пояса: Канский и Идарский [6, 7], в

доносный Кингашский массив. Система тектонических швов северо-западного направления определяет границы Канского и Идарского ЗКП, которые отличаются геологическим строением и составом метасадочно-вулканогенных толщ (рис. 1).

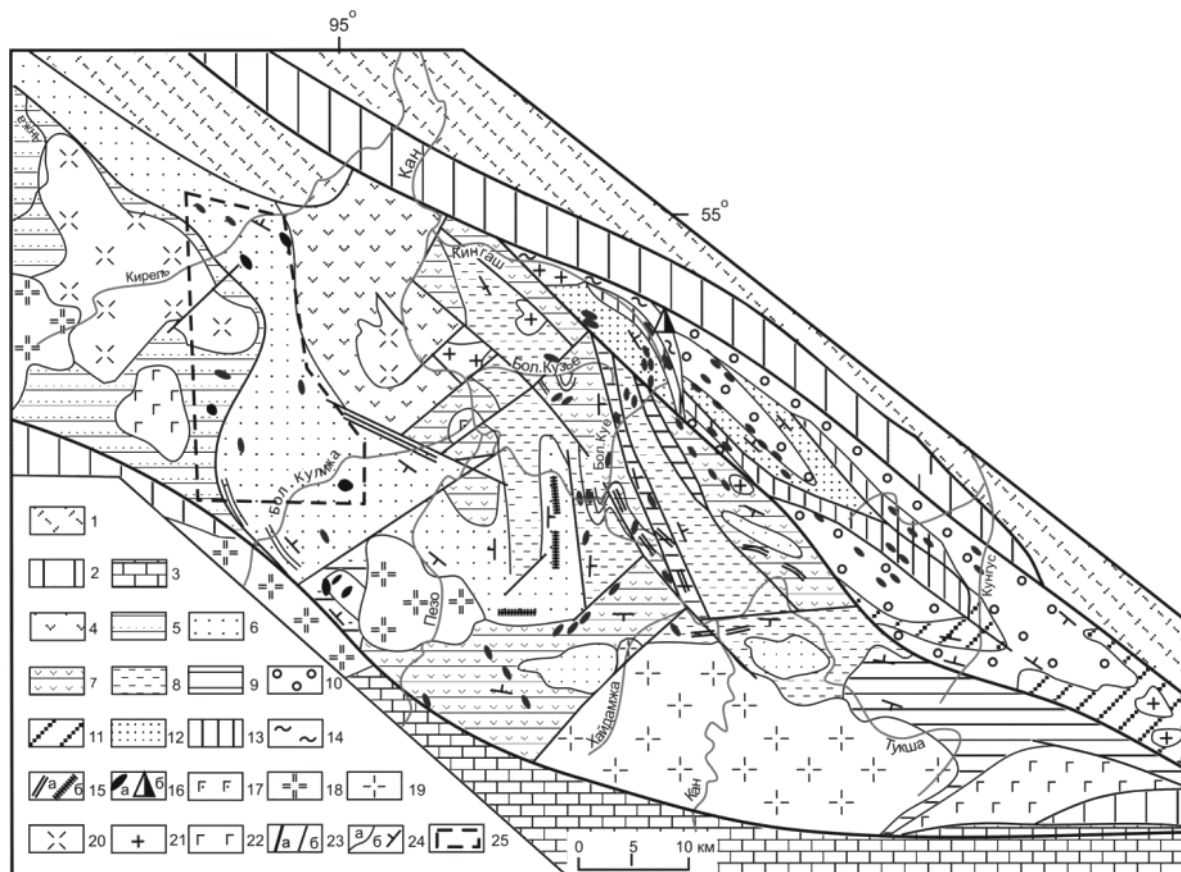


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Канской гранит-зеленокаменной провинции [6]: 1 – осадочно-вулканогенные образования девона (Рыбинская впадина); 2 – вулканогенно-осадочные отложения позднего рифея-кембрия; 3 – метатерригенно-карбонатные комплексы протерозоя; 4, 5 – позднерифейские метаморфические 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-амфиболитовая (дацит-базальтовая), 8 – биотитовых и амфиболовых ортогнейсов (андезит-дацит-риодацитовая), 9 – амфиболитовая (пикробазальт-базальтовая); 10 – гранатсодержащих амфиболовых и биотитовых парагнейсов (граувакковая), 11 – полевошпатových амфиболитов (лейкобазальт-андезиобазальтовая), 12 – гранатсодержащих биотитовых парагнейсов (терригенная) и амфиболитов, 13 – амфиболитовая с горизонтами тремолит-серпентиновых сланцев (коматит-базальтовая), 14 – мигматит-гнейсовая; 15 – маркирующие горизонты: а) мраморов, б) кварцитов; 16 – тела ультрамафитов (вне масштаба) (а); треугольником обозначено положение Кингашского рудноосного 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 плагитогранит-гранитовый (Кузьинский массив), 22 – раннепротерозойский габбровый; 23 – тектонические границы: а) региональные разломы, б) прочие; 24: а) геологические границы, б) элементы залегания толщ: 25 – Кулибинский рудный узел

Fig 1. Schematic geological map of Kansk granitic-greenstone province [6]: 1 – volcanosedimentary devonian formations (Rybinskaya depression); 2 – volcanosedimentary neoproterozoic deposits; 3 – metaterrigen-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 (dacit-basaltic), 8 – biotitic and amphibolitic orthogneisses, 9 – amphibolitic (microbasalt-basaltic), 10 – garnetiferous amphibolitic and biotite paragneisses (greywacke), 11 – feldspathic amphibolites (leicobasalt-andesitebasaltic), 12 – garnetiferous biotitic paragneisses (terrigenous) and amphibolitic, 13 – amphibolitic series with beds of tremolite-serpentinic schists, 14 – migmatite-gneissic; 15 – marker horizons: a) marble, 6) quartzite; 16 – ultramafit bodies (out of scale) (a); triangle shows the position of the Kingashsk ore-bearing massif (6); 17–22 – intrusive complexes: 17 – paleozoic gabbroic, 18 – ordovician leicogranite-granitic, 19 – neoproterozoic trondhjemitic (Verchnekansk massif), 20 – neoproterozoic tonalite-trondhjemitic (Shumikhinsk and Kirelsk massifs), 21 – neoproterozoic plagiogranite-granitic (Kuzinsk massif), 22 – paleoproterozoic gabbroic; 23 – tectonic borders: a) regional, 6) others; 24: a) geological borders, 6) attitude elements; 25 – studied Kulibinskaya area

