

## СИН- И ЭПИГЕНЕТИЧЕСКАЯ НИКЕЛЕВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В ПЛУТОНИЧЕСКИХ МАФИТ-УЛЬТРАМАФИТОВЫХ ФОРМАЦИЯХ КАМЧАТКИ

© 2019 Р.М. Новаков

*Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН, 683002,  
Петропавловск-Камчатский, Россия; e-mail: bromb@mail.ru*

Рассмотрены известные объекты сульфидной медно-никелевой рудной формации Камчатки, а также другие рудопоявления и пункты минерализации никеля в связи с их принадлежностью к определенным магматическим формациям. Прослежены эмпирические закономерности распределения фоновых содержаний никеля, кобальта, меди и серы в безрудных разностях пород мафит-ультрамафитовых формаций региона и их взаимосвязь с рудной минерализацией различного генезиса, дано объяснение полученных закономерностей.

Рудоносность интрузий кортландит-норитовой формации Камчатки обусловлена концентрацией никеля в сульфидах на магматическом этапе. Формирование рудопоявлений никеля в связи с гипербазитами дунит-гарцбургит-габбровой формации в основном определяется эпигенетическими процессами. Выявление промышленной никеленосности может быть связано с медноколчеданными рудами в блоках гипербазитов дунит-гарцбургит-габбровой формации из зон серпентинитового меланжа Восточной Камчатки. В данном случае никель и кобальт следует рассматривать только в качестве попутных компонентов при переработке медных, цинково-медных руд.

*Ключевые слова: Камчатка, формации, никель, медь, кобальт, содержания, перспективы.*

### ВВЕДЕНИЕ

Основой минерально-сырьевой базы никеля в Камчатском крае являются богатые сульфидные кобальт-медно-никелевые руды разрабатываемого Шанучского месторождения, которое вместе с рядом других рудопоявлений Центральной Камчатки связано с интрузиями кортландит-норитовой формации, или формации роговообманковых базитов (Зимин, 1973). Вместе с тем, в регионе известны и другие плутонические мафит-ультрамафитовые формации, с массивами которых нередко ассоциируют вулканы основного и ультраосновного состава: дунит-гарцбургит-габбровая и дунит-клинопироксенит-габбровая (Геологический ..., 2010). Ультраосновные и основные породы всех этих образований обладают относительно высокими (более 0.35) кларками концентрации Ni, им также сопутствуют проявления и пункты никелевой минерализации. При наличии в Камчатском крае предприятия, специализированного на добыче кобальт-медно-никелевых руд, для воспроизводства минерально-сырьевой базы

никеля актуальны рассмотрение и оценка всех его возможных источников, в том числе и не связанных с интрузиями кортландит-норитовой формации. В этом аспекте проведено обобщение данных по геологии, геохимии и минералогии объектов различной формационной принадлежности Камчатки, в связи с которыми известны рудопоявления и пункты минерализации никеля, выполнен их сравнительный анализ, прослежены и проинтерпретированы выявленные эмпирические закономерности.

### КРАТКИЙ ОБЗОР МАФИТ-УЛЬТРАМАФИТОВЫХ ФОРМАЦИЙ КАМЧАТКИ И СВЯЗАННЫХ С НИМИ ОБЪЕКТОВ С СУЛЬФИДНОЙ НИКЕЛЕВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИЕЙ

*Образования кортландит-норитовой формации* распространены в пределах Камчатского срединного массива (КСМ) метаморфических пород (рисунки). Интрузии сложены гранат-содержащими диоритами, диоритами, норитами, габброноритами, ортопироксенитами,

