

УДК 552.321.6

ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УЛЬТРАМАФИТОВ КИРЕЛЬСКОГО ФРАГМЕНТА КАНСКОГО ЗЕЛЕНОКАМЕННОГО ПОЯСА (СЗ ВОСТОЧНОГО САЯНА)

Чернышов Алексей Иванович¹,
aich@ggf.tsu.ru

Бабинцев Никита Анатольевич²,
mas9915@mail.ru

Ворошилов Валерий Гаврилович³,
v_g_v@tpru.ru

¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

² Красноярский научно-исследовательский институт геологии и минерального сырья,
Россия, 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 55.

³ Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Ультрамафиты изучаемой территории являются перспективными на обнаружение Cu-Ni месторождений с попутными элементами платиновой группы, что обуславливает актуальность их исследования.

Цель работы. Петрологические исследования были направлены главным образом на установление формационной принадлежности ультрамафитов Кулибинской площади, выделение основных петрографических разновидностей и выявление потенциально рудоносных типов пород.

Методы исследования. Детальное петрографическое изучение ультрамафитов проводилось на поляризационном микроскопе AxioScop 40 фирмы Carl Zeiss, что позволило выявить их основные разновидности и по структурным особенностям определить их формационную принадлежность. Изучение вещественного состава минералов и пород проводилось в основном в Центре коллективного пользования «Аналитический центр геохимии природных систем» при Томском государственном университете. Оценка химического состава породообразующих минералов проведена 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. Содержание редких и редкоземельных элементов определялось методом ICP MS на спектрометре серии Agilent 7500. Валовый химический состав пород определялся количественным химическим анализом в лаборатории Минусинской ГРЭ (г. Минусинск).

Результаты. Установлено, что ультрамафиты на исследуемой территории относятся к двум формационным типам и объединяются в два комплекса: кингашский магматический дунит-верлит-пикритовый и идарский реститовый дунит-гарцбургитовый. Наибольший практический интерес представляют ультрамафиты кингашского комплекса, слагающие тела гипабиссальной и субвулканической фации. Они представлены дунитами, верлитами, их серпентинизированными разновидностями и разнообразными по составу пикритами, которые являются производными единой первичной высокомагнезиальной пикритовой магмы. Для них характерны кумулятивные либо порфиоровые структуры. Они обнаруживают непрерывный тренд вариации химического состава минералов, который отражает последовательную магматическую дифференциацию исходного высокомагнезиального пикритового расплава. Установлено, что рудные компоненты обособляются главным образом в интерстициях либо основной массе. Наиболее благоприятными для оруденения являются кумулятивные дуниты и их серпентинизированные разновидности, которыми сложен главным образом рудовмещающий Кингашский массив. Последующие, более дифференцированные, породы обеднены ценными компонентами. Реститовые ультрамафиты представлены породами дунит-гарцбургитовой ассоциации с характерными метаморфическими гранобластовыми структурами. Они отличаются более однородным высокомагнезиальным химическим составом минералов, обусловленным интенсивным деплетированием исходного мантийного субстрата.

Ключевые слова:

Петрология, магматические и реститовые ультрамафиты, дуниты, гарцбургиты, верлиты, пикриты, оливин, пироксены, хромшпинелиды.

В зеленокаменных поясах Канского блока, локализованного в северо-западной части Восточного Саяна, среди метаморфизованных осадочно-вулканических образований, значительным распространением пользуются мелкие тела ультрамафитов (рис. 1). При этом наличие зеленокаменных поясов указывает на возможность обнаружения в них магматических сульфидных медно-никелевых и платинометалльных месторождений [1–4]. Поэтому ультрамафиты являлись объектом изучения мно-

гих исследователей в связи с их потенциальной рудоносностью на медно-никелевое и благороднометалльное оруденение [5–10].

Проведенные нами ранее детальными петрологическими исследованиями Канского рудного узла (КРУ) позволили объединить ультрамафиты в два комплекса: кингашский магматический дунит-верлит-пикритовый и идарский реститовый дунит-гарцбургитовый [9]. Магматические ультрамафиты по своему составу близки породам Кингашского

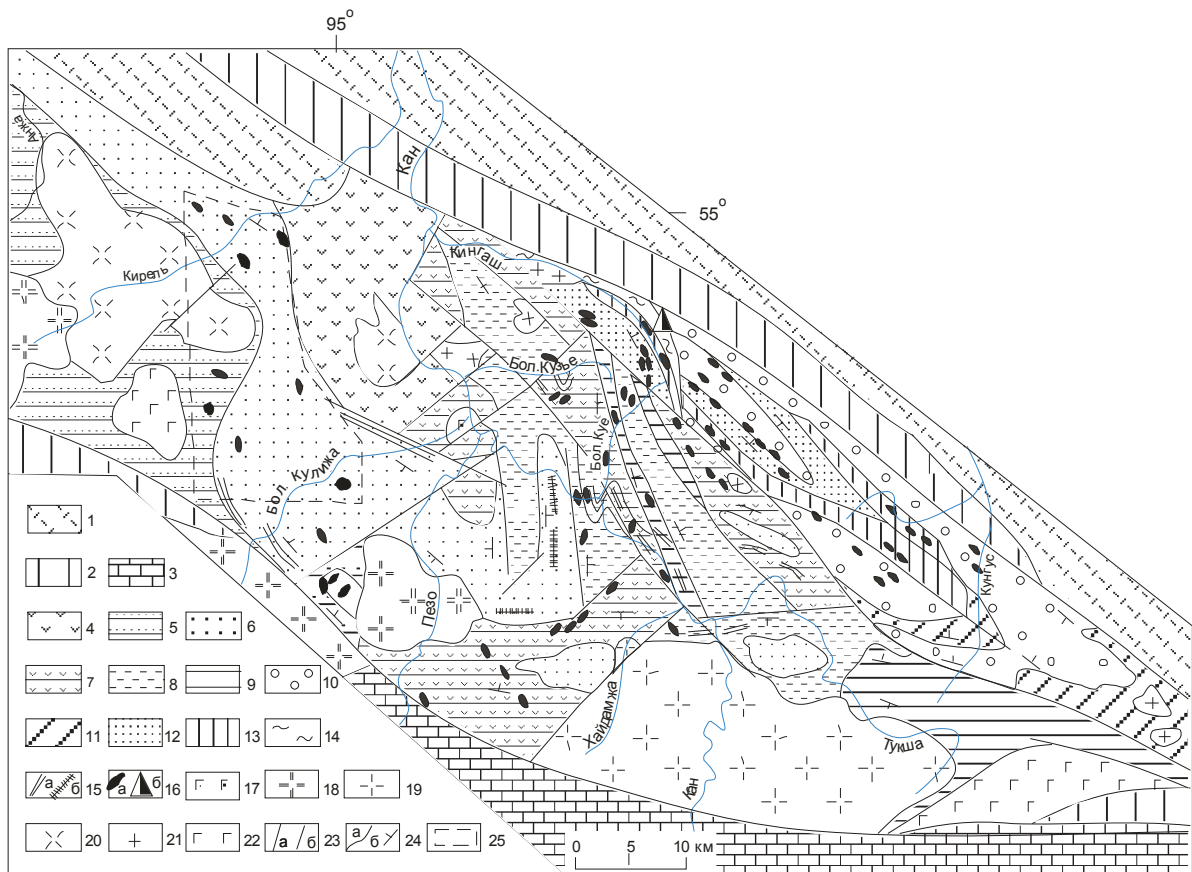


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Канской гранит-зеленокаменной провинции. Составлена А.Д. Ножкиным, О.М. Туркиной по результатам личных тематических исследований (80–90-е гг.) и интерпретации материалов крупномасштабной геологической съемки Красноярского геологического управления. 1 – осадочно-вулканогенные 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; 6–15 – 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 – полевошпатовых амфиболитов (лейкобазальт-андезитбазальтовая), 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 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 (Кузьинский массив), 22 – раннепротерозойский габбровый; 23 – тектонические границы: а) региональные разломы, б) прочие, 24 а) геологические границы, б) элементы залегания толщ, 25 – исследуемая Кулибинская площадь

Fig. 1. Schematic geological map of Kansk granitic-greenstone province composed by A.D. Nozhkin, O.M. Turkina by the results of personal studies (80–90-s) and interpretation of large-scale geological mapping materials realized by Krasnoyarsk geological survey. 1 are the volcanosedimentary devonian formations (Rybinskaya hollow), 2 are the volcanosedimentary late-riplean-cambrian deposits, 3 are the metaterrigen-carbonaceous proterozoic complexes, 4, 5 are the late-riplean metamorphic gneiss-amphibolitic complexes: 4 – Shumikhinskiy terrane, 5 – Kirelskiy areal; 6–15 are the metamorphic series of early-proterozoic greenstone belts: 6 – biotitic and garnet-biotite paragneisses, 7 – gneiss-amphibolitic (dacit-basaltic), 8 – biotitic and amphibolitic orthogneisses, 9 – amphibolitic (picrobasalt-basaltic), 10 – garnetiferous amphibolitic and biotite paragneisses (greywacke), 11 – feldspathic amphibolites (leicobasalt-andesytbasaltic), 12 – garnetiferous biotitic paragneisses (terrigenic) and amphibolitic, 13 – amphibolitic with beds of tremolite-serpentinic schists, 14 – migmatite-gneissic, 15 – reference horizons: a) marble b) quartzite; 16 are the ultramafit bodies (out of scale) (a); position of the Kingashsk ore-bearing massif designated with the triangle (b). 17–22 are the intrusive complexes: 17 – Paleozoic gabbroic, 18 – ordovician leicogranite-granitic, 19 – vendian trondhjemitic (Verkhnekansk massif), 20 – upper-riplean tonalite-trondhjemitic (Shumikhinsk and Kirelsk massifs), 21 – late-riplean plagiogranite-granitic (Kuzinsk massif), 22 – early-proterozoic gabbroic; 23 are the tectonic borders: a) regional, b) others, 24 a) geological borders, b) attitude elements, 25 is the studied Kulibinskaya area

массива, который представляется эталонным объектом для этого комплекса и является рудовмещающим для одноименного платиноидно-медно-никелевого месторождения [7, 11]. Исследуемая Кулибинская площадь является Кирельским фрагментом Канского зеленокаменного пояса (ЗКП) [12]. В его пределах установлено свыше 50 малых тел ультрамафитов, формационная принадлежность которых остается спорной. В них отмечалась сульфидная минерализация, что позволяет относить их к потенциально рудоносным.