Канский ЗКП расположен в юго-восточной части Канского блока в бассейне рек Кан-Тукша-Куе-Кузье-Кулижа и сложен амфиболито-гнейсовыми толщами с субвулканическими и вулканическими телами ультрамафитов [6]. Исследуемый Кулибинский потенциальный рудный узел (ПРУ) располагается на северо-востоке Канского ЗКП в бассейне рек Кулижа и Кирель и охватывает несколько ареалов тел ультрамафитов среди метаморфизованных вулканогенно-осадочных толщ, в которых преобладают амфиболиты и амфибол-биотитовые гнейсы.

Геологическое строение Кулибинского потенциального рудного узла

Метаморфические образования караганской серии Кулибинского ПРУ разбиты на ряд тектонических блоков северо-западного простирания, в разрезе которых чередуются существенно амфиболитовая верхняя кулижинская толща с гнейсово-парасланцевыми нижней кулижинской и кузынской, мощности которых достигают 1 км. Для амфиболитовых толщ характерно наличие в разрезе тел ультрамафитов, как субвулканических (дуниты, верлиты, лерцолиты, пироксениты кингашского и идарского комплексов), так и вулканических (пикриты, коматииты (?)). Ультрамафиты образуют линзы, дайки и пластообразные тела, субсогласно залегающие среди вмещающих пород. Гнейсово-парасланцевые толщи нередко вмещают горизонты кварцитов и отдельные маломощные дайки гипабиссальных ультрамафитов и мафитов. Характерна также насыщенность толщ субсогласными и согласными с гнейсовидностью, реже секущими жилами плагиогранитов и их пегматоидными разностями.

Характеристика магматических образований Кулибинского ПРУ и особенности их рудоносности приведены в работах [5, 8, 9]. Отличием от схожих образований Кингашского рудного узла является отсутствие на изученной территории густовкрапленных и сливных медно-никелевых руд. По комплексу петро-геохимических параметров рудоносные объекты отличаются от известных сульфидных платино-медно-никелевых месторождений магматического генезиса [10–13] и схожи с платинометаллическими месторождениями Кольского полуострова и Финляндии [14, 15]. Перспективы рудоносности Кулибинского ПРУ связаны с малосульфидным платинометаллическим оруденением в субвулканических и вулканических мафит-ультрамафитовых телах. Отмечается литологический и геохимический контроль оруденения, что подробно описано в [5].

Характеристика вулканитов мафит-ультрамафитового ряда

В ходе изучения особенностей петрографического, петрохимического и редкоэлементного состава основных-ультраосновных метавулканитов было выделено пять их типов:

1. Меланопикриты представляют собой равномерно-тонкозернистый агрегат талька, серпентина, тремолита и рудных минералов, с резким преобладанием первых двух. Исходные микроструктуры не сохраняются. По валовому составу данные образования близки к перидотитовым коматиитам (рис. 2, 3) и именуются меланопикритами ввиду отсутствия достоверно установленных структур спинифекс. Для меланопикритов характерно наличие бедной пирротин-халькопиритовой вкрапленности и содержание Pd до 1 г/т. Их химический состав близок к составу дунитов рудного узла, описанных в [8].
2. Метапикриты сложены тремолитом, серпентином, тальком с примесью рудных минералов, которые аналогично меланопикритам образуют тонкозернистый агрегат. Количество амфибола колеблется от 20 до 60 %, валовый химический состав метапикритов существенно варьирует, но в целом соответствует составу куммулятивных пикритов кингашского комплекса, описанных в [8]. Вулканические метапикриты отличаются от гипабиссальных аналогов характером распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) (рис. 4): при схожих концентрациях для вулканитов характерны существенно большие отношения La_n/Sm_n (1,2–5 в вулканитах против 1–1,1 в интрузивных) и La_n/Yb_n (1,2–8 в вулканитах против 1–1,1 в интрузивных). По химическому составу и характеру распределения редких элементов метапикриты близки к базальтовым коматиитам БКЗ (по [16]), хотя и отличаются концентрациями лёгких РЗЭ. В целом данные породы близки к базальтовым коматиитам барбетонского типа (рис. 3). Для них характерна бедная рассеянная пирит-халькопирит-пирротиновая вкрапленность и концентрации палладия 0,3–0,7 г/т.
3. Метапикробазальты по минеральному составу схожи с пикритами, однако амфиболы тремолит-актинолитового ряда в них значительно преобладают над серпентином и тальком, составляя 60–80 % от объёма породы, нередко до 100 %. Отмечаются значительные примеси хлорита (10–30 %, редко более). Мономинеральные тремолититы и актинолититы, в отличие от прочих метавулканитов, отчётливо зернистые, в отдельных образцах порфиробластовые. Состав пикробазальтов обнаруживает как сходство с базальтами типа ТН2, так и с базальтовыми коматиитами БКЗ (по [16]). По химическому составу и характеру распределения РЗЭ они близки к высокомагнезиальным толеитовым базальтам ТН2 (рис. 2), однако концентрации ряда редких элементов (Y, Nb и др.) существенно ниже. Отношения $La_n/Sm_n=2,1–2,6$, $La_n/Yb_n=3,7–4,1$, характер графика распределения РЗЭ (рис. 4) аналогичен вышеописанным пикритам, с поправкой на более высокие концентрации. Топология спектров РЗЭ и их кон-