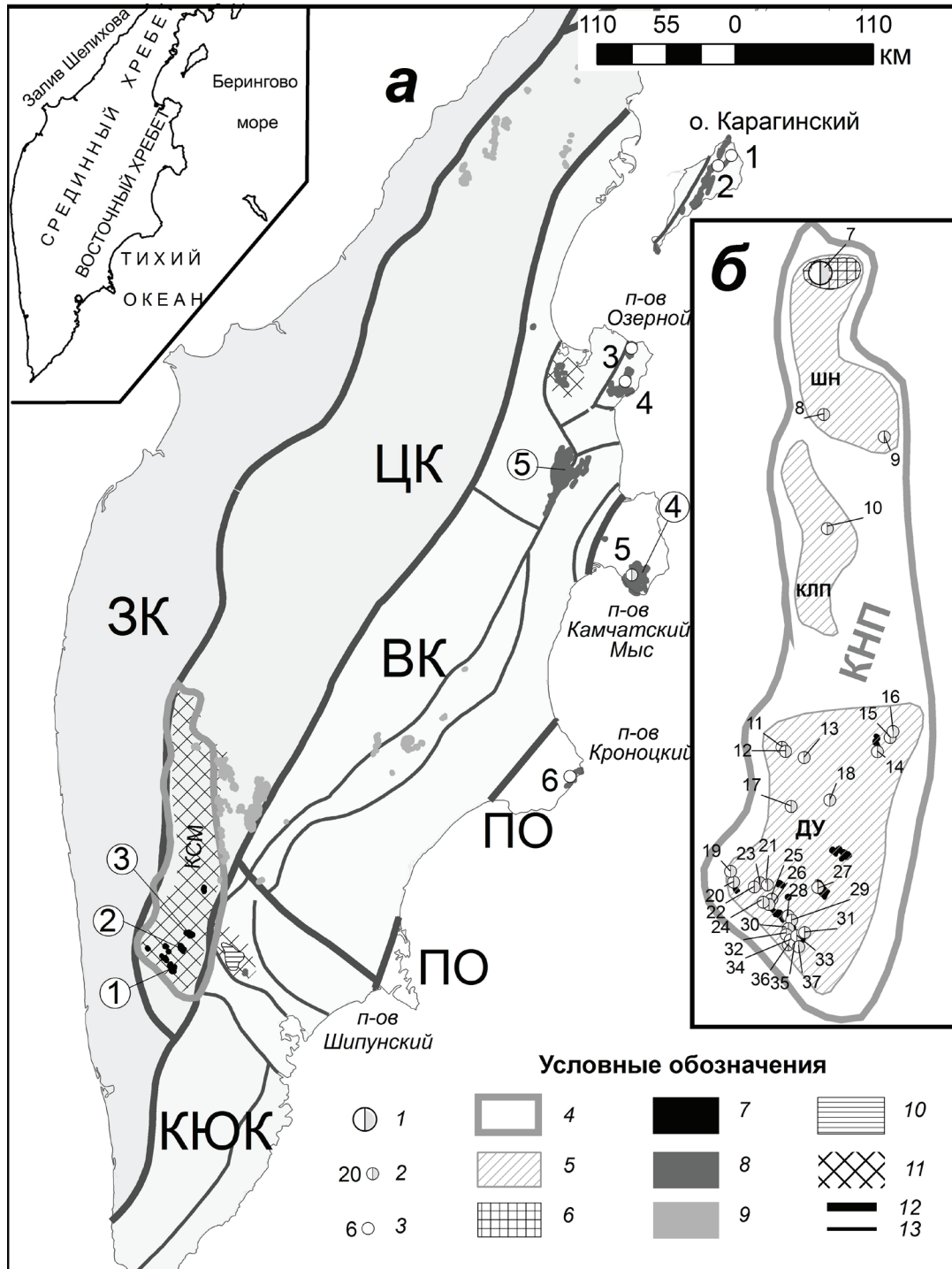
горнблендитами и кортландитами, которые образуют как крупные массивы (до 30 км<sup>2</sup>) — Кувалорогский, Дукукский, Пеницкий, так и мелкие пластообразные и штокообразные тела мощностью в десятки — сотни метров (Полетаев, 2004). В интрузиях проявлена дифференциация, в результате которой их нижняя часть образована породами преимущественно ультраосновного и основного, верхняя — основного и среднего составов. Иногда наблюдается ритмичная расслоенность. Приконтактные части крупных интрузивных тел образованы лейкократовыми норитами и диоритами с гранатом. Вмещающими являются апотерригенные кристаллические сланцы и гнейсы, в результате ассимиляции которых породы из тел кортландит-норитовой формации содержат графит. В экзоконтакте интрузий и в ксенолитах вмещающие сланцы превращены в роговики. Отмечаются гранатиты с графитом (Конников и др., 2009; Сляднев и др., 2007). Возраст образований кортландит-норитовой формации на картах 1:1 000 000 третьего поколения принят позднемеловым (Сляднев и др., 2007).

С интрузиями кортландит-норитовой формации связаны массивные, брекчиевые, прожилково-вкрапленные и вкрапленные руды. Встречаются как син- так и эпигенетические разности. Практически все исследователи подчеркивают исходно магматогенный генезис рудной минерализации (Додин и др., 2000; Евстигнеева и др., 1988; Полетаев, 1999, 2004; Селянгин, 2006; Сляднев и др., 2007; Тарарин и др., 2015; Трухин и др., 2008). Главные рудные минералы сингенетических руд — пирротин, пентландит и халькопирит. Эпигенетические преобразования, обусловленные региональным метаморфизмом, влиянием пострудного гранитоидного магматизма и высокотемпературными гидротермальными процессами не приводят к существенным изменениям в составе рудной минеральной ассоциации. Руды явно эпигенетического происхождения, сложенные виоларитом, никелистым пиритом, халькопиритом, связаны с поздними гидротермальными процессами преимущественно вдоль зон разрывных нарушений. Оценки средних содержаний Ni в отдельных объектах для разных типов руд варьируют от 2 до 5.41 масс. %, Cu — от 0.48 до 1.08 масс. %, Co — от 0.06 до 0.13 масс. % (Новиков и др., 2014; Степанов и др., 2010), отношения Ni к Cu — от 3.4 до 6.4.