Целью данной работы является минералого-петрографическая типизация ультрамафитов исследуемой площади с целью оценки их перспектив на обнаружение Cu-Ni и благороднометаллового (ЭПГ) оруденения. Изучаемая территория, так же как и сопряженный Кингашский рудный узел [7], характеризуется значительным распространением ультрамафитов как идарского реститового, так и кингашского магматического комплексов, породы которых часто макроскопически неотличимы. Исследования направлены на выделение пород кингашского комплекса, продуктивного на Cu-Ni оруденение, изучение особенностей их строения и минералогического состава. Проведено сравнение ультрамафитов кингашского и идарского комплексов с аналогичными образованиями Кингашского рудного узла [6, 9].

Петрографическая характеристика пород

Ультрамафиты по минералогическим и структурным особенностям на изучаемой площади подразделяются на две большие группы, соответствующие магматическому кингашскому и реститовому идарскому комплексам [9].

Магматические ультрамафиты кингашского комплекса

Ультрамафиты кингашского комплекса представлены породами дунит-верлит-пикритовой ассоциации, включающей дуниты, верлиты, клинопироксениты и метапикриты. Эти породы характеризуются наличием отчетливо выраженных кумулятивных и порфириковых структур, свидетельствующих о небольшой глубине их образования [9]. Кумулятивную фазу и порфириковые вкрапленники слагают субизометричные и гипидиоморфные зерна оливина, реже зерна клинопироксена. Интеркумулятивную фазу в этих породах выполняют обычно тремолит и хлорит.

Дуниты имеют среднезернистую, кумулятивную структуру (рис. 2, а), нередко осложненную катаклизмом. Часто хорошо проявляется наложенная петельчатая. Текстура однородная, нередко сланцеватая. Породы на 65–75 % сложены серпентинизированным оливином. Хлорит, тремолит и кальцит слагают ~20–30 % от объема породы, до 5 % отмечается магнетит. Оливин наблюдается в виде субизометричных кумулятивных зерен размером 2–3 мм, наиболее крупные индивиды более 3 мм представляют порфириковидные вкрапленники.

Интерстиции выполнены главным образом микрозернистыми агрегатами хлорит-тремолитового состава, часто с примесью магнетита и кальцита. Тремолит и хлорит нередко образуют сланцеватый матрикс, который плавно огибает кумулятивные зерна оливина и придает им форму будин. Магнетит обычно обильно насыщает породу в виде тонкой вкрапленности, просечек, мелких ветвящихся жилок. Его агрегативные скопления имеют неправильную форму и нередко подчеркивают кумулятивную структуру. Отмечаются более крупные индивиды магнетита до 1 мм, которые, вероятно, образовались за счет исходных зерен хромшпинелида.

В аподунитовых серпентинитах обычно сохраняется кумулятивная структура. Они имеют лизардитовый либо антигорит-лизардитовый состав. Только в интенсивно перекристаллизованных антигоритовых разностях кумулятивная структура полностью уничтожена. Оливин в серпентинитах обычно полностью псевдоморфно замещен серпентином и редко сохраняются в виде реликтов мелких зерен. Интеркумулятивная фаза представлена тремолит-хлоритовыми микрозернистыми агрегатами, с различными количественными вариациями минералов, вплоть до мономинеральных.

Верлиты. Их структура от микро- до среднезернистой, кумулятивная (рис. 2, б). Текстура верлитов обычно однородная, иногда в них отмечается слабо выраженная сланцеватость. Минералогический состав: оливин – до 50 %, клинопироксен ~15 %, тремолит ~15 %, хлорит ~15 %, магнетит до 5 %. Кумулятивные зерна представлены оливином и клинопироксеном, с преобладанием первого. Зерна оливина наблюдаются в виде агрегативных обособлений, их размер до 4 мм. Они интенсивно замещаются лизардитом, вплоть до образования полных псевдоморфоз. Степень серпентинизации зерен оливина варьирует в широких пределах от 15 до 60 %, редко до 100 %. Кумулятивные зерна клинопироксена встречаются реже, их размер 1,5–2,5 мм, отмечается замещение тремолитом и хлоритом. Интерстиции выполнены хлорит-тремолитовыми агрегатами с различными количественными вариациями, вплоть до мономинеральных. Они иногда имеют сланцеватый облик и огибают кумулятивные зерна оливина и клинопироксена. В породе отмечается обильная вкрапленность магнетита в виде просечек, ветвящихся жилок, мелкой и тонкой вкрапленности.

Клинопироксениты. Структура пород преимущественно тонкозернистая, иногда грубозернистая, панидиоморфная с участками сидеронитовой (рис. 2, в), встречается пойкилитовая, текстура однородная. Состав породы: клинопироксен ~80–90 %, флогопит ~10 %, апатит до 10 %, магнетит до 10 %. В грубозернистых разностях клинопироксен представлен крупными зернами с размером до 10 мм и более. В тонкозернистых размер зерен составляет 0,5–1 мм. Форма зерен субизометричная, таблитчатая. Флогопит наблюдается в виде многочисленных мелких чешуек (0,5–1 мм),

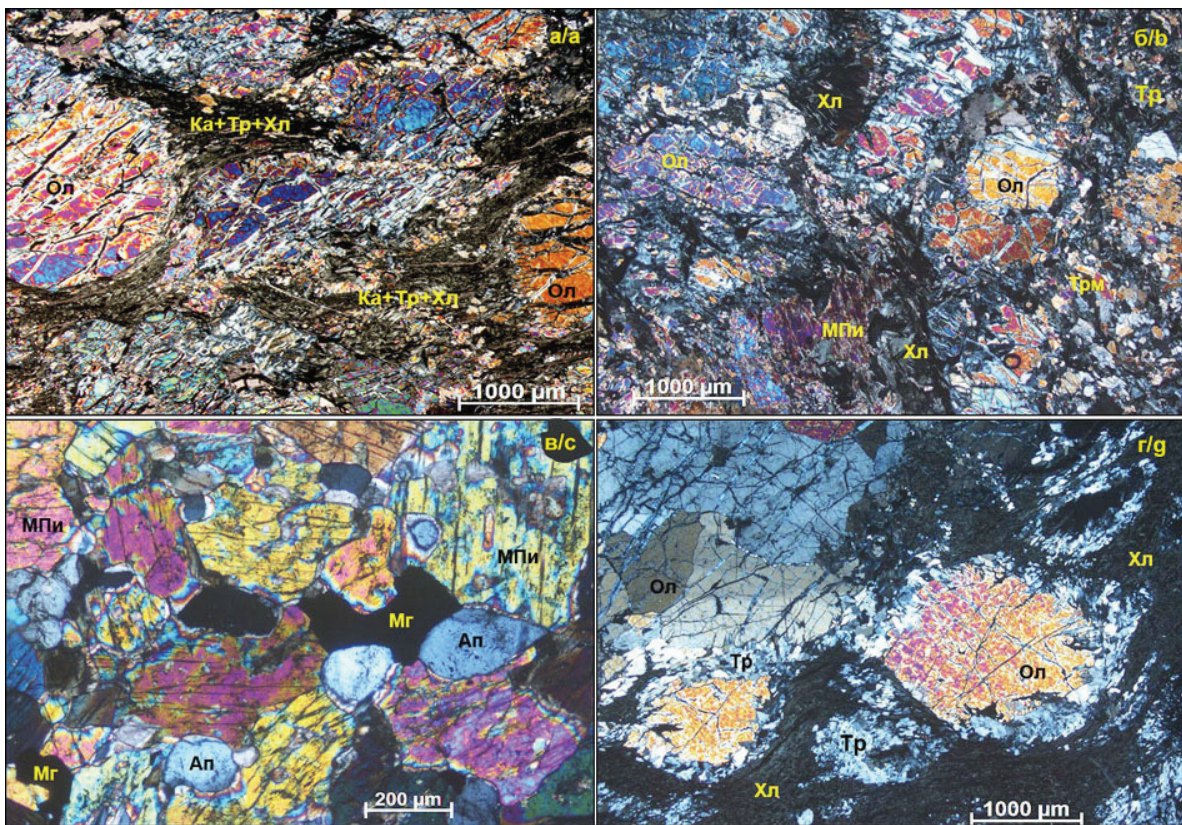


Рис. 2. Магматические ультрамафиты кингашского комплекса: а) дунит (обр. С14/30–32), б) верлит (обр. 1032), в) клинопироксенит (обр. С14/12–33), г) оливиновый пикрит (обр. 47). Ол – оливин, МПи – клинопироксен, Тр – тремолит, Хл – хлорит, Ка – кальцит, Ап – апатит, Мг – магнетит. Николи X

Fig 2. Magmatic ultramafites of kingashsk complex: a) dunite (s. C14/30–32), b) verlite (s. 1032), c) clinopyroxenite (s. C14/12–33), g) olivine-picrite (s. 47). Ол – olivine, МПи – clinopyroxene, Тр – tremolite, Хл – chlorite, Ка – calcite, Ап – apatite, Мг – magnetite. Nicols X

часто в виде пойкилитовых включений в зернах клинопироксена. Чешуйки флогопита также обособляются по границам зерен клинопироксена. Отмечается апатит в виде мелких округлых, эллипсоидальных зерен с размерами ~0,5 мм. Агрегативные обособления магнетита цементируют зерна клинопироксена и апатита.

Метапикриты отличаются от кумулятивных дунитов и верлитов меньшим количеством вкрапленников оливина и клинопироксена, их содержание обычно менее 50 % от объема породы (рис. 2, г). Для них характерны преимущественно blastoporphiroвые и порфирокластовые структуры. По составу вкрапленников выделяются оливиновые и пироксеновые метапикриты, редко оливин-пироксеновые. Метапикриты претерпели интенсивные преобразования, порфиропленники в них замещаются вторичными минералами, нередко полностью. Исходные оливиновые вкрапленники представлены субизометричными и неправильными по форме зернами с округлыми и плавными границами, которые иногда образуют гломеробластовые скопления, в порфирокластовых и милонитизированных породах зерна оливина наблюдаются в виде удлиненных порфиро-

клат, имеющих форму будин. В интенсивно измененных породах порфиропленники оливина обычно полностью замещаются пятнистыми агрегатами серпентина антигорит-лизардитового состава. Исходные клинопироксеновые вкрапленники часто псевдоморфно замещены уралитом, либо тремолитом и наблюдаются в виде порфиробласт, которые нередко дезинтегрированы на отдельные индивиды. Интеркумулусная фаза представлена хлорит-тремолитовыми агрегатами, нередко с хорошо выраженной сланцеватостью. Магнетит приурочен к вкрапленникам оливина и наблюдается в виде просечек в жилках лизардита либо образует тонкую вкрапленность. Основная цементирующая масса неравномерно, однако обычно обильно насыщена тонкой вкрапленностью рудных минералов, размером менее 0,2 мм. Метапикриты нередко милонитизированы.