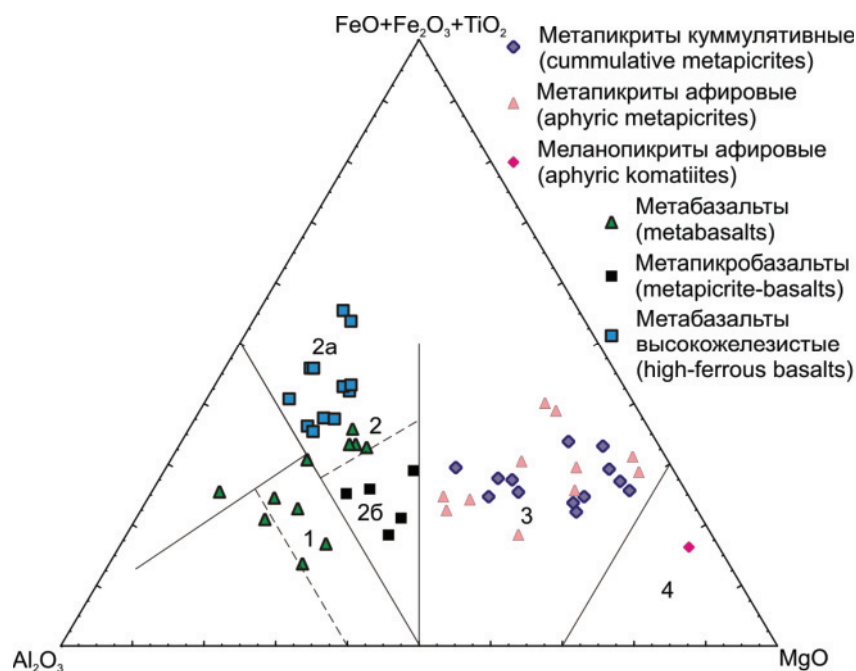


Рис. 2. Вулканыты мафит-ультрамафитового состава на диаграмме $MgO-Al_2O_3-(FeO+Fe_2O_3+TiO_2)$. Поля на классификационной диаграмме (по [17]): 1 – известково-щелочные базальты; 2 – толеитовые базальты: 2a – высокожелезистые, 2b – высокомагнезиальные; 3 – базальтовые коматииты; 4 – перидотитовые коматииты

Fig. 2. Mafic-ultramafic volcanites on the $MgO-Al_2O_3-(FeO+Fe_2O_3+TiO_2)$ diagram. Classification fields by [17]: 1 – calc-alkalic basalts; 2 – tholeiitic basalt: 2a – hi-ferrous, 2b – hi-magnesium; 3 – basaltic komatiites; 4 – peridotite komatiites

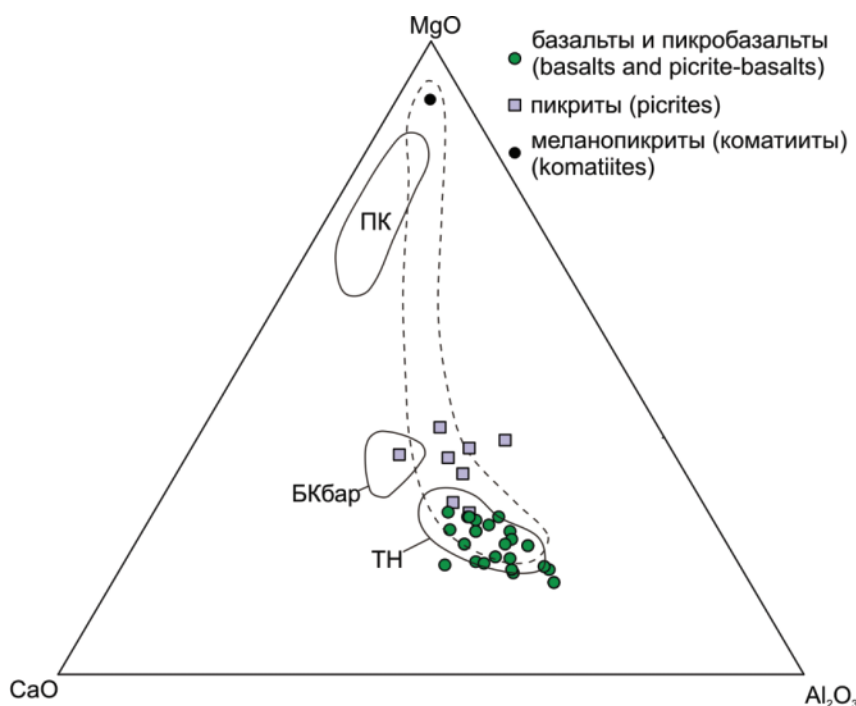


Рис. 3. Составы вулканитов базальт-коматиитовой серии Кулибинского ПРУ. Сплошными линиями – поля составов по [16]: ТН – толеиты, БКбар – базальтовые коматииты барбетонского типа, ПК – перидотитовые коматииты. Пунктиром – коматиит-толеитовый тренд по [16]

Fig. 3. Composition of basalt-komatiitic series volcanites from Kulibinsky PRU. Solid lines – fields of composition by [16]: TH – tholeiites, БКбар – barbeton type basaltic komatiites, ПК – peridotitic komatiites. Dashed line – komatiite-tholeiitic trend by [16]

центрации в пикритах и пикробазальтах аналогичны распределению РЗЭ в пикробазальтах Кингашского рудного района по [2]. Данные породы несут петрогеохимические черты сходства как с пикритами, так и с базальтами, являясь переходной разновидностью. Они вмещают пирит-пирротин-халькопиритовую минерализацию до 10–15 об. %, концентрации Pd в них достигают 0,5 г/т.