Шанучское месторождение и перспективные проявления богатых сульфидных кобальт-медно-никелевых руд расположены в пределах Камчатской никеленосной провинции (КНП, рисунок), которая охватывает выступ метаморфических образований Срединного

хребта. Никеленосность этой территории с восьмидесятых годов прошлого века отмечается авторами прогнозно-металлогенических построений (Байков и др., 1988; Евстигнеева и др., 1988; Игнатъев и др., 1988; Полетаев, 1999, 2004; Сляднев и др., 2007; Трухин и др., 2008, 2011). Объекты сульфидного медно-никелевого геолого-промышленного типа в основном сосредоточены в двух прогнозируемых рудных районах — Шанучском и Дукукском (рисунок). На Шанучском рудном поле расположены рудные тела месторождения Шануч (в том числе на участке Восточно-Геофизическом) и ряд рудопроявлений преимущественно с убого-вкрапленной минерализацией (Трухин и др., 2011). По запасам Шанучское месторождение относится к средним с богатыми рудами. 26 медно-никелевых проявлений и пунктов минерализации сосредоточено в Дукукском рудном районе (рисунок). Ряд авторов (Трухин и др., 2008; Сидоров, 2015; Сидоров, Кунгурова, 2017) предполагают Колпаковский рудный район (рисунок). Здесь в пределах региональной зоны горизонтальных градиентов силы тяжести установлены локальные гравиметрические максимумы (в редукции Буге) при отсутствии сопряженных с ними контрастных положительных магнитных аномалий  $\Delta T_a$ . Такие локальные максимумы  $\Delta g$  характерны для массивов никеленосной кортландит-норитовой формации, залегающих на небольших глубинах (Сидоров, 2015; Сидоров, Кунгурова, 2017). В выделенном районе известны пункты с сульфидной никелевой минерализацией, а также потоки и ореолы рассеяния Ni и Co (Сидоров, 2015). В целом, прогнозные ресурсы Камчатской никеленосной провинции составляют >1 млн. т никеля (Полетаев, 2004; Трухин, Степанов, 2008).

**Дунит-гарцбургит-габбровая формация** представлена массивами в пределах Восточно-Камчатской и Приокеанской структурно-формационных зон (СФЗ, рисунок). Сульфидная и самородная никелевая минерализация связаны с массивами гипербазитов. Отмечаются как очень крупные тела площадью ~500 км<sup>2</sup> (Кротонский гипербазитовый массив) и 50 км<sup>2</sup> (массив гипербазитов горы Солдатской), так и мелкие блоки в зонах серпентинитовых меланжей. Все они сложены преимущественно дунитами и гарцбургитами, в различной степени серпентинизированными. Встречаются пироксениты, вебстериты и рудные хромититы. Границы с вмещающими тектонические, часто сопровождаются мощными зонами серпентинитового меланжа. На геологических картах 1:1 000 000 третьего поколения возраст массивов дунит-гарцбургит-габбровой формации принят раннепозднемеловым (Сляднев и др., 2007).



Расположение массивов мафит-ультрамафитовых формаций Камчатки, проявлений и пунктов сульфидной никелевой минерализации (а) и Камчатская никеленосная провинция, увеличенный фрагмент (б). Составлено по (Карта ..., 1999; Новаков, 2018; Сляднев и др., 2013; Трухин и др. 2008) с изменениями: 1 — медно-никелевое месторождение Шануч; 2, 3 — рудопроявления и пункты минерализации, их номера (2 — медно-никелевые, 3 — медные с никелем); 4 — Камчатская никеленосная провинция (КНП), контур по (Трухин, Степанов, 2008); 5 — рудные районы: Шанучский (ШН), прогнозируемые Колпаковский (КЛП) и Дуковский (ДУ); 6 — Шанучское рудное поле; 7–9 — массивы плутонических формаций, (7 — -кортландит-норитовой, 8 — дунит-гарцбургит-габбровой, 9 — дунит-клинопироксенит-габбровой и сиенит-габбровой); 10 — интрузии юрчикского габброноритового комплекса; 11 — блоки метаморфических пород (КСМ — Камчатский срединный массив); 12 — тектонические границы структурно-формационных зон на схеме а (ЗК — Западно-Камчатская, ЦК — Центрально-Камчатская, КЮК — Курило-Южно-Камчатская, ВК — Восточно-Камчатская, ПО — Приокеанская); 13 — тектонические границы разнородных блоков. Номера рудопроявлений (РП) и пунктов минерализации (ПМ) на схемах а и б: 1 — Монолитное (РП), 2 — Маркеловское (РП), 3 — Рыцарь (РП), 4 — Гребень (РП), 5 — Горы Голой (ПМ), 6 — Большая-Буй

Магматогенная сульфидная никелевая минерализация в образованиях дунит-гарцбургит-габбровой формации распространена ограниченно. Известен один пункт с сингенетической самородно-сульфидной медно-никелевой минерализацией в оливиновых вебстеритах из массива горы Солдатской на п-ове Камчатский Мыс (п-ове Камчатский). Главными рудными минералами являются пентландит, медно-никелевые сульфиды и самородная медь. Отмечаются минералы платиноидов. Содержание Ni составляет 0.64 масс. %, Cu — 0.14 масс. %, Co — 0.012 масс. % (Бояринова и др., 2007; Новаков и др., 2015, 2016).