Метаморфические ультрамафиты идарского комплекса

Ультрамафиты идарского комплекса представлены дунитами, гарцбургитами, ортопироксенитами и образовавшимися по ним серпентинитами. Эти породы являются мантийными реститовыми образованиями, для которых характерно отсут-

ствие магматических кумулятивных микроструктур. Реститовые ультрамафиты были перемещены в верхние этажи литосферы вдоль глубинных надвигов, в результате чего претерпели существенные пластические деформации с образованием гранобластовых, порфирикластовых, мозаичных микроструктур [13–15].

Дуниты свежего облика встречаются редко, обычно они серпентинизированы вплоть до образования серпентинитов. Структура дунитов тонко-, мелкозернистая, мозаичная (рис. 3, а) либо мозаично-лейстовая. Однако отмечаются среднезернистые, мезогранулярные и грубозернистые, протогранулярные (рис. 3, б). Текстура обычно однородная, реже директивная. Порода сложена оливином, в отдельных случаях – до 100 %, присутствует хромшпинелид, из вторичных минералов отмечаются антигорит, лизардит, тремолит, тальк, хлорит, кальцит и магнетит. В тонко-, мелкозернистых дунитах размеры зёрен оливина – 0,2–1 мм, в грубозернистых до 10 мм и более. Оливин часто замещается антигоровыми агрегатами. Отмечается неравномерная вкрапленность зерен хромшпинелидов.

Гарцбургиты редко имеют свежий облик, они обычно серпентинизированы и часто оталькованы (рис. 3, г). Гарцбургиты отличаются широкими вариациями структур по размерам зерен оливина: мозаичные (микрозернистые, тонкозернистые, мелкозернистые), мезогранулярные (среднезернистые), протогранулярные (крупнозернистые, грубозернистые). Структуры обычно гранобластовые, нередко порфиробластовые, иногда порфирикластовые. Текстура однородная, либо директивная. Минералогический состав: оливин ~70–85 %, энстатит ~15–25 %, хромшпинелид до 5 %. Из вторичных минералов отмечаются серпентин, тальк, тремолит, хлорит, кальцит, магнетит. Оливин представлен гранобластовыми агрегатами субизометричных, нередко удлиненных зерен, которые вытягиваются субпараллельно и отражают направление директивности. В пластически деформированных гарцбургитах порфирикласты приобретают неоднородное погасание, иногда отмечаются полосы пластического излома. Они по краям синтетонически рекристаллизованы с образованием мозаичных агрегатов с размерами менее 0,5 мм. В измененных разностях агрегаты лизардита либо

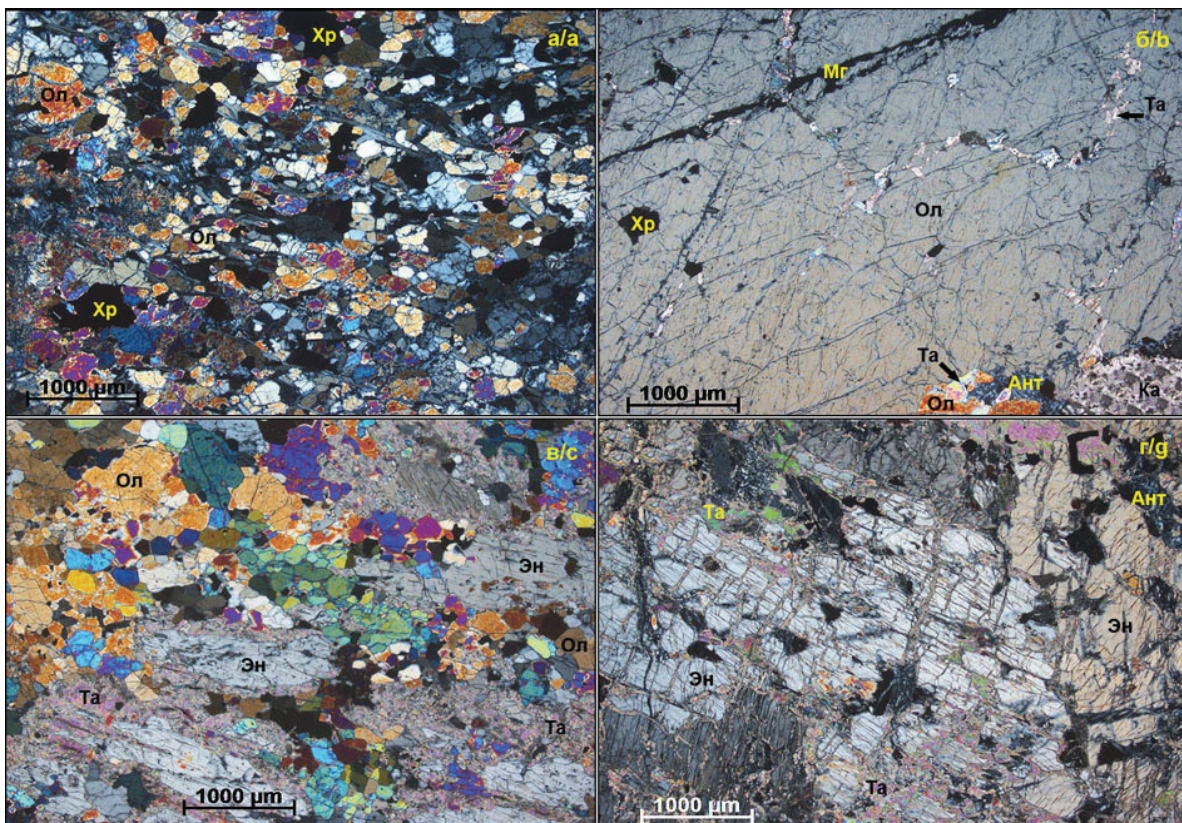


Рис. 3. Реститовые ультрамафиты идарского комплекса: а) дунит мозаичный (обр. 5089), б) дунит протогранулярный (обр. 5126), в) гарцбургит (обр. 4214/1), г) ортопироксенит (обр. 4195). Ол – оливин, Эн – энстатит, Хр – хромшпинелид, Ант – антигорит, Та – тальк, Ка – кальцит. Николи скрещены

Fig. 3. Restite ultramafites of udarsk complex: а) mosaic dunite (s. 5089), б) protogranular dunite (s. 5126), в) harzburgite (s. 4214/1), г) orthopyroxenite (s. 4195). Ол – olivine, Эн – enstatite, Хр – chrome-spinel, Ант – antigorite, Та – talcum, Ка – calcite. Crossed nicols

антигорита полностью замещают исходные зерна оливина. Энстатит наблюдается в виде субизометричных зерен с размерами до 3 мм либо образует порфиробласты до 10 мм. Удлиненные зерна вытягиваются субпараллельно и подчеркивают направление директивности. По трещинкам и периферии зерна энстатита замещаются микрочешуйчатым тальком (рис. 3, з), нередко до полного замещения. Нередко зерна энстатита псевдоморфно замещены баститом (пластинчатым лизардитом). Ксеноморфные зерна хромшпинелидов имеют размеры до 2 мм.

Ортопироксениты сложены энстатитом ~70–80 %, оливином ~10–20 %, хромшпинелидами до 5 % (рис. 3, з). Структура средне-, крупнозернистая, редко мелкозернистая, панидиоморфная, текстура однородная. По первичным минералам развиваются хризотил, антигорит, тальк, хлорит, магнетит. Энстатит образует зерна размерами от 2 до 10 мм, которые замещаются микрочешуйчатыми агрегатами талька. Оливин иногда присутствует в заметных количествах и представлен субизометричными зернами с размерами до 2 мм, нередко полностью замещёнными серпентином. В ортопироксенитах отмечаются субизометричные зерна хромшпинелидов с размерами до 1 мм. Магнетит наблюдается в виде очень тонкой вкрапленности, тонких просечек приуроченных обычно к серпентину и хлориту.

Особенности минералогического состава ультрамафитов

При рассмотрении особенностей минералогического состава ультрамафитов исследуемой территории основное внимание уделялось изучению вещественного состава, главным образом оливинов и хромшпинелидов, в меньшей мере ортопироксенов и клинопироксенов. Основной целью исследования является: 1) установление сходства и отличий в составе минералов ультрамафитов кингашского и идарского комплексов, 2) выявление эволюции состава минералов в породах обоих комплексов, обусловленной как процессами магматической дифференциации, так и деплетирования мантийного субстрата и поздним наложенным метаморфизмом. Проведено сравнение исследуемых минералов с аналогичными минералами в породах Кингашского рудного района и породах офиолитового комплекса [9].

Оливины

Анализ составов оливина в ультрамафитах исследуемой Кулибинской площади показал, что они имеют близкие составы с оливинами из ультрамафитов Кингашского рудного района (табл. 1). При этом оливины в ультрамафитах кингашского комплекса существенно отличаются от оливинов идарского на обеих территориях и образуют на бинарных диаграммах MgO–FeO, MgO–SiO₂ непересекающиеся поля распространения фигуративных точек (рис. 4).