4. Метабазальты 1-го типа (метабазальты-1) состоят из тремолита, актинолита, роговой обманки, хлорита, эпидота, плагиоклаза и вторичных по нему серицита и соссюрита. В образцах, где амфиболы представлены тремолитом и актинолитом, плагиоклаз отсутствует, отмечаются лишь вторичные по нему минералы; в образцах, где обнаруживается роговая обманка, плагиоклаз представлен серицитизированным андезином № 40, сохраняющим исходные микроструктуры. По валовому химсоставу и особенностям распределения редких и редкоземельных элементов метабазальты 1-го типа

близки к базальтам ТН2 (по [16]), для них характерны отношения $La_n/Sm_n=1,5-5,5$, $La_n/Yb_n=1,8-7,5$ (рис. 4), повышенные в сравнении с пикробазальтами концентрации Y, Zr, и пониженные – Cr, Ni. Отдельные горизонты, обогащенные халькопиритом до 5–7 об. % характеризуются повышенными до 0,5–0,7 г/т концентрациями Pd.

5. Метабазальты 2-го типа (метабазальты-2) сложены роговой обманкой, плагиоклазом (андезин № 30) и кварцем, который составляет 10–20 % объёма породы. По составу они близки к современным известково-щелочным базальтам и андезибазальтам (рис. 2), характеризуются ровными графиками распределения РЗЭ ($La_n/Sm_n=1,1-1,2$, $La_n/Yb_n=1,2-1,3$) и их повышенными концентрациями в сравнении с метабазальтами 1-го типа (рис. 4). В данных породах не обнаружены значимые концентрации платиноидов, и они характеризуются резко пониженными содержаниями хрома и никеля (в 5–7 раз ниже, чем в метабазальтах 1-го типа).

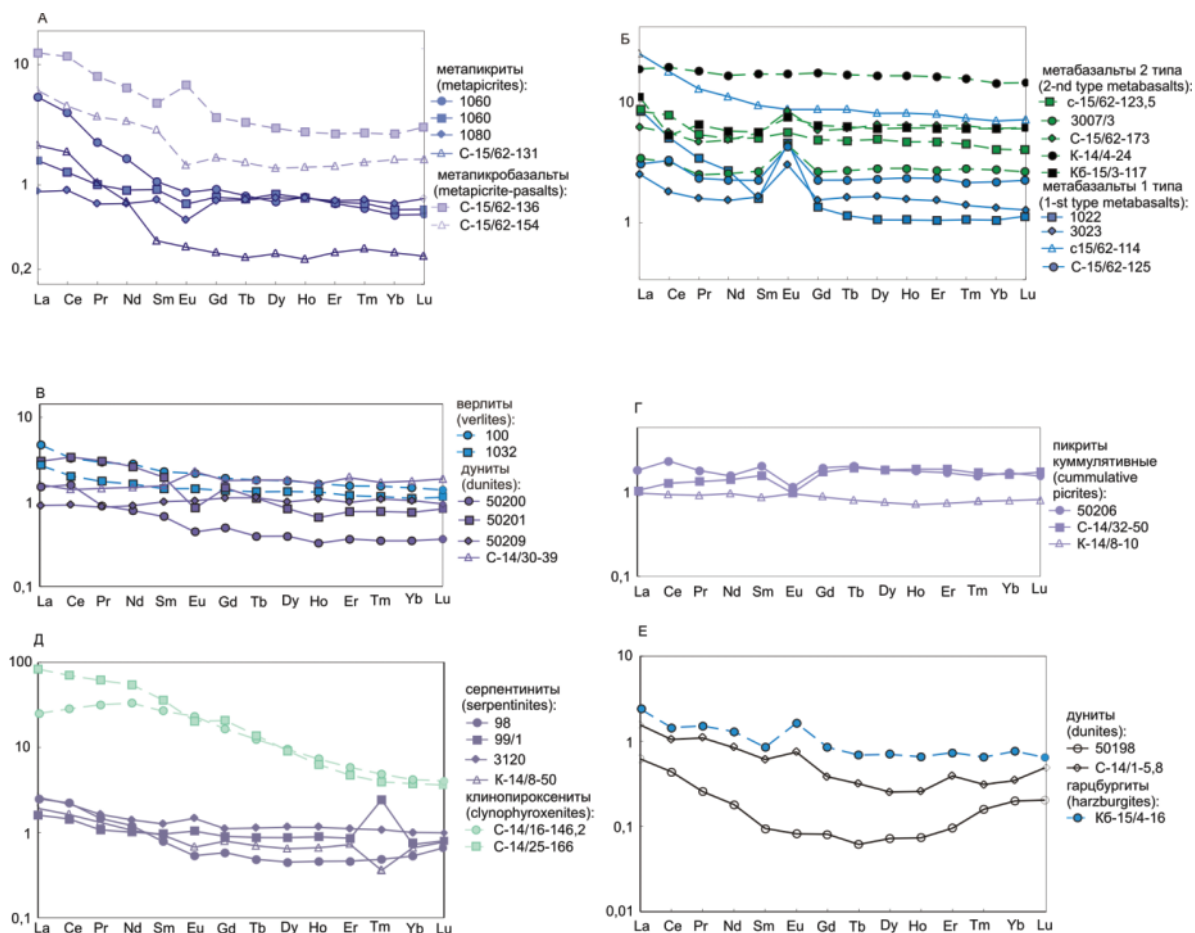


Рис. 4. Графики распределения РЗЭ в породах мафит-ультрамафитового состава Кулибинского ПРУ. А, Б – вулканиты; В–Д – интрузивные ультрамафиты кингашского комплекса, Е – ультрамафиты идарского комплекса. Нормировано по хондриту C1 [18]

Fig. 4. Plot of REE-distribution in mafic-ultramafic rocks from Kulibinsky PRU. А, Б – vulcanites; В–Д – intrusive ultramafits of kingashsky complex, Е – ultramafits of idarky complex. Chondrite C1 normalized [18]

Вулканиды ультрамафитового состава слагают как отдельные тела, так и горизонты мощностью до 100–150 м, в пределах которых отмечается ритмичное переслаивание метапикритов, пикробазальтов и базальтов 1-го типа (рис. 5). Для таких горизонтов характерно постепенное изменение состава вниз по разрезу в сторону увеличения основности, что отчётливо фиксируется в изменении минерального состава от актинолит-соссюритового в верхних частях горизонта до тальк-серпентинового в нижних. Помимо общего тренда увеличения основности, в пределах горизонта может отмечаться несколько ритмов с постепенным увеличением магнезиальности к подошве каждого ритма. Именно в пределах таких ультрамафитовых горизонтов отмечаются наибольшие концентрации ЭПГ в пределах рудного узла.