Для Восточной Камчатки характерны проявления медных с никелем и кобальтом руд, обусловленные гидротермальными, гидротермально-метасоматическими преобразованиями гипербазитов.

В массивах дунит-гарцбургит-габбровой формации широко распространена эпигенетическая аваруитовая минерализация в серпентинитах. Рудопоявление, по-видимому, гидротермального происхождения, известно на п-ове Кроноцком в междуречье Большая-Буй и связано с контактом массивов гипербазитов и

габбро дунит-гарцбургит-габбровой формации (Карта ..., 1999).

На о. Карагинском и на п-ове Озерном содержащие Ni и Co медноколчеданные проявления (рисунок) приурочены к блокам гипербазитов в зонах серпентинитового меланжа. По данным геолого-съёмочных и поисковых работ сульфидные руды представлены прожилково-вкрапленными и массивными разностями (Мельникова, 1987; Сляднев и др., 2013). Концентрации меди варьируют от десятых долей до целых процентов (редко — более 10 масс. %). Содержания Ni в основном составляют до десятых долей процента, Co — сотые доли процента, цинка от десятых долей до целых процентов, золота и платиноидов — от десятых до первых граммов на тонну, серебра — от первых до сотен граммов на тонну. Отношение Ni к Cu низкое, около 0.1 (Новаков, Сидоров, 2016). По данным поисково-разведочных работ, рудные минералы представлены халькопиритом, пирротинном, магнетитом, пентландитом, пиритом, сфалеритом. Ю.В. Назимовой (1992) в проявлениях Маркеловское и Монолитное диагностированы халькопирит, пирит, кубанит, сфалерит, магнетит, бравоит, виоларит, макинавит, электрум.

←  
(РП), 7 — Шануч (М), 8 — Водораздел руч. Малахитовый и Меридиональный (ПМ), 9 — Крутогорова (ПМ), 10 — Колпакова (ПМ), 11 — Нижний (ПМ), 12 — Иргус (ПМ), 13 — Перевальный (ПМ), 14 — Правый Кагнисин (ПМ), 15 — Левый Кагнисин (ПМ), 16 — Утудумец (ПМ), 17 — Сунтунк (ПМ), 18 — Пымта (ПМ), 19 — Тундровое (РП), 20 — Река Мокушка (ПМ), 21 — Квинум I и Квинум II (РП), 22 — Гольцовый (ПМ), 23 — Лагерная (ПМ), 24 — Пуконка (ПМ), 25 — Ясное (РП), 26 — Кортландитовое (РП), 27 — Дукукское (РП), 28 — Северное (РП), 29 — Обвальный (ПМ), 30 — Аннабергитовая Щель (РП), 31 — Кувалорог (РП), 32 — Снежное (РП), 33 — Цирковое (ПМ), 34 — Нижнемедвежье (РП), 35 — Медвежье (ПМ), 36 — Олень (РП), 37 — Рассоха (РП), 38 — Река Правый Дукук (ПМ). Цифры в кружках — наиболее крупные массивы разных формаций. Кортландит-норитовая: Кувалорогский (1), Дукукский (2), Пеницкий (3). Дунит гарцбургит-габбровая: массив горы Солдатской (4), Кроноцкий (5).