Таблица 1. Средние химические составы оливинов в ультрамафитах (в мас. %)

Table 1. Average chemical compositions of olivines from ultramafites (wt. %)

Порода/Rock	SiO ₂	FeO	MnO	MgO	NiO	Fa
Кулибинская площадь/Kulibinskaya area						
Кингашский комплекс/Kingashsk complex						
Дуниты-1/Dunite-1 (3)	40,53	10,87	н.о	48,45	0,14	11,2
Дуниты-2/Dunite-2 (2)	39,09	19,54	0,72	40,65	н.о	21,2
Верлиты/Verlite (2)	38,57	21,81	0,35	39,29	н.о	23,7
Пикриты/Picrite (2)	39,11	23,87	0,45	36,58	н.о	26,8
Идарский комплекс/Idarsk complex						
Дуниты/Dunite (12)	41,53	6,84	н.о	51,22	0,37	7,0
Гарцбургиты Harzburgite (6)	41,72	6,85	н.о	50,82	0,42	7,0
Ортопироксениты Orthopyroxenite (2)	40,50	10,40	н.о	48,40	0,70	10,7
Кингашский рудный район/Kingashsk ore region						
Кингашский комплекс/Kingashsk complex						
Дуниты/Dunite (5)	39,90	13,91	0,21	45,11	0,27	14,7
Верлиты/Verlite (2)	40,18	17,38	0,33	40,40	0,17	19,4
Пикриты/Picrite (1)	37,59	19,83	0,32	41,07	0,27	21,3
Идарский комплекс/Idarsk complex						
Дуниты/Dunite (2)	40,79	9,01	0,15	49,66	0,39	9,3
Гарцбургиты Harzburgite (2)	41,01	9,15	0,14	49,45	0,45	9,4
ЮВ Восточного Саяна (Оспинский массив) SE of East Sayan (Ospinsk massif)						
Офиолитовый комплекс/Ophiolitic complex						
Дуниты/Dunite (2)	40,91	7,34	0,11	51,11	0,34	7,3
Гарцбургиты Harzburgite (2)	41,20	8,51	0,14	50,13	0,44	8,4

Примечание: в скобках количество измерений, по которым рассчитано среднее. Fa – содержание фаялитовой молекулы [Fa (%)=Fe/(Fe+Mg)×100]. Анализы пород Кингашского рудного района и офиолитового комплекса ЮВ Восточного Саяна (Оспинский массив) заимствованы из работы [9].

Note: number of measurements, used to calculate average value, are in brackets. Fa is the content of fayalite molecule [Fa (%)=Fe/(Fe+Mg)×100]. Analysis of rocks from Kingash ore region and ophiolitic complex of SE of East Sayan (Ospinsk massif) borrowed from [9].

В ультрамафитах **кингашского комплекса** Кулибинской площади отчётливо выделяется две генерации оливина (рис. 4, табл. 1): первая по химическому составу соответствует магнезиальному хризолиту (Fa=11,2 %), вторая – хризолиту (Fa=21,2–26,8 %) [16]. В ряду: дуниты–верлиты–пикриты отчетливо отмечается увеличение железистости оливина, соответственно, (11,2–21,2 %)–23,7 %–26,8 %, что, вероятно, обусловлено возрастанием степени магматической дифференциации исходного высокомагнезиального пикритового расплава. В оливинах постоянно присутствует MnO, его максимальные количества характерны для дунитов (0,69–0,75 %) и уменьшаются к пикритам и затем к верлитам (до 0,33 %). Примесь NiO в оливинах для пород кингашского комплекса на площади не характерна, лишь обнаружена в оливинах дунитов (0,14 %). CaO не был установлен в оливинах изученных пород. Оливины по

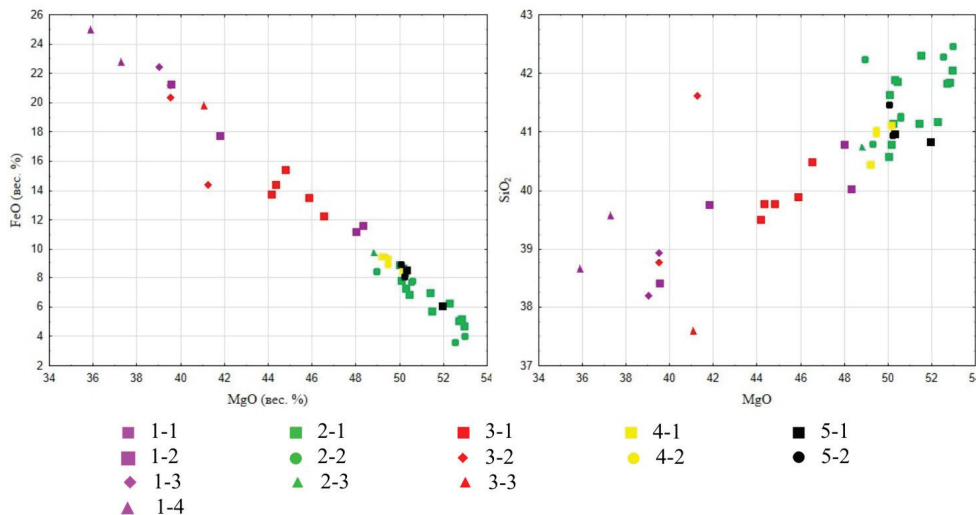


Рис. 4. Составы оливинов в породах кингашского и идарского комплексов Канской глыбы. **1-2 – Кулибинская площадь.** Кингашский комплекс: 1-1 – дуниты-1, 1-2 – дуниты-2, 1-3 – верлиты, 1-4 – пикриты. Идарский комплекс: 2-1 – дуниты, 2-2 – гарцбургиты, 2-3 – ортопироксениты. **3-4 – Кингашский рудный район.** Кингашский комплекс: 3-1 – дуниты, 3-2 – верлиты, 3-3 – пикриты. Идарский комплекс: 4-1 – дуниты, 4-2 – гарцбургит. **5 – ЮВ Восточного Саяна (Оспинский массив).** Офиолитовый комплекс: 5-1 – дуниты, 5-2 – гарцбургиты

Fig. 4. Composition of olivines in the rocks of kingashsk and idarsk complexes of Kansk block. **1-2 – Kulibinskaya area.** Kingashsk complex: 1-1 – dunites-1, 1-2 – dunites-2, 1-3 – verlites, 1-4 – picrites. Idarsk complex: 2-1 – dunites, 2-2 – harzburgites, 2-3 – orthopyroxenites. **3-4 – Kingashsk ore region.** Kingashsk complex: 3-1 – dunites, 3-2 – verlites, 3-3 – picrites. Idarsk complex: 4-1 – dunites, 4-2 – harzburgites. **5 – SE of West Sayan (Ospinsk massif).** Ofiolitic complex: 5-1 – dunites, 5-2 – harzburgites

своему составу обнаруживают сходство с оливинами из аналогичных ультрамафитов Кингашского рудного района [9]. Однако отмечаются отличия, оливины из дунитов Кингашского массива по железистости занимают промежуточное положение между оливинами двух генераций Кулибинской площади. При этом в составах оливина в верлитах и пикритах Кингашского массива отмечается уменьшение железистости и постоянно отмечается присутствие NiO. Дуниты, сложенные оливином первой генерации, являются наиболее ранними дифференциатами, а дуниты, верлиты и пикриты с оливином второй генерации относятся к поздним дифференциатам.

Оливины ультрамафитов *идарского комплекса* Кулибинской площади существенно отличаются от оливинов кингашского комплекса (рис. 4, табл. 1). Они соответствуют форстериту (Fa=7,0 %) [16]. Составы оливина в дунитах и гарцбургитах перекрываются и отвечают форстериту (Fa=4,77–8,06 %), (Fa=3,73–9,71 %), соответственно. В оливиновых ортопироксенитах железистость оливина незначительно возрастает до магнезиального хризолита (Fa=10,07–11,37 %). В отличие от оливинов кингашского комплекса они не содержат MnO и в то же время в них присутствует NiO. По составу оливины из дунитов и гарцбургитов идарского комплекса Кулибинской площади близки оливинам из подобных пород идарского комплекса Кингашского рудного района и Оспинского массива ЮВ Восточного Саяна (рис. 4) [9]. Они отличаются большей вариацией составов оливина и присутствием в них MnO.

Хромшпинелиды

Составы хромшпинелидов в ультрамафитах кингашского и идарского комплексов на Кулибинской площади и в Кингашском рудном районе обнаруживают значительные вариации (табл. 2, рис. 5, 6), которые, очевидно, обусловлены как процессами формирования пород, так и наложенными метаморфическими процессами.

Хромшпинелиды в ультрамафитах *кингашского комплекса* Кулибинской площади интенсивно метаморфизованы до магнетитов (табл. 2, рис. 5), поэтому в них всегда много FeO, при малых содержаниях Cr₂O₃, MgO, Al₂O₃. Практически постоянно отмечаются TiO₂ и MnO, а V₂O₅ и NiO в них отсутствуют. По своему составу они существенно отличаются от хромшпинелидов из пород кингашского комплекса в Кингашском рудном районе (табл. 2), в которых они менее метаморфизованы, поэтому более хромистые, менее железистые и представлены хромпикотитами, субферрихромпикотитами, ферриалюмохромитами, субалюмохромитами, хроммагнетитами (рис. 5) [17]. На бинарных диаграммах фигуративные точки хромшпинелидов кингашского комплекса на обеих территориях образуют самостоятельные не пересекающиеся поля (рис. 6). На Кулибинской площади отмечается отчетливое разделение дунитов на две разновидности: для дунитов-1 первой фазы (с менее железистым оливином) характерен высокохромистый магнетит с примесью до 17,04 % Cr₂O₃. Для дунитов-2 второй фазы (с наиболее железистым оливином) характерен магнетит с низкими содержаниями Cr₂O₃ (менее 10 %). В верлитах и пикритах Ку-

либинской площади встречается магнетит с максимальным содержанием FeO (до 96 %), в котором зачастую отмечаются следы серы. Примесь серы и никеля в отдельных магнетитах, очевидно, свидетельствует об образовании их в результате замещения сульфидов железа, что подтверждается минералогическими исследованиями. Хромшпинелиды из пород кингашского комплекса в Кингашском рудном районе отличаются присутствием и значительной вариацией Al_2O_3 , а также в них нередко содержится V_2O_5 , NiO (табл. 2).

Хромшпинелиды в ультрамафитах *идарского комплекса* Кулибинской площади обнаруживают существенные вариации состава (табл. 2) и представлены ферриалюмохромитами, субальюмоферрихромитами, феррихромитами, хроммагнетитами, магнетитами (рис. 5). В области магнетитов поля составов хромшпинелидов *идарского* и *кингашского* комплексов перекрываются. Для всей совокупности составов хромшпинелидов из пород *идарского* комплекса устанавливается отчетливая прямая корреляция между Cr_2O_3 –MgO и обратная Cr_2O_3 –FeO, что отражает неравномерную степень их наложенного метаморфического преобразования: от незначительной и до полного замещения магнетитом (рис. 6).