Метабазальты 2-го типа пользуются широким распространением лишь на удалении от ультрамафитов и не обнаруживают с ними связи в разрезе. С метабазальтами первого типа ассоциируют не только ультрамафитовые вулканиды, с которыми они связаны постепенным переходом, но и комагматичные им интрузии ультрамафитов кингашского комплекса. Таким образом, поля метабазальтов 1-го типа являют собой контур распространения вулканоплутонической ассоциации, продуктивной на Cu-Ni-ЭПГ, которая объединяет вулканические и интрузивные образования мафит-ультрамафитового состава.

Средние и кислые метаэффузивы в рамках данной работы детально не изучались, по петрографическим описаниям на изученной территории представлены гнейсы первых трёх типов, описанных в [6].

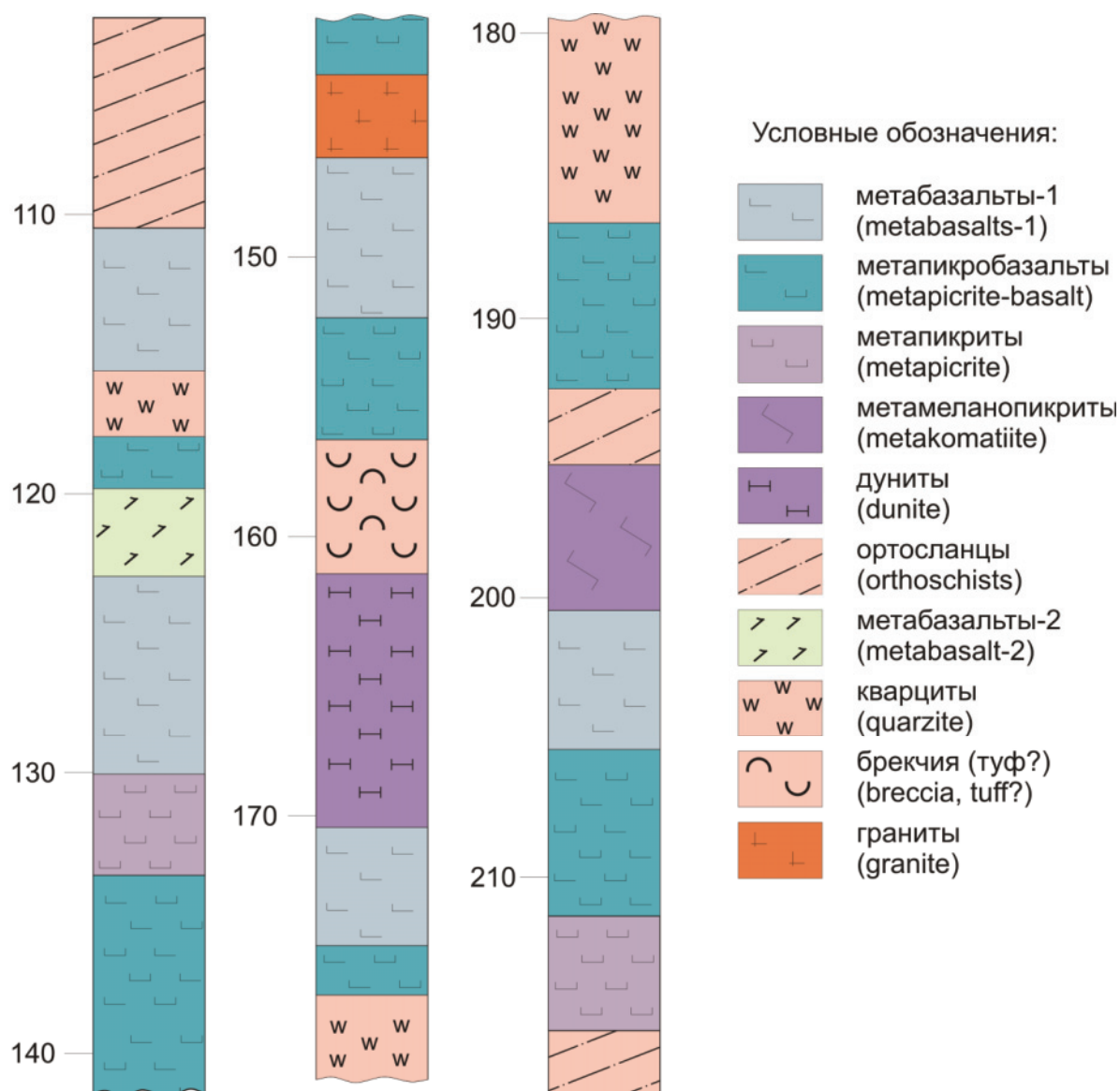


Рис. 5. Фрагмент разреза пикрит-базальтовой толщи по скважине С-15/62 в интервале глубин 105–215 м

Fig. 5. Fragment of picrite-basaltic mass section from drill hole C-15/62 in the depths from 105 to 215 m

Обсуждение

Для всех вышеописанных пород характерны бластоструктуры и отсутствие реликтов первичных минералов. Состав исходных пород реконструирован по петро-геохимическим критериям. Реконструкция проводилась, опираясь на фундаментальные труды [17, 19] и исследования магматизма Канской глыбы [6, 7].