The location of massifs of the Kamchatka mafic-ultramafic formations, ore occurrences and points of the sulfide nickel mineralization (a) and Kamchatka nickel-bearing province, enlarged fragment (b). Compiled by (Map ..., 1999; Novakov, 2018; Slyadnev et al., 2013; Trukhin et al., 2008) with changes: 1 — Shanuch copper-nickel deposit; 2, 3 — ore occurrences and mineralization points, their numbers (2 — copper-nickel, 3 — copper with nickel); 4 — the Kamchatka nickel-bearing province (КНП), outlined by (Trukhin, Stepanov, 2008); 5 — ore areas: Shanuch (ШН), pre-dicted Kolpakov (КЛП) and Dukuk (ДУ); 6 — Shanuch ore field; 7–9 — massifs of plutonic formations, (7 — kortlandite-norite, 8 — dunite-harzburgite-gabbro, 9 — dunite-clinopyroxenite-gabbro and syenite-gabbro); 10 — intrusions of the Yurchik gabbro-norite complex; 11 — blocks of metamorphic rocks (КСМ — the Kamchatka median massif); 12 — tectonic boundaries of structural-formation zones in scheme a (ЗК — Zapadno-Kamchatskaya, ЦК — Central Kamchatka, КЮК — Kurilo-Yuzhno-Kamchatskaya, ВК — Vostochno-Kamchatskaya, ПО — Priokeanskaya); 13 — tectonic boundaries of heterogeneous blocks. Numbers of ore occurrences (РП) and mineralization points (ПМ) in schemes a and b: Monolitnoye (РП), 2 — Markelovskoye (РП), 3 — Rytsar' (РП), 4 — Greben' (РП), 5 — Mount Goloy (ПМ), 6 — Bolshaya-Bui (РП), 7 — Shanuch (deposit), 8 — Malachite and Meridional creeks watershed (ПМ), 9 — Krutogorova (ПМ), 10 — Kolpakova (ПМ), 11 — Nizhny (ПМ), 12 — Irgus (ПМ), 13 — Perevalny (ПМ), 14 — Pravy Kagnisin (ПМ), 15 — Levy Kagnisin (ПМ), 16 — Utudumets (ПМ), 17 — Suntunk (ПМ), 18 — Pymta (ПМ), 19 — Tundrovoye (РП), 20 — the Mokushka River (ПМ), 21 — Kvinum I and Kvinum II (РП), 22 — Goltsovy (ПМ), 23 — Lagernaya (ПМ), 24 — Pukonka (ПМ), 25 — Yasnoye (РП), 26 — Kortlanditovoye (РП), 27 — Dukukskoye (РП), 28 — Severnoye (РП), 29 — Obvalny (ПМ), 30 — Annabergitovaya Shchel (РП), 31 — Kuvalorog (РП), 32 — Snezhnoye (РП), 33 — Tsirkovoye (ПМ), 34 — Nizhnedvedzhye (РП), 35 — Medvezhye (ПМ), 36 — Olenye (РП), 37 — Rassoha (РП), 38 — the Pravyy Dukuk River (РП). The figures in the circles in the scheme a denote the largest massif of different formations. Kortlandite-norite formation: Kuvalorogsky (1), Dukuksky (2), Penitsky (3). Dunite-harzburgite-gabbro formation: the massif of Mount Soldatskaya (4), Krotonsky (5).

Объекты рассматривали в качестве рудопроявлений медно-никелевой формации, генетически связанной с ультрамафитами дунит-гарцбургит-габбровых массивов (Мельникова, 1987), косвенно сравнивали с медно-никелевыми рудами КНП (Байков и др., 1988), относили к условной сульфидной никелево-меднорудной формации (Сляднев и др., 2013). Сопоставление проявлений Маркеловского, Монолитного и Рыцарь со сходными Ивановским и Ишкинским рудопроявлениями на Южном Урале и проведенный сравнительный анализ подтверждают, что существенно медные с никелем и кобальтом руды на о. Карагинском и п-ове Озерном, как и указанные рудопроявления в зоне Главного Уральского разлома, относятся к медноколчеданной формации (Новаков, Сидоров, 2016). Эпигенетические, содержащие Ni и Co руды образуются в результате сульфуризации гипербазитов под действием гидротермальных растворов (Назимова, 1992; Сидоров, 2009).

На о. Карагинском выделено потенциальное Маркеловское (Карагинское) рудное поле, которое охватывает проявления Монолитное, Маркеловское, а также Железное. Последнее располагается в терригенных породах и не содержит никелевой и кобальтовой минерализации (Сляднев и др., 2013). По данным из производственных отчетов<sup>1</sup>, а также в изданной литературе (Мельникова, 1987; Сляднев и др., 2013) прогнозные ресурсы меди по Маркеловскому рудному полю разными авторами в сумме по всем категориям оцениваются в 110–755 тыс. т, Ni — 155 тыс. т, Co — 27 т. Так как содержания Ni в сульфидных медных рудах в целом невысоки, ряд авторов

<sup>1</sup> Кучуганов В.А., Полетаев В.А., Байков А.И. Отчет о результатах работ по теме: «Количественная и геолого-экономическая оценка ресурсного потенциала территории Российской Федерации с определением приоритетов лицензионного недропользования на алмазы, благородные и цветные металлы» (Камчатская область и Корякский автономный округ). ФГУП «Камчатская ПСЭ», Петропавловск-Камчатский, 2003. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 6265. 164 с.

Сляднев Б.И., Мельникова С.А., Стефанов Ю.М. Отчет Укинской партии о геологосъемочных работах масштаба 1:200 000, проведенных в 1968–69 годах на территории полуострова Озерного и Хавывенской возвышенности. Петропавловск-Камчатский, 1970. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 2999. 293 с.

Щепотьев Ю.М., Литвинов А.Ф. Отчет о результатах работ по объекту «Оценка состояния, использования и перспектив развития рудной минерально-сырьевой базы благородных и цветных металлов Камчатского края с целью выделения локальных участков для проведения поисковых работ и лицензирования участков недр». Государственный контракт от 12 марта 2012 г. № 1/12 РОСГЕО. Москва, 2013. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 8620. Книга 2. 214 с.

исключают его из рассмотрения при прогнозных оценках. Тем не менее, проявления медноколчеданных с Ni и Co руд могут соответствовать мелким, возможно, средним месторождениям Cu и мелким — Ni и Co. Последние могут рассматриваться только в качестве попутных компонентов для добычи.