Составы хромшпинелидов из ультрамафитов *идарского* комплекса Кулибинской площади и *Кингашского* рудного района существенно отличаются (табл. 2). Последние являются более магнезиальными, глиноземистыми, менее железистыми и представлены пикотитами, субферрихромпикотитами, субферриалюмохромитами (рис. 5). Для них устанавливается прямая корреляция для Cr_2O_3 –FeO и обратная для Cr_2O_3 –MgO (рис. 6). Вариации составов хромшпинелидов из ультрамафитов *идарского* комплекса в *Кингашском* рудном районе и *офиолитового Восточно-Саянского* комплекса, очевидно, обусловлены глубинными процессами неравномерного деплетирования мантийного субстрата. При этом более высокая хромистость хромшпинелидов в ультрамафитах *офиолитового* комплекса, вероятно, обусловлена более высокой степенью деплетирования мантийного вещества. Существенные вариации составов хромшпинелидов, схожие с описанными выше, характерны для пород *мафит-ультрамафитовых* комплексов *Восточного* и *Западного Саяна* [18, 19] и не характерны для аналогичных образований других регионов [20–24].

Ортопироксены

Ортопироксены в дунитах, гарцбургитах и ортопироксенитах *идарского* комплекса Кулибинской площади характеризуются близким химическим составом (табл. 3). Они имеют высокую магнезиальность, низкую железистость и глиноземистость. В них отсутствует Cr_2O_3 . По своему составу ортопироксены соответствуют энстатиту малоглиноземистого типа [25]. Они по своему составу являются очень близкими энстатитам из гарцбургитов *идарского* комплекса *Кингашского* рудного района и *Ос-*

пинского массива. Отличия заключаются в постоянном присутствии в энстатитах сравниваемых комплексов Cr_2O_3 и MnO. Таким образом, состав ортопироксенов в породах *идарского* комплекса свидетельствует о его мантийно-реститовой природе.

Таблица 2. Средние химические составы хромшпинелидов и магнетитов в ультрамафитах (в мас. %)

Table 2. Average chemical compositions of chrome-spinel and magnetite from ultramafites (wt. %)

Порода/Rock	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MgO	NiO	MnO
Кулибинская площадь/Kulibinskaya area								
Кингашский комплекс/Kingashsk complex								
Дуниты-1 Dunite-1 (4)	0,63	0,68	0,09	17,04	80,07	1,00	н.о.	0,13
Дуниты-2 Dunite-2 (6)	1,17	0,41	0,23	8,12	87,03	2,39	н.о.	0,31
Верлиты Verlite (6)	4,37	0,31	0,63	1,86	91,40	3,15	н.о.	0,13
Пикриты Picrite (4)	1,80	0,14	0,63	0,75	95,53	1,47	н.о.	н.о.
Идарский комплекс/Idarsk complex								
Дуниты-1 Dunite-1 (8)	0,81	0,17	1,44	15,57	79,03	2,62	0,64	0,46
Дуниты-2 Dunite-2 (3)	0,66	0,73	2,02	33,88	58,22	3,30	н.о.	0,50
Дуниты-3 Dunite-3 (2)	0,56	0,00	19,9	44,91	25,13	7,86	н.о.	н.о.
Гарцбургиты-1 Harzburgite-1 (4)	1,01	0,22	0,75	14,58	79,81	2,62	0,95	0,62
Гарцбургиты-2 Harzburgite-2 (2)	1,57	0,66	12,48	31,09	48,93	4,82	0,56	0,35
Ортопироксениты-1 Orthopyroxene-1 (3)	1,87	0,13	4,74	37,09	51,27	4,23	0,59	0,41
Ортопироксениты-2 (1) Orthopyroxene-2 (1)	0,95	н.о.	2,03	1,82	95,04	0,68	0,57	0,00
Кингашский рудный район/Kingashsk ore region								
Кингашский комплекс/Kingashsk complex								
Дуниты-1 Dunite-1 (1)	н.о.	0,14	32,87	29,96	26,31	9,39	0,07	0,20
Дуниты-2 Dunite-2 (1)	н.о.	1,96	3,66	30,70	59,86	2,77	0,06	0,57
Верлиты Verlite (2)	н.о.	0,40	28,40	26,81	34,93	8,65	0,12	0,44
Пикриты-1 Picrite-1 (2)	н.о.	0,61	8,86	21,79	62,98	4,91	0,12	0,54
Пикриты-2 Picrite-2 (1)	н.о.	0,63	26,10	25,89	40,56	5,58	0,13	0,55
Пикриты-3 Picrite-3 (1)	н.о.	0,10	46,99	16,37	25,50	10,72	0,23	0,13
Идарский комплекс/Idarsk complex								
Дуниты Dunite (2)	н.о.	0,20	24,62	38,08	27,03	9,30	0,09	0,58
Гарцбургиты Harzburgite (2)	н.о.	0,06	41,16	24,51	19,63	14,57	0,16	0,33
ЮВ Восточного Саяна (Оспинский массив) SE of East Sayan (Ospinsk massif)								
Офиолитовый комплекс/Ophiolitic complex								
Дуниты Dunite (2)	н.о.	0,08	12,07	56,21	22,03	9,09	0,08	0,50
Гарцбургиты Harzburgite (2)	н.о.	0,02	13,07	57,54	18,76	11,02	0,04	0,25

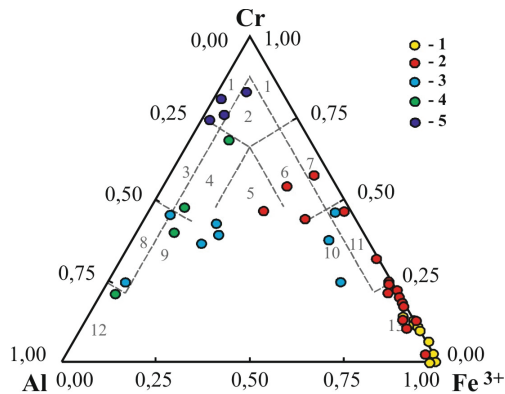


Рис. 5. Составы хромшпинелидов и магнетитов в породах кингашского и идарского комплексов Канской глыбы. 1–2 – Кулибинская площадь: 1 – кингашский комплекс, 2 – идарский комплекс; 3–4 – Кингашский рудный район: 3 – кингашский комплекс, 4 – идарский комплекс; 5 – офиолитовый комплекс (Оспинский массив). Поля на классификационной диаграмме [17]. 1 – хромит, 2 – субферрихромит, 3 – алюмохромит, 4 – субферриалюмохромит, 5 – ферриалюмохромит, 6 – субалюмо-феррихромит, 7 – феррихромит, 8 – хромпикотит, 9 – субферрихромпикотит, 10 – субалюмохроммагнетит, 11 – хроммагнетит, 12 – пикотит, 13 – магнетит

Fig. 5. Composition of chrome-spinel in the rocks of kingashsk and idarsk complexes of Kansk block. 1–2 is the Kulibinskaya area: 1 is the kingashsk complex, 2 is the idarsk complex. 3–4 is the Kingashsk ore region: 3 is the kingashsk complex, 4 is the idarsk complex; 5 is the ofiolitic complex (Ospinsk massif). Fields on the classification chart [19]: 1 – chromite, 2 – subferrochromite, 3 – alumochromite, 4 – subferroalumochromite, 5 – ferroalumochromite, 6 – subalumoferrochromite, 7 – ferrochromite, 8 – chromepicotite, 9 – subferrochromepicotite, 10 – subalumochromemagnetite, 11 – chromemagnetite, 12 – picotite, 13 – magnetite

Клинопироксены

По химическому составу клинопироксены из серпентинизированных верлитов и пикритов Кулибинской площади соответствуют диопсиду, а из верлитов – авгиту (табл. 4, рис. 7) [26]. В них проявляется существенная неоднородность. Вариация железистости ($Fs = Fe / (Ca + Fe + Mg) \cdot 100$) возрастает от верлитов к пикритам, при этом соотношение En/Wo изменяется в этом направлении примерно от 2/1 до 1/1. Al_2O_3 и Cr_2O_3 постоянно отмечаются в породах. Эволюция составов клинопироксенов от верлитов к пикритам, очевидно, обусловлена магматической дифференциацией исходного пикритового расплава, которая реализовалась уменьшением магния и накоплением кальция, при незначительном возрастании железа.

Таблица 3. Средние химические составы ортопироксенов в респитовых ультрамафитах (в мас. %)

Table 3. Average chemical compositions of orthopyroxenes from ultramafites (wt. %)

Порода/Rock	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Wo	Fs	En
Дуниты Dunite (4)	58,63	0,17	4,63	36,69	0,09	0,16	6,59	93,25
Гарцбургиты Harzburgite (3)	59,49	0,56	4,47	35,48	0,26	0,48	6,54	92,98
Ортопироксениты Orthopyroxenite (3)	58,82	0,41	6,54	34,18	0,27	0,39	9,61	89,99

Примечание/Note:

$Wo = Ca / (Ca + Fe + Mg) \cdot 100$, $Fs = Fe / (Ca + Fe + Mg) \cdot 100$,

$En = Mg / (Ca + Fe + Mg) \cdot 100$.