Метабазальты 1-го типа, пикробазальты и пикриты характеризуются сходной топологией спектров РЗЭ с постепенным увеличением их концентраций от базальтов к пикритам. В ряду пикриты–базальты-1 также отмечается постепенное увеличение концентраций ряда редких элементов (Y, Zr, Nb) и снижение концентраций Cr и Ni. На диаграмме (рис. 2) отражается непрерывный тренд от пикритов к базальтам, что в комплексе с характером распределения редких элементов позволяет предположить образование их в ходе дифференциации исходного высокомагнезиального пикритового расплава. Описанный вулканический комплекс в разных работах относится либо к коматит-базальтовой [3, 7], либо к базальт-мелапикритовой [19, 20] формациям.

Схожая картина была установлена для интрузивных образований кингашского комплекса в пределах Кулибинского ПРУ [5, 8], которые образуют с вулканическими пикритами единое поле на диаграмме (рис. 2). Интрузивные метапикриты характеризуются близкими концентрациями РЗЭ с вулканиками, последние отличаются лишь обогащением лёгкими РЗЭ. Схожесть химического состава, характера распределения редких элементов и тесная пространственная связь вулкаников в ряду метапикриты-метабазальты-1 с интрузиями кингашского комплекса позволяют предположить образование данных пород из единого расплава в ходе его дифференциации. В пределах рудного узла обнаружены вулканические аналоги интрузивных образований кингашского комплекса, в том числе высокомагнезиальные вулканики ($MgO > 40\%$).

Метабазальты-2 отличаются химическим составом, топологией спектров РЗЭ, концентрациями редких элементов и близки по комплексу петро-геохимических критериев к известково-щелочным базальтам, в отличие от метабазальтов-1, схожих с докембрийскими толеитами зеленокаменных поясов. Потенциально рудоносные ультрамафиты кингашского комплекса не пользуются широким распространением в толщах метабазальтов-2, также последние не несут повышенных концентраций ЭПГ.

Потенциально ЭПГ-Cu-никеленосными в пределах северо-востока Канского ЗКП являются магматические ультрамафиты, с которыми связаны сульфидные медно-никелевые и малосульфидные платинометаллические руды.

Тела ультрамафитов пользуются ограниченным распространением, но находятся в тесной ассоциации с метабазальтами-1, которые зачастую уверенно выделяются в полевых условиях. Таким образом, широкое развитие в разрезе метабазальтов первого типа является критерием выделения потенциально рудоносных участков. В первую очередь это актуально для вулканических толщ, вмещающих горизонты потенциально платиноносных пикритов и пикробазальтов, тела которых в ряде случаев не выделяются по результатам крупномасштабной геофизической съёмки.

Выводы

1. На северо-западе Канского ЗКП известны толщи метабазальтов, вмещающие тела вулканических и гипабиссальных ультрамафитов. Перспективы рудоносности территории связаны с малосульфидными платинометаллическими рудами, обнаруженными в телах метапикритов и меланопикритов в пределах таких толщ.
2. По комплексу признаков на изученной территории выделено два типа метабазальтов. Метабазальты первого типа близки по составу к толеитам зеленокаменных поясов (ТН2 по [16]), для них характерно обогащение лёгкими РЗЭ и отношение $La_n/Yb_n = 1,8-7,5$. Метабазальты второго типа близки по составу к известково-щелочным базальтам, для них характерны отношения $La_n/Yb_n = 1,2-1,3$.
3. Метабазальты первого типа тесно ассоциируют с рудоносными пикритами и пикробазальтами, ритмично переслаиваясь в пределах отдельных горизонтов. На диаграммах в ряду метабазальт-пикрит наблюдается непрерывный тренд. Метабазальты-1, пикробазальты и пикриты характеризуются схожей топологией спектров РЗЭ с постепенным увеличением их концентраций с уменьшением магнезиальности. Также вулканики ряда метабазальт-1-пикрит ассоциируют с интрузивными ультрамафитами рудоносного кингашского комплекса. Структурные и петрогеохимические особенности вышеперечисленных образований позволяют сделать вывод о формировании данных пород из единого пикритового расплава в ходе его дифференциации.
4. Метабазальты 1-го типа зачастую уверенно диагностируются в полевых условиях, что позволяет использовать их для оконтуривания вулканоплутонической ассоциации, продуктивной на Cu-Ni-ЭПГ, объединяющей вулканические и интрузивные образования мафит-ультрамафитового состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минерально-сырьевые основы новых горнорудных центров Российской Федерации. Золото. Оценка ситуации; северо-восток России; юг России; серебро Западного Верхоянья; никель, медь, платиноиды Восточно-Саянской провинции; титан-циркониевые россыпи; сурьма юга Восточной Сибири / Б.К. Михайлов, С.С. Вартамян и др. // Отечественная геология. – 2007. – № 3. – С. 14–42.
2. Корнев Т.Я., Еханий А.Г. Эталон Кингашского базальт-коматитового комплекса (Восточный Саян). – Новосибирск: СНИИГиМС, 1997. – 88 с.
3. Канский зеленокаменный пояс и его металлогения (Восточный Саян) / Т.Я. Корнев, А.Г. Еханий, А.П. Романов, В.Н. Князев, С.К. Шарифулин. – Красноярск: КНИИГиМС, 2003. – 134 с.
4. Ножкин А.Д., Ципунков М.Ю., Попереков В.А. Сульфидно-никелевое и благороднометалльное оруденение в гранит-зеленокаменной области Восточного Саяна // Отечественная геология. – 1995. – № 6. – С. 11–17.
5. Бабинцев Н.А., Чернышов А.И. Платиноносные пикриты северо-запада Канского зеленокаменного пояса (Восточный Саян) // Петрология магматических и метаморфических комплексов: Материалы IX всероссийской петрографической конф. с международным участием. – Томск, 2017. – Томск: Изд-во Томского ЦНТИ, 2017. – Вып. 9. – С. 38–45.
6. Состав, строение и условия формирования метасадочно-вулканогенных комплексов Канского зеленокаменного пояса (Северо-Западное Присянье) / А.Д. Ножкин, О.М. Туркина, Е.В. Бибилова, В.А. Пономарчук // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42. – № 7. – С. 1058–1078.
7. Метасадочные-вулканогенные и интрузивные комплексы Идарского зеленокаменного пояса (Восточный Саян) / А.Д. Ножкин, А.И. Чернышов, О.М. Туркина, Н.И. Кузватов, С.И. Ступаков, Н.В. Дмитриева // Петрология магматических и метаморфических комплексов: материалы всероссийской науч. конф.: в 2 т. – Томск, 2005. – Т. 1. – С. 356–384.
8. 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.
9. Бабинцев Н.А., Чернышов А.И. Малосульфидные платинометалльные рудопоявления северо-запада Восточно-Саянской платино-никеленоносной провинции как аналог платинометалльных месторождений комплекса Портимо (Финляндия) // Ультрамафит-мафитовые комплексы: геология, строение, рудный потенциал: Материалы V международной конференции. – Улан-Удэ, 2017. – С. 30–32.
10. Andersen J.C.O., Powe, M.R., Momme P. Platinum-Group Elements in the Paleogene North Atlantic Igneous Province // The Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum-Group Elements. – 2002. – V. 54. – P. 637–667.
11. Barnes S.-J., Naldrett A.J., Gorton M.P. The origin of the fractionation of platinum-group elements in terrestrial magmas // Chemical geology. – 1985. – V. 53. – P. 303–323.
12. Naldrett A.J. Magmatic Sulfide Deposits. – New York: Oxford University Press, 1989. – 196 p.
13. Barnes S.J. et. al. The mineral system approach applied to magmatic Ni-Cu-PGE sulphide deposits // Ore geology reviews. – 2016 – V. 76 – P. 296–316.
14. Pijina 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. – P. 133–164.
15. Гавриленко Б. В. Минерогения благородных металлов и алмазов северо-восточной части Балтийского щита: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. – Апатиты, 2003. – 399 с.
16. Condie K.C. Archaean greenstone belts. – Amsterdam: Elsevier, 1981. – 434 p.
17. Jensen L.S. A new cation plot for classifying subcalic volcanic rocks. – Ontario: Ontario Division of Mines publ., 1976. – 22 p.
18. Naldrett A.J., McDonough W.F., Sun S.-S. The composition of the Earth // Chemical geology. – 1995. – V. 120. – P. 223–253.
19. Богнибов В.И., Глазунов О.М. Базальт-меллапикритовая формация Кингашского района Восточного Саяна // Петрология магматических и метаморфических комплексов: Материалы научной конференции. – Томск: ЦНТИ, 2000. – С. 144–147.
20. Глазунов О.М., Богнибов В.И., Еханий А.Г. Кингашское платино-медно-никелевое месторождение. – Иркутск: Издательство ИГТУ, 2003. – 192 с.