**Массивы дунит-клинопироксенит-габбровой и сиенит-габбровой формаций** развиты в пределах Центрально-Камчатской и Восточно-Камчатской СФЗ (рисунок). В ряде публикаций, характеризующих геологию и вещественный состав массивов дунит-клинопироксенит-габбровой формации Камчатки, вместе с породами нормальной щелочности нередко рассматриваются тесно связанные с ними более поздние умеренно-щелочные пироксениты и габбро, монцогаббро, шонкиниты, монциты и сиениты (Корякско-Камчатский..., 2002; Новаков, 2018; Сляднев и др., 2007). Несмотря на то, что породы умеренно-щелочного и щелочного подотрядов часто образуют самостоятельные массивы, их формирование происходило в рамках одной и той же развивающейся магматической системы с телами дунит-клинопироксенит-габбровой формации нормальной щелочности (Марковский, Сидоров, 2000; Флеров, Полетаев, 2005). Их совмещение в рамках одного плутонического комплекса (Сляднев и др., 2007) оправдано с точки зрения картирования и соответствует взглядам Ю.А. Кузнецова (1964), который в составе дунит-клинопироксенит-габбровой формации Урала выделяет умеренно-щелочные и щелочные образования, а также гранитоиды. Сдругой стороны, подобную ассоциацию можно рассматривать как парагенетический (временной) ряд двух формаций — дунит-клинопироксенит-габбровой и сиенит-габбровой, выделение которой в Центральной Камчатке было обосновано Г.Б. Флеровым и В.А. Колосковым (1976). Возможно, на основании данных о возрасте и геологическом положении, к сиенит-габбровой формации следует относить роговообманковые и флогопитовые перидотиты, дайки которых известны в Валагинском хребте и в бассейне р. Правая Лесная (Бурмаков и др., 2007; Марковский, Ротман, 1981; Флеров, Чубаров, 2009).

Возраст дунитов, клинопироксенитов и габброидов оценивается как позднемеловой, а умеренно-щелочные разности рассматриваются как более поздние образования маастрихт-датского возраста (Бурмаков и др., 2007; Корякско-Камчатский..., 2002; Новаков и др., 2000). При этом, умеренно-щелочные и щелочные образования прорывают и метасоматически преобразуют ранние дуниты, клинопироксениты и габброиды (фосфор-калиевый метасоматоз). Контакты массивов с вмещающими породами

интрузивные и тектонические. Приконтактные изменения связаны с фосфор-калиевым метасоматозом (Корякско-Камчатский..., 2002; Ротман, 1971; Сляднев и др., 2007; Флеров, 2007; Флеров, Колосков, 1976; Флеров, Селиверстов, 2008).

Дуниты дунит-клинопироксенит-габбровой формации характеризуются относительно низкими содержаниями Ni в породе и в оливине (Ланда и др., 2001). В результате серпентинизации гипербазитов образуются ассоциирующие с платиноидами аваруиты. В Корякии в дунит-клинопироксенит-габбровом массиве известна находка никелевых серпентинов непуит-лизардитового ряда, содержащих до 27 масс.% Ni (Сидоров и др., 2012). В plutонических породах ультраосновного состава, связанных с сиенит-габбровой формацией, никелевая минерализация не установлена.

**Прочие известные пункты никелевой минерализации.** Убогая сульфидная никелевая минерализация известна в интрузиях юрчического габброноритового комплекса (Карпузов, 2008; Сляднев и др., 2007). Комплекс развит в пределах ганальского блока метаморфических пород и, по последним данным, имеет миоценовый возраст (Конников и др., 2009). Юрчические интрузии отличаются от никеленосных образований кортландит-норитовой формации по ряду минералогических, геохимических и геофизических характеристик (Конников и др., 2009; Сидоров, Степанов, 2006).

Пункты с никелевой минерализацией Крутогорова, а также на водоразделе руч. Малахитового и Меридионального (рисунок) расположены в породах андриановского метагаббрового plutонического комплекса раннепалеозойского возраста, который включает тела, сложенные метагаббро, габброамфиболитами, амфиболитами, амфиболовыми, эпидот-амфиболовыми, клинопироксен-амфиболовыми сланцами (Сляднев и др., 2007). Ранее в качестве протолита этих метаморфизованных образований предполагались вулканы основного-ультраосновного состава, которые ряд авторов рассматривали в качестве аналогов интрузий кортландит-норитовой формации (Тарарин, Чубаров, 2004). В породах комплекса встречается рассеянная вкрапленность пирита, пирротина, халькопирита, реже — пентландита. На отдельных участках количество сульфидов увеличивается, образуя вкрапленную и прожилково-вкрапленную минерализацию, которая формировалась в условиях относительно низких температур (Тарарин, Чубаров, 2004).