В Кингашском рудном районе вариации состава клинопироксена в верлитах и пикритах более значительные (табл. 4). Верлиты по структурным особенностям разделяются на два контрастных ти-

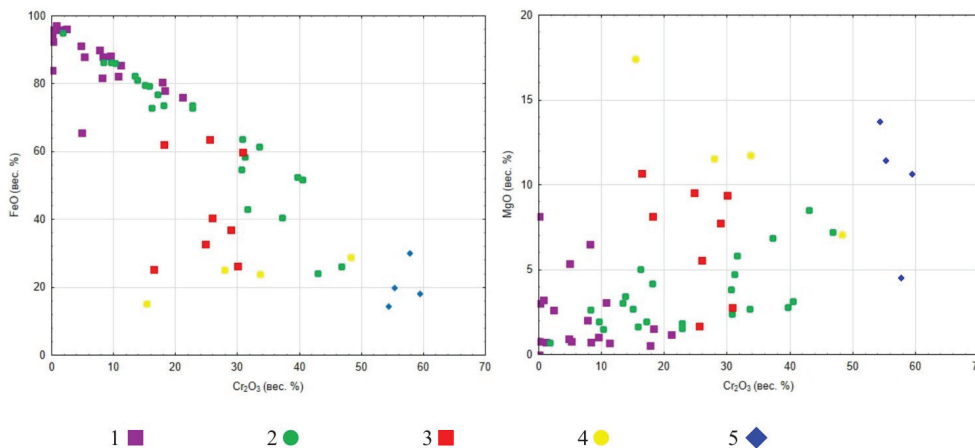


Рис. 6. Составы хромшпинелидов в породах кингашского и идарского комплексов Канской глыбы. 1–2 – Кулибинская площадь: 1 – кингашский комплекс, 2 – идарский комплекс; 3–4 – Кингашский рудный район: 3 – кингашский комплекс, 4 – идарский комплекс; 5 – офиолитовый комплекс (Оспинский массив)

Fig. 6. Composition of chrome-spinel in the rocks of kingashsk and idarsk complexes of Kansk block. 1–2 is the Kulibinskaya area: 1 is the kingashsk complex, 2 is the idarsk complex. 3–4 is the Kingashsk ore region: 3 is the kingashsk complex, 4 is the idarsk complex; 5 is the ofiolitic complex (Ospinsk massif)

па. В первом типе (верлиты-1) клинопироксен наблюдается в интерстициях кумулюсных зерен оливина и представлен клиноэнстатитом, который отличается высокими содержаниями магния, железа и очень низкими содержаниями кальция, титана и хрома. Этот тип верлитов является более ранним дифференциатом. Второй тип верлитов-2 является аналогичным верлитам на Кулибинской площади и характеризуется наличием кумулюсных зерен клинопироксена и оливина. Эти верлиты являются более поздними дифференциатами. Клинопироксен кумулюсных зерен в верлитах и порфирированных вкрапленников в пикритах представлен диопсидом, для которого отмечается повышение FeO от первых ко вторым, подобно Кулибинской площади. Однако соотношение En/Wo остается практически неизменным и соответствует примерно 1/1. Составы клинопироксена в верлитах и пикритах кингашского комплекса отчетливо отражают магматическую дифференциацию исходного пикритового расплава, продуктами кристаллизации которого они являются.

Таблица 4. Средние химические составы клинопироксенов из магматических ультрамафитов кингашского комплекса (в мас. %)

Table 4. Average chemical compositions of clinopyroxenes from magmatic ultramafites of kingashskiy complex (wt. %)

Порода/Rock	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Wo	Fs	En
Кулибинская площадь /Kulibinskaya area									
Серп. верлиты Serp. verlite (4)	51,99	2,11	3,14	3,82	16,93	24,12	47,56	5,92	46,52
Верлиты (4) Verlite (4)	57,40	1,50	0,39	2,52	21,24	18,07	36,27	3,95	59,79
Пикриты (2) Picrite (2)	52,70	1,75	0,38	4,83	17,00	23,04	45,67	7,47	46,87
Кингашский рудный район (Kingashsk ore region)									
Верлиты-1 Verlite-1 (3)	55,45	1,88	0,08	11,22	31,49	0,23	0,50	16,56	82,94
Верлиты-2 Verlite-2 (4)	51,79	3,25	0,64	4,17	15,77	22,10	46,73	6,94	46,34
Пикриты Picrite (3)	50,92	3,51	0,34	4,69	15,85	22,06	46,23	7,54	46,23

Примечание: Верлиты-1 (клинопироксен в интерстициях), верлиты-2 (клинопироксен кумулюсный);
 $Wo = Ca / (Ca + Fe + Mg) \times 100$, $Fs = Fe / (Ca + Fe + Mg) \times 100$,
 $En = Mg / (Ca + Fe + Mg) \times 100$.

Note: verlite-1 (clinopyroxene in interstices), verlite-2 (cumulose clinopyroxene);
 $Wo = Ca / (Ca + Fe + Mg) \times 100$, $Fs = Fe / (Ca + Fe + Mg) \times 100$,
 $En = Mg / (Ca + Fe + Mg) \times 100$.

Выводы

В результате проведенных комплексных петрологических исследований среди изучаемых пород выделены ультрамафиты продуктивного на медно-никелевое оруденение кингашского комплекса и ультрамафиты идарского комплекса. Проведено сравнение ультрамафитов с аналогичными образованиями Кингашского рудного района. По матери-

алам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Канская глыба расположена в краевой ЮЗ части Сибирской платформы на границе с Центрально-Азиатским складчатый поясом и ограничена зонами Главного разлома Восточного Саяна и Канско-Агульского. Она имеет сложное блоково-чешуйчато-надвиговое строение, представляет собой гранит-зеленокаменную область и является типичной раннедокембрийской металлогенической провинцией, аналогичной провинциям Балтийского щита, западной Австралии, юга Южно-Африканского щита и Канады, с которыми связаны Cu-Ni, платиноидные и Au-месторождения [27–29].

В пределах глыбы выделяются два зеленокаменных пояса (ЗКП): Идарский и Канский [12]. В Идарском ЗКП ареал рассеивания многочисленных ультрамафитовых тел объединяется в Кингашский рудный район, в котором находится Кингашский эталонный массив, вмещающий одноименное медно-никелевое месторождение с платиноидами. Исследуемая Кулибинская площадь является Кирельским фрагментом северо-западной части Канского ЗКП. В ее пределах также выявлены мелкие тела потенциально рудоносных ультрамафитов.

2. Магматические ультрамафиты кингашского комплекса имеют неоднородный петрографический состав. Они представлены дунитами, верлитами, лерцолитами, клинопироксенитами и метапикритами. Соотношения между разновидностями значительно варьируют в разных массивах. Такое разнообразие пород обусловлено степенью дифференцированности исходных высокомагнезиальных расплавов и глубиной их кристаллизации. Дифференциация расплава, очевидно, осуществлялась гравитационной отсадкой оливина в промежуточных камерах [28], поэтому для пород кингашского комплекса характерно наличие кумулятивных и бластопорфирированных микроструктур, свидетельствующих об их образовании в гипабиссальных и субвулканических условиях. Ультрамафиты кингашского комплекса Кулибинской площади по структурно-петрографическим характеристикам схожи с аналогичными образованиями Кингашского рудного района.

Реститовые ультрамафиты идарского комплекса представлены преимущественно дунитами, гарцбургитами и реже ортопироксенитами. Особенностью пород является наличие в них гранобластовых и порфирокластовых структур, свойственных метаморфическим перидотитам из офиолитовых комплексов [13–15]. Их можно отнести к метаморфическим перидотитам дунит-гарцбургитовой ассоциации, характерной для нижней части офиолитовых покровов [30, 31], которые представляют собой реститовые образования, возникшие в процессе деплетирования исходного мантийного субстрата [32]. Затем они были выведены в верхние этажи литосферы по глубинным надвигам, об-

рамляющим с юго-запада Сибирскую платформу.

3. Анализ химического состава минералов Кулибинской площади показал как сходства, так и существенные различия с аналогичными образованиями Кингашского рудного района. Это касается, в первую очередь, оливина и хромшпинелидов. На Кулибинской площади выделены дуниты двух фаз с различными составами оливина. В дунитах первой фазы оливина наименее железистые и представлены магнезиальным хризолитом. Оливины из дунитов второй фазы отличаются заметно большей железистостью и представлены хризолитом. При этом оливин из куммулятивных дунитов Кингашского рудного района по железистости занимает промежуточное положение между оливинами дунитов двух фаз Кулибинской площади. Причём составы оливина в верлитах и пикритах являются близкими, отмечается лишь небольшое уменьшение их железистости в Кингашском массиве. Наличие дунитов кингашского комплекса со значимо различающимися составами оливинов говорит об их формировании в два этапа, в отличие от дунитов Кингашского массива. Этот вывод согласуется с моделью эволюции исходного высокомагнезиального пикритового расплава. Составы оливинов в породах идарского комплекса изучаемой площади и Кингашского рудного района близкие и соответствуют форстериту. Их незначительные вариации, очевидно, отражают неравномерную степень деплетирования мантийного вещества.

Хромшпинелиды в породах кингашского комплекса Кулибинской площади интенсивно метаморфизованы до магнетитов. Состав их в целом однороден для всех разновидностей пород, однако в магнетитах дунитов первой фазы отмечается повышение хромистости. В отдельных точках отмечаются примеси никеля и серы, что связано с замещением магнетитом сульфидов железа. Хромшпинелиды пород кингашского комплекса в Кингашском рудном районе существенно более хромистые, менее железистые и отличаются широкими вариациями состава, что связано с меньшей степенью метаморфизованности. Хромшпинелиды в породах идарского комплекса Кулибинской площади в сравнении с Кингашским рудным районом также обнаруживают существенно более высокую железистость, однако, в отличие от магнетитов кингашского комплекса, их состав значимо варьирует в разных массивах. Это связано как с отличием исходного состава минералов, так и со степенью метаморфизованности пород идарского комплекса на Кулибинской площади.

Наиболее достоверным критерием для определения формационной принадлежности ультрамафитов оказался состав оливина. Как на изучаемой площади, так и в эталонном Кингашском рудном районе, оливины из пород кингашского комплекса существенно отличаются от оливинов идарского на обеих территориях и образуют на диаграммах самостоятельные непересекающиеся поля распространения фигуративных точек. При этом закономерное изменение химического состава оливина в изучаемых ультрамафитах кингашского комплекса отражает дифференциацию исходного высокомагнезиального пикритового расплава с последовательным образованием соответствующего ряда пород: дуниты → верлиты → пикриты. В ультрамафитах идарского комплекса различия в составах минералов связаны с неравномерной степенью деплетирования мантийного вещества и последующим их метаморфизмом.