Поступила 04.04.2018 г.

Информация об авторах

Бабинцев Н.А., старший геолог лаборатории геохимических методов ГПКК «Красноярский научно-исследовательский институт геологии и минерального сырья».

Чернышов А.И., доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры петрографии Геолого-географического факультета Национального исследовательского Томского государственного университета.

UDC 552.323.6

TYPIFICATION OF PLATINUM METAL BEARING PICRITES FROM THE NORTH-WEST OF KANSK GREENSTONE BELT (EAST SAYAN)

Nikita A. Babintsev¹,
mas9915@mail.ru

Aleksey I. Chernyshov²,
aich@ggf.tsu.ru

¹ Krasnoyarsk Research Institute of Geology and Mineral Resources,
55, Mira Avenue, Krasnoyarsk, 660049, Russia.

² National Research Tomsk State University,
36, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

The objects of the study are mafic-ultramafic complexes of Kulbinsk potential ore unit, including intrusive bodies of kingashsk complex and metavolcanic rocks of kuligininskaya and kuzinskaya series; the studied objects are located at the north-west edge of Kansk greenstone belt in East Sayan.

The aim of the research is to study petrographic, petrochemical and structural characteristics of the studied objects, their typing and development criteria for selecting ore-potential areas.

Methods. Petrographic study of the rocks was carried out on the polarization microscope AxioScop 40 firm Carl Zeiss. Investigation of the gross composition of the rocks was carried out at the Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS (Irkutsk) and in the laboratory of Minusinsk Geological Prospecting Expedition. The concentration of rare-earth elements was determined by ICP-MS, which was held in the Analytic Center of Natural Systems Geochemistry of National Research Tomsk State University (Tomsk) and at the Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS (Irkutsk).

Results. According to the set of petro-geochemical criteria the authors have identified five types of mafic-ultramafic metavolcanic rocks, four of them are represented by the rocks of basalt-melapicritic formation, which associates with intrusive massifs of kingashsk complex. Fifth type of metavolcanites is similar to the calc-alkalic basalts and it can be determined macroscopic among other formations. The rocks of basalt-melapicritic formation together with intrusions of kingashsk complex form volcano-plutonic complex, that is productive for platinum group elements, Cu, Ni; these formations are products of differentiation of the same high-mg melt. The studies identify the criteria of distinction of metabasalts on two types, one of them is included in ore-bearing volcano-plutonic association, and the other one is widely distributed only at non-ore parts of the studied territory.

Key words:

Ultramafites, basalts, picrobasalts, picrites, komatiites, PGE, low-sulfidic PGE deposits, greenstone belt, Kansk block.