Сульфидная медно-никелевая, никелевая минерализация установлена в метавулканитах основного и ультраосновного состава позднемелового алисторского комплекса, которые тесно

ассоциируют с интрузиями кортландит-норитовой формации в пределах КСМ. В качестве примера можно привести пункты минерализации Нижний, Иргус, Перевальный, Сунтунк, Пымта (рисунок), установленные в ходе проведения геологосъемочных и тематических работ (Карта... 1999).

На п-ове Камчатский Мыс (Камчатский) сульфиды обнаружены в пикритах, которые рассматриваются в качестве фрагментов офиолитовой ассоциации. Сингенетические сульфидные выделения размером до 0.3 мм сложены халькопиритом и пентландитом, реже — пирротинном. Содержание Ni в породах составляет от 0.12 до 0.14 масс. % (Савельев, 2014; Савельев, Философова, 2014). В различной степени измененных ультраосновных вулканитах, ассоциирующих с телами дунит-клинопироксенит-габбровой формации Камчатки (Марковский, Ротман, 1981), отмечены эпигенетические миллерит и пентландит (Селиверстов, Осипенко, 1999).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Из приведенного обзора никеленосных объектов и пунктов с сульфидной никелевой минерализацией следует, что формирование богатых промышленных кобальт-медно-никелевых руд в интрузиях кортландит-норитовой формации исследователи связывают как с син-, так и с эпигенетическими процессами. В то же время, сульфидное рудообразование в массивах дунит-гарцбургит-габбровой, дунит-клинопироксенит-габбровой формаций в основном обусловлено концентрированием Ni на постмагматическом этапе, в результате гидротермально-метасоматических преобразований ультраосновных пород, в которых Ni содержится преимущественно в породообразующих минералах в изоморфной форме. Эти данные согласуются с результатами сравнительного анализа оценок средних содержаний Ni и сопутствующих Cu и Co в безрудных породах, рудных и нерудных минералах различного генезиса из разных plutонических мафит-ультрамафитовых формаций Камчатки.

Вариации содержаний никеля и сопутствующих меди и кобальта в безрудных породах различной формационной принадлежности отражают механизмы магматогенного перераспределения и накопления этих элементов. Для безрудных разностей пород дунит-гарцбургит-габбровой, дунит-клинопироксенит-габбровой, а также сиенит-габбровой формаций прослеживается снижение содержаний Ni и Co с уменьшением их магнезиальности и основности (табл. 1). Концентрация Cu при этом возрастает. Высокое и, вместе с тем, неоднородное содержание Cu

в образованиях основного и среднего состава сиенит-габбровой формации подчеркивается известными в них и сопутствующими калиевыми метасоматитами и вулканитами проявлениями титаномагнетит-борнит-халькопиритовых руд.

В безрудных породах кортландит-норитовой формации содержания как Ni и Co, так и Cu снижаются от ультраосновных к основным породам, при этом, для ультраосновных разностей отмечается самое низкое, в сравнении с другими формациями, содержание Ni (табл. 1). С учетом никеленосности кортландит-норитовых интрузий и высоких концентраций серы в породах (оценена по  $SO_3$ , табл. 1), это означает высокую степень извлечения Ni в сульфиды. Повышенное содержание меди в неминерализованных ультрабазитах было отмечено В.Е. Полферовым (1979) в качестве одной из характерных черт никеленосных интрузий.

Одновременно высокое содержание Ni, Cu и Co в породах кортландит-норитовой формации иллюстрирует возникновение условий для ликвации сульфидного и силикатного расплава при становлении интрузий, когда все три элемента (Ni, Cu и Co) концентрировались в сульфидах. Это согласуется с данными о повышенных содержаниях серы в неминерализованных разностях базитов и ультрабазитов, что в целом характерно для никеленосных массивов (Полферов, 1979). В образованиях другой формационной принадлежности, при отсутствии ликвации, сидерофильные Ni и Co входят в состав породообразующих минералов ультраосновных пород и рассеиваются. Это подчеркивается сравнительно высоким содержанием Ni, а также Co в ультраосновных породах, оливинах и шпинелидах дунит-гарцбургит-габбровой и дунит-клинопироксенит-габбровой формаций. При этом медь, которая обладает наибольшим сродством к сере, вместе с ней накапливалась в поздних дифференциатах.

Представленные в таблице 1 соотношения согласуются с оценками средних содержаний Ni в породообразующих и рудных минералах (Новаков, 2017). Признаком связи сульфидов переменного состава с никеленосными интрузиями кортландит-норитовой формации Камчатки является высокое содержание Ni, которое составляет (в масс.%): 33.3–34.1 в пентландитах и 1.72 в гексагональных пирротинах (Новаков, 2017). В то же время, сингенетические пентландиты из пункта минерализации в оливиновых вебстеритах из гипербазитового массива дунит-гарцбургит-габбровой формации (г. Солдатская) отличаются низким содержанием Ni (24.9 масс.%), а также присутствием Cu и отсутствием Co. В шпинелидах наибольшая концентрация Ni характерна для гипербазитов дунит-клинопироксенит-габбровых массивов

(до 0.12 масс.% в субальмохроммагнетитах). В минералах группы хромита-магнетита из плутонических пород других формаций она или ниже предела обнаружения, или приближается к нему.