4. Для зеленокаменных поясов Канской глыбы нами впервые предложены петрографический и петрохимический критерии разделения ультрамафитов на два генетически различных комплекса: кингашский магматический дунит-верлит-пикритовый и идарский реститовый дунит-гарцбургитовый. Наибольший интерес представляют потенциально рудоносные ультрамафиты кингашского комплекса с медно-никелевой сульфидной минерализацией. Тогда как в реститовых ультрамафитах количество никеля является отображением его содержания в породообразующих оливинах и практической ценности не представляет. Однако, в свою очередь, ультрамафиты кингашского комплекса имеют очень пестрый петрографический состав, отражающий различную степень кристаллизационной дифференциации исходного высокомагнезиального пикритового магматического расплава. Наиболее благоприятными для оруденения являются куммулятивные дуниты, которые представляют собой наиболее ранние дифференциаты и с которыми связано Кингашское месторождение никеля, меди и благородных металлов. Верлиты и пикриты, очевидно, менее благоприятны для оруденения, так как основная масса рудных компонентов, очевидно, была сосредоточена в более магнезиальном расплаве, насыщенном куммулятивными зернами оливина. Последующие метаморфогенные преобразования ультрамафитов способствовали разубожеванию, перераспределению и сегрегации ценных компонентов, как это было показано для ультрамафитов Кингашского массива [33].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Naldrett A.J. Magmatic Sulfide Deposits. – New York: Oxford University Press, 1989. – 196 p.
2. Barrie C.T., Naldrett A.J. The geology and tectonic setting of the Montcalm Gabbroic Complex and Ni-Cu deposit, Western Abitibi Subprovince. Ontario, Canada // Proc. of the 5th Magmatic Sulfides Conference. – Harare, Zimbabwe, Special Publication Institution of Mining and Metallurgy, 1988. – P. 151–164.
3. Gresham J.J., Loftus-Hills G.D. The Geology of the Kambalda Nickel Field, Western Australia // Economic Geology. – 1981. – V. 76. – P. 1373–1416.
4. Naldrett A.J., Turner A.R. The geology and petrogenesis of a greenstone belt and related nickel sulfide mineralization at Yakabindi // Western Australia: Precambrian Research. – 1977. – V. 5. – P. 43–103.
5. Кислов. Е.В. Северо-байкальская платинометалло-медь-никеленосная провинция // Геология, геофизика и минеральное

- сырье Сибири: материалы 1-й науч.-практ. конф. Т. 1. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2014. – С. 56–61.
6. Канский зеленокаменный пояс и его металлогения (Восточный Саян) / Т.Я. Корнев, А.Г. Еханин, А.П. Романов, В.Н. Князев, С.К. Шарифулин. – Красноярск: КНИИГиМС, 2003. – 134 с.
 7. Глазунов О.М., Богнибов В.И., Еханин А.Г. Кингашское платино-медно-никелевое месторождение. – Иркутск: Изд-во ИГТУ, 2003. – С. 56–61.
 8. Геология и перспективы сульфидного Pt-Cu-Ni оруденения восточной части Алтае-Саянской складчатой области / С.С. Сердюк и др. – Красноярск: Изд-во «Город», 2010. – 184 с.
 9. Chernyshov A.I., Nozhkin A.D., Mishenina M.A. Petrogeochemical Typification of the Ultramafic Rocks from the Idar Greenstone Belt, Kan Block, East Sayan // *Geochemistry International*. – 2010. – V. 48. – № 2. – P. 118–139.
 10. Юричев А.Н. Мафит-ультрамафитовый магматизм Канской глыбы и его рудный потенциал, Северо-Запад Восточного Саяна // *Руды и металлы*. – 2013. – № 3. – С. 11–20.
 11. Корнев Т.Я., Еханин А.Г. Эталон Кингашского базальт-коматитового комплекса (Восточный Саян). – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1997. – 89 с.
 12. Состав, строение и условия формирования метасадочно-вулканогенных комплексов Канского зеленокаменного пояса (Северо-Западное Присаянье) / А.Д. Ножкин, О.М. Туркина, Е.В. Бибикина, В.А. Пономарчук // *Геология и геофизика*. – 2001. – Т. 42. – № 7. – С. 1058–1078.
 13. Karato S-I. The Dynamic structure of the deep Earth. – Princeton: Princeton University Press, 2003. – 256 p.
 14. Wenk H-R. Preferred Orientation in Deformed Metals and Rocks: an Introduction to Modern Texture Analysis. – Orlando, FL: Academic, 1985. – 610 p.
 15. Nicolas A., Poirier J.P. Crystalline plasticity and solid state flow in metamorphic rocks. – New York: Wiley-Interscience, 1976. – 444 p.
 16. Трегер В.Е. Оптическое определение породообразующих минералов. – М.: Недра, 1968. – 198 с.
 17. Павлов Н.В. Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов // *Тр. ИГН АН СССР. Сер. рудн. месторождения*. – 1949. – Вып. 103. – 87 с.
 18. Кичеева А.В., Чернышов А.И. Особенности минералогического состава ультрамафитов и хромититов Эргакского массива (северо-восточная часть Западного Саяна) // *Металлогения древних и современных океанов–2015. Месторождения океанических структур: геология, минералогия, геохимия и условия образования*. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2015. – № 21. – С. 86–89
 19. Genesis of ultramafic rocks of the Alkhadyr terrane (East Sayan, Siberia): Implications from the data on Cr-spinel compositions / Y. Bedyuk, A.S. Mekhonoshin, T.B. Kolotilina, A.A. Doroshkov, V.A. Simonov, S.I. Stupakov // *Russian Geology and Geophysics*. – 2015. – T. 56. – № 9. – P. 1308–1321.
 20. Barnes S.J., Kunilov V.Y. Spinels and Mg-ilmenites from the Noril'sk 1 and Talmakh intrusions and other mafic rocks of the Siberian flood basalt province // *Economic Geology*. – 2000. – V. 95. – P. 1701–1717.
 21. Акцессорные хромшпинелиды из мезозойских коматитов Фенноскандинавского щита / З.П. Рыбникова, С.А. Светов, А.Б. Вревский, Е.А. Климовская, С.Ю. Чаженгина // *Литосфера*. – 2014. – № 6. – С. 22–44.
 22. Савельев Д.Е. Вариации состава акцессорных и рудообразующих хромшпинелидов массивов Крака (Южный Урал) и их генетическое значение // *Металлогения древних и современных океанов–2016. Месторождения океанических структур: геология, минералогия, геохимия и условия образования*. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2016. – № 22. – С. 58–62.
 23. Юричев А.Н. Минералогические особенности офиолитовых ультрабазитов как критерии оценки их потенциальной // *Металлогения древних и современных океанов–2016. Месторождения океанических структур: геология, минералогия, геохимия и условия образования*. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2016. – № 22. – С. 70–74.
 24. Savelieva G.N., Batanova V.G., Sobolev A.V. Pyroxene-Cr-spinel exsolution in mantle lherzolites of the Syum-Keu ophiolite massif (Arctic Urals) // *Russian Geology and Geophysics*. – 2016. – № 57. – P. 1419–1436.
 25. Малахов И.А. Петрохимия ультрабазитов Урала. – Свердловск: Изд-во ИГиГ УФАИ СССР, 1966. – 234 с.
 26. Nomenclature of pyroxenes / N. Morimoto, J. Fabries, A.K. Ferguson et al. // *American Mineralogist*. – 1988. – V. 73. – P. 1123–1133.
 27. Коматиты и высокомагнезиальные вулканы раннего докембрия Балтийского щита / отв. ред. О.А. Богатиков. – Л.: Наука, 1988. – 192 с.
 28. Полезные ископаемые Австралии и Папуа-Новой Гвинеи / под ред. К. Найта. Т. 1. – М.: Мир, 1980. – 658 с.
 29. Condie K.C. Archaean greenstone belts. – Amsterdam: Elsevier, 1981. – 434 p.
 30. Добрецов Н.Л. Модель покровной тектоники Восточного Саяна // *Геотектоника*. – 1985. – № 1. – С. 39–50.
 31. Coleman R.G. Ophiolites: Ancient Oceanic Lithosphere? – Berlin: Springer Verlag, 1977. – 229 p.
 32. Nicolas A. Structures of Ophiolites and Dynamics of Oceanic Lithospheres. – Kluwer: Academic Press, 1989. – 367 p.
 33. 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 // *Платина России. Проблемы развития, оценки, воспроизводства и комплексного использования минерально-сырьевой базы платиновых металлов. Сб. научн. Трудов*. – 2004. – Т. V. – С. 152–175.

Поступила 15.11.2016 г.

Информация об авторах

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

Бабинцев Н.А., старший геолог лаборатории геохимических методов Красноярского научно-исследовательского института геологии и минерального сырья.

Ворошилов В.Г., доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии и разведки полезных ископаемых Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC 552.321.6

PETROCRAFICAL AND MINERALOGICAL FEATURES OF ULTRAMAFITS FROM KIRELSK FRAGMENT OF KANSK GREENSTONE BELT (NW OF THE EAST SAYAN)

Aleksey I. Chernyshov¹,

aich@ggf.tsu.ru

Nikita A. Babintsev²,

mas9915@mail.ru

Valery G. Voroshilov³,

v_g_v@tpu.ru

¹ National Research Tomsk State University,
36, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

² Krasnoyarsk Research Institute of Geology and Mineral Resources,
55, Mira Avenue, Krasnoyarsk, 66049, Russia.

³ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

Ultramafits of the studied territory are perspective on detection of Cu-Ni with platinum-group elements deposits that causes the relevance of their research.

The main aim of the study. Petrologic researches were directed to establishing the formational accessory of ultramafits of Kulibinskaya area, extraction of the main petrographic varieties and identification of potentially ore-bearing types of rocks.

The methods used in the study. Detailed petrographic studying of ultramafits realized on a polarisation microscope «AxioScop 40» (Carl Zeiss) that allowed revealing their main varieties and determining their formational accessory by structural features. Composition of minerals and rocks was generally studied in the Center of collective use «Analytical center of a geochemistry of natural systems» at Tomsk State University. Chemical composition of rock-forming minerals was estimated on the electronic scanning microscope «Tescan Vega II LMU» equipped with the energy-dispersion spectrometer INCA Energy 350 and the wave-dispersion spectrometer INCA Wave 700. Contents of rare and rare-earth elements were defined by the ICP-MS method on a spectrometer of the Agilent 7500 series. Bulk chemical composition was defined by the quantitative chemical analysis in the laboratory of the «Minusinsk GRE» (Minusinsk).