REFERENCES

- Mikhailov B.K., Vartanyan S.S. Mineral base of new Russian mining centers. Silver in the western part of the Upper Yana basin; Nickel, copper, and PGM in the East Sayan province; Antimony in the south of East Siberia. *Otechestvennaya Geologiya*, 2007, no. 3, pp. 14–42. In Rus.
- Kornev T.Ya., Ekhanin A.G. *Etalon Kingashskogo basalt-komatiitovogo kompleksa (Vostochniy Sayan)* [Standard of Kingash basalt-komatiitic complex (East Sayan)]. Novosibirsk, SNIIGiMS Publ., 1997. 89 p.
- Kornev T.Ya., Ekhanin A.G., Romanov A.P., Knyazev V.N., Sharifulin S.K. *Kanskiy zelenokamenny poyas i ego metallogeniya (Vostochnyy Sayan)* [Kansk greenstone belt and its metallogeny (East Sayan)]. Krasnoyarsk, KNIIGiMS Publ., 2003. 134 p.
- Nozhkin A.D., Tsipunkov M.Yu., Poperekov V.A. Sulfidno-nikelevoe i blagorodnometalnoe orudenenie v granit-zelenokamennoy oblasti Vostochnogo Sayana [Sulfidic-nickel and noble-metal ore-mineralization in granite-greenstone region of East Sayan]. *Otechestvennaya geologiya*, 1995, no. 6, pp. 11–17.
- Babintsev N.A., Chernyshov A.I. Platinonosnye pikirity severozapada Kanskogo zelenokamennogo poyasa (Vostochny Sayan) [PGE-bearing picrites from the north-west of Kansk greenstone belt (East Sayan)]. *Petrologiya magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov. Materialy IX vserossiyskoy petrograficheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Petrology of magmatic and metamorphic complexes. Proceeding of science meeting]. Tomsk, Tomsk CSTI Publ. house, 2017. Iss. 9, pp. 38–45.
- Nozhkin A.D., Turkina O.M., Bibikova E.V., Ponomarchuk V.A. Structure, composition, and formation conditions of metasedimentary-volcanogenic complexes of Kan greenstone belt (North-West Sayan region). *Geologiya i geofizika*, 2001, no. 7, pp. 1058–1078. In Rus.
- Nozhkin A.D., Chernyshov A.I., Turkina O.M., Kuzovatov N.I., Stupakov S.I., Dmitrieva N.V. Metaosadochnye-vulkanogennye i intruzivnye komplekсы Idarskogo zelenokamennogo poyasa (Vostochnyy Sayan) [Metasedimentary-volcanic and intrusive complexes of Idarsk greenstone belt (East Sayan)]. *Petrologiya magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov. Materialy vserossiyskoy nauchnoy konferentsyi* [Petrology of magmatic and metamorphic complexes. Proc. of national scientific conference]. Tomsk, 2005. Vol. 1, no. 5, pp. 356–384.
- Chernyshov A.I., Babintsev N.A., Voroshylov V.G. Petrocratonic 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, vol. 328, no. 1, pp. 75–88. In Rus.
- Babintsev N.A., Chernyshov A.I. Malosulfidnye platinometalnye rudoproyavleniya severo-zapada Vostochno-Cayanskoy platinonikelenosnoy provintsii kak analog platinometalnykh mestorozhdeniy 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)]. *Ultramafit-mafitovye komplekсы: geologiya, stroenie, rudny potential. Materialy V mezhdunarodnoy konferentsyi* [Mafit-ultrama-

- fic complexes: geology, structure, ore-potential. Proc. of V international conference], Ulan-Ude, 2017. pp. 30–32.
10. Andersen J.C.O., Power M.R., Momme P. Platinum-Group Elements in the Paleogene North Atlantic Igneous Province. *The Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum-Group Elements*, 2002, vol. 54, pp. 637–667.
 11. Barnes S.-J., Naldrett A.J., Gorton M.P. The origin of the fractionation of platinum-group elements in terrestrial magmas. *Chemical geology*, 1985, vol. 53, pp. 303–323.
 12. Naldrett A.J. *Magmatic Sulfide Deposits*. New York, Oxford University Press, 1989. 196 p.
 13. Barnes S.J. The mineral system approach applied to magmatic Ni–Cu–PGE sulphide deposits. *Ore geology reviews*, 2015, vol. 76, pp. 296–316.
 14. 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.
 15. Gavrielenko B.V. *Minerageniya blagorodnykh metallov i almazov severo-vostochnoy chasty Baltiyskogo shchita*. Avtoreferat Kand. nauk [Minerageny of noble metals and diamonds of north-east part of Baltic shield. Cand. Diss. Abstract]. Apatites, 2003. 399 p.
 16. Condie K.C. *Archaean greenstone belts*. Amsterdam, Elsevier, 1981. 434 p.
 17. Jensen L.S. *A new cation plot for classifying subalcalic volcanic rocks*. Ontario, Ontario Division of Mines Publ., 1976. 22 p.
 18. Naldrett A.J., McDonough W.F., Sun S.-S. The composition of the Earth. *Chemical geology*, 1995, vol. 120, pp. 223–253.
 19. Bognobov V.I., Glazunov O.M. Bazalt-melapikritoidnaya formatiya Kingashskogo rayona Vostochnogo Sayana [Basalt-melapicrotic formation of Kingash region from East Sayan]. *Petrologiya magmaticsikh i metamorphicheskikh kompleksov. Materialy nauchnoy konferentsyi* [Petrology of magmatic and metamorphic complexes. Proc. of scientific conference]. Tomsk, TsNTI Publ., 2000. pp. 144–147.
 20. Glazunov O.M., Bognibov V.I., Ekhanin A.G. *Kingashskoe platino-medno-nikelevoe mestorozhdenie* [Kingash Pt-Cu-Ni deposit]. Irkutsk, ISTU publ., 2003. 190 p.

Received: 4 April 2018.

Information about the authors

Nikita A. Babintsev, senior geologist, Krasnoyarsk Research Institute of Geology and Mineral Resources.

Aleksey I. Chernyshov, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk State University.