Наиболее высокое фоновое содержание Ni в оливинах типично для гипербазитов дунит-гарцбургит-габбровой формации ( $Fo_{90-100}$  — 0.17 масс.% и  $Fo_{70-90}$  — 0.14 масс.%). Несколько более низкое содержание Ni отмечается в оливинах из пород дунит-клинопироксенит-габбровой формации ( $Fo_{90-100}$  — 0.10 масс.% и  $Fo_{70-90}$  — 0.07 масс.%). Для оливинов роговообманковых перидотитов сиенит-габбровой формации содержание никеля достигает 0.4 масс.%, в флогопитовых перидотитах оно составляет 0.15 масс.%.

Для оливинов из пород никеленосной кортландит-норитовой формации характерно резко неравномерное, чаще низкое содержание Ni. В пределах одного образца в разных оливиновых зернах ( $Fo_{70-90}$ ) его концентрация варьирует от значений ниже чувствительности метода анализа до 0.2–0.5 масс.%, что объясняется извлечением Ni в сульфиды на магматическом этапе рудообразования. Содержание Ni как в оливинах, так и в шпинелидах повышается вблизи сульфидных выделений, вероятно, вследствие поздних диффузионных процессов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Никелевая минерализация в Камчатском регионе отмечается в плутонических образованиях различной формационной принадлежности. В настоящее время практическое значение как в плане добычи, так и в плане наращивания минерально-сырьевой базы региона имеют медно-никелевые руды в интрузиях кортландит-норитовой формации, где Ni концентрировался в сульфидах уже на магматическом этапе. Это соответствует выводу о том, что в целом, промышленные сульфидные руды, в том числе эпигенетические, имеют первично-магматическое происхождение (Полферов, 1979). Магматогенное рудообразование в интрузиях кортландит-норитовой формации объясняет выявленные эмпирические закономерности: одновременно повышенные содержания Ni, Cu, Co и серы в безрудных ультраосновных и основных породах, резко неравномерное, чаще низкое содержание Ni в породообразующих оливинах.

Формирование рудопроявлений Ni в плутонических образованиях дунит-гарцбургит-габбровой формации Камчатки в основном обусловлено его концентрированием в результате эпигенетических процессов. Возможное выявление промышленной никеленосности

СИН- И ЭПИГЕНЕТИЧЕСКАЯ НИКЕЛЕВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ

**Таблица 1.** Оценка содержаний никеля, кобальта, меди и серы (по содержанию SO<sub>3</sub>) в безрудных породах мафит-ультрамафитовых формаций региона.

**Table 1.** The estimation of the nickel, cobalt, copper, and sulfur contents (in terms of SO<sub>3</sub> content) in the ore-free rocks of the regional mafic-ultramafic formations.

Магматические формации		Породы	клч. ан.	Ni, г/т	клч. ан.	Co, г/т	клч. ан.	Cu, г/т	клч. ан.	SO <sub>3</sub> , масс. %	кларк конц. Ni
временной ряд	сиенит - габбровая	средние	10	19	10	23	1	21	5	0.02	0.35
		основные (ущ)	10	37	9	32	4	31	1	0.30	0.23
		клинопироксениты	13	56	13	80		н. д.		н. д.	0.35
		ультраосновные	3	953	3	62	3	47	1	0.10	0.48
	дуниты, клинопироксениты, габбро	основные	35	60	22	42	20	10	3	0.08	0.38
		клинопироксениты	74	110	56	67	30	27	3	0.04	0.69
		ультраосновные	144	906	133	180	36	4		н. д.	0.45
	дунит-гарцбургит-габбровая	основные	9	156	9	50	9	60		0.04	0.98
клинопироксениты		1	460	1	70	1	30		0.003	2.88	
ультраосновные		27	1894	16	62	27	15		н. д.	0.95	
кортландит-норитовая	основные	24	98	24	44	24	44	3	0.71	0.61	
	ортопирокс., горнбл.	16	176	16	75	15	88	6	1.58	1.10	
	ультраосновные	9	730	9	120	9	129	6	1.42	0.37	

⊙ 1      ○ 2      ⊕ 3      ○ 4

Примечания. 1 — кобальт-медно-никелевые месторождения и рудопроявления; 2 — рудопроявления и пункты минерализации титаномagnetит-борнит-халькопиритовых руд; 3 — пункты минерализации меди в габброидах (Корякско-Камчатский ..., 2002); 4 — медно-никелевая минерализация в оливиновых вебстеритах; н. д. — нет данных. При количестве анализов от 3 до 4 приведены средние значения. Остальное — медианы. Описательная статистика приведена в табл. 2. Медиана, нижний и верхний квартили применены в качестве оценки среднего и показателей рассеивания случайной величины по причине небольшого объема выборок