The results. It was ascertained that ultramafits in the explored territory are divided into two formational types and united in two complexes: kingashsk magmatic dunite-verlite-picritic and idarsk restite dunite-harzburgitic. The ultramafits of a kingashsk complex composing bodies of the subvolcanic facies are the subject of the greatest practical interest. They are presented by dunites, verlites, their serpentinised varieties and picrites with various structures, which are derivants of primary high-magnesian picritic magma. Cumulative or porphyryc structures are typical for them. They form a persistent trend of a variation of chemical composition of minerals, which reflects serial magmatic differentiation of an initial high-magnesian picritic melt. It is established that ore components stand apart, mainly, in the interstices, or in a groundmass. Cumulative dunites and their serpentinised varieties which form ore-bearing Kingashsk massif are optimum for Cu-Ni-PGE mineralization. The subsequent more differentiated varieties are depleted by valuable components. Restite ultramafits are presented by the rocks of dunite-gartsburgitic association with the reference metamorphic granoblastic structures. They differ in more homogeneous high-magnesian chemical composition of minerals caused by intensive depletion of initial mantle substratum.

Key words:

Petrology, magmatic and restite ultramafits, dunite, harzburgite, verlite, picrite, olivine, pyroxenes, chrome-spinel.

REFERENCES

- Naldrett A.J. *Magmatic Sulfide Deposits*. New York, Oxford University Press, 1989. 196 p.
- Barrie C.T., Naldrett A.J. The geology and tectonic setting of the Montcalm Gabbroic Complex and Ni-Cu deposit, Western Abitibi Subprovince. Ontario, Canada. *Proc. of the 5th Magmatic Sulfides Conference*. Harare, Zimbabwe, Special Publication Institution of Mining and Metallurgy, 1988. pp. 151–164.
- Gresham J.J., Loftus-Hills G.D. The Geology of the Kambalda Nickel Field, Western Australia. *Economic Geology*, 1981, vol. 76, pp. 1373–1416.
- Naldrett A.J., Turner A.R. The geology and petrogenesis of a greenstone belt and related nickel sulfide mineralization at Yakabindi. *Western Australia: Precambrian Research*, 1977, vol. 5, pp. 43–103.
- Kislov E.V. Severo-Baykalskaya platinometalno-med-nikelenosnaya provintsiya [North-Baikalsk Pt-Cu-nickeliferous province]. *Geologiya, geofizika i mineralnoe syre Sibiri: materialy pervoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Geology, geophysics and mineral resources of Siberia: proc. 1st scientific conference]. Novosibirsk, SNIIGiMS Press, 2014. Vol. 1, pp. 56–61.
- 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 Press, 2003. 134 p.
- Glazunov O.M., Bognibov V.I., Ekhanin A.G. *Kingashskoe platinomedno-nikelevoe mestorozhdenie* [Kingash Pt-Cu-Ni deposit]. Irkutsk, IGTU Press, 2003. 190 p.
- Serdyuk S.S. *Geologiya i perspektivy sulfidnogo Pt-Cu-Ni orudeniya vostochnoy chasti Altae-Sayanskoy skladchatoy oblasti* [Geology and perspectives of sulfidic Pt-Cu-Ni mineralization in eastern part of Altay-Sayan folding system]. Krasnoyarsk, Gorod Publ., 2010. 184 p.
- Chernyshov A.I., Nozhkin A.D., Mishenina M.A. Petrogeochemical Typification of the Ultramafic Rocks from the Idar Greenstone Belt, Kan Block, East Sayan. *Geochemistry International*, 2010, vol. 48, no. 2, pp. 118–139.

10. Yurichev A.N. Mafic-ultramafic magmatism of the Kansk block and its ore potential, northwest of Eastern Sayan. *Rudy i metally*, 2013, no. 3, pp. 11–20. In Rus.
11. Kornev T.Ya., Ekhanin A.G. *Etalon Kingashskogo basalt-komatiitovogo kompleksa (Vostochniy Sayan)* [Standard of Kingash basalt-comatiitic complex (East Sayan)]. Novosibirsk, SNIIGiMS Press, 1997. 89 p.
12. Nozhkin A.D., Turkina O.M., Bibikova E.V., Ponomarchuk V.A. *Sostav, stroenie i usloviya formirovaniya metaosadochno-vulkanogennykh kompleksov Kanskogo zelenokamennogo poyasa (Severo-Zapadnoe Prisyayane)* [Constitution, structure and conditions of forming metasedimentary-volcanic complexes of Kansk greenstone belt (North-West Sayan)]. *Geologiya i geofizika*, 2001, no. 7, pp. 1058–1078.
13. Karato S-I. *The Dynamic structure of the deep Earth*. Princeton, Princeton University Press, 2003. 256 p.
14. Wenk H-R. *Preferred Orientation in Deformed Metals and Rocks: an Introduction to Modern Texture Analysis*. Orlando, FL, Academic, 1985. 610 p.
15. Nicolas A., Poirier J.P. *Crystalline plasticity and solid state flow in metamorphic rocks*. New York, Wiley-Interscience, 1976. 444 p.
16. Treger V.E. *Opticheskoe opredelenie porodoobrazuyushchikh mineralov* [Optical diagnostics of rock-forming minerals]. Moscow, Nedra Publ., 1986. 198 p.
17. Pavlov N.V. *Khimicheskii sostav khromshpinelidov v svyazi s petrograficheskim sostavom porod ultrasnovnykh intruzivov* [Chemical composition of chrome-spinels in connection with petrographical composition of rocks in ultramafic intrusions]. Trudy IGN AN SSSR [Proc. IGN USSR AC]. Moscow, USSR AS Publ., 1949. Iss. 10, no. 13, 87 p.
18. Kicheeva A.V., Chernyshov A.I. Osobennosti mineralogicheskogo sostava ultramafitov i khromititov Ergakskogo massiva (severovostochnaya chast Zapadnogo Sayana) [Features of mineralogical composition of ultramafits and chromitites from Ergaksk massif (north-east part of West Sayan)]. *Metallogeniya drevnikh i sovremnykh okeanov–2015. Mestorozhdeniya okeanicheskikh struktur: geologiya, mineralogiya, geokhimiya i usloviya obrazovaniya*. Miass, IMin UB RAS, 2015. No. 21, pp. 86–89.
19. Bedyuk Y., Mekhonoshin A.S., Kolotilina T.B., Doroshkov A.A., Simonov V.A., Stupakov S.I. Genesis of ultramafic rocks of the Alkhadyr terrane (East Sayan, Siberia): Implications from the data on Cr-spinel compositions. *Russian Geology and Geophysics*, 2015, vol. 56, no. 9, pp. 1308–1321.
20. Barnes S.J., Kunilov V.Y. Spinels and Mg-ilmenites from the Noril'sk 1 and Talnakh intrusions and other mafic rocks of the Siberian flood basalt province. *Economic Geology*, 2000, vol. 95, pp. 1701–1717.
21. Rybnikova Z.P., Svetov S.A., Vrevskiy A.B., Klimovskaya E.A., Chazhengina S.Yu. Accessory chrome spinels in mesoarchean komatiites of the Fennoscandian shield. *Litosfera*, 2014, no. 6, pp. 22–44. In Rus.
22. Savelev D.E. Variatsii sostava aktsessornykh i rudoobrazuyushchikh khromshpinelidov massivov Kraka (Yuzhny Ural) [Composition variations of accessory and ore chrome spinels from massifs of Kraka (South Urals)]. *Metallogeny of ancient and modern oceans–2016. From mineral genesis to deposits. Proc. of the XXII Scientific Youth School*. Miass, IMin UB RAS, 2016. No. 22, pp. 58–62.
23. Yurichev A.N. Mineralogicheskie osobennosti ofiolitovykh ultrabazitov kak kriterii ikh potentsyalnoy rudosnosti [Mineralogical specifics of ofiolitic ultramafits as criterion of their ore-potentiality]. *Metallogeny of ancient and modern oceans–2016. From mineral genesis to deposits. Proc. of the XXII Scientific Youth School*. Miass, IMin UB RAS, 2016. No. 22, pp. 70–74.
24. Savelieva G.N., Batanova V.G., Sobolev A.V. Pyroxene-Cr-spinel exsolution in mantle lherzolites of the Syum-Keu ophiolite massif (Arctic Urals). *Russian Geology and Geophysics*, 2016, no. 57, pp. 1419–1436.
25. Malakhov I.A. *Petrokhimiya ultrabazitov Urala* [Petrochemistry of Ural's ultramafits]. Sverdlovsk, IGI UFAN SSSR Press, 1966. 234 p.
26. Morimoto N., Fabries J., Ferguson A.K. Nomenclature of pyroxenes. *American Mineralogist*, 1988, vol. 73, pp. 1123–1133.
27. *Komatiity i vysokimagnezialnye vulkanity rannego dokembriya Baltiyskogo shchita* [Before-cambrian komatiites and high-magnesian volcanites of Baltic shield]. Ed. by O.A. Bogatkov. Leningrad, Nauka Publ., 1988. 192 p.
28. *Poleznye iskopaemye Avstralii i Papua-Novoy Gvinei* [Mineral resources of Australia and Papua New Guinea]. Ed. by K. Nait. Moscow, Mir Publ., 1980. 658 p.
29. Condie K.C. *Archaean greenstone belts*. Amsterdam, Elsevier, 1981. 434 p.
30. Dobretsov N.L. Model pokrovnoy tektoniki Vostochnogo Sayana [Model of cover-tectonics of East Sayan]. *Geotectonics*, 1985, no. 1, pp. 39–50.
31. Coleman R.G. *Ophiolites: Ancient Oceanic Lithosphere?* Berlin, Springer Verlag, 1977. 229 p.
32. Nicolas A. *Structures of Ophiolites and Dynamics of Oceanic Lithospheres*. Kluwer, Academic Press, 1989. 367 p.
33. Chernyshov A.I., Nozhkin A.D., Stupakov S.I., Balykin P.A., Kuzovatov N.I., Reznilov I.G., Tretyakov N.A., Prokhorova V.A. Kingashskiy mafit-ultramafitovy massiv: geologicheskoe polozhenie, vnutrennee stroenie, veshchestvenny sostav i petrostrukturny analiz metamorfitev (Vostochnyy Sayan) [Kingash mafit-ultramafic massif: geological position, internal structure, composition and petrostructural analytics of ultramafits (East Sayan)]. *Platina Rossii. Problemy razvitiya, otsenki, vosproizvodstva i kompleksnogo ispolzovaniya mineralno-syrevooy bazy platinovykh metallov* [Platinum in Russia. Problems of development, assesment, reproduction and complex use of mineral base of platinum metals]. Moscow, Geoinformmark Publ, 2004. pp. 152–175.

Received: 15 November 2016.

Information about the authors

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

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

Valery G. Voroshilov, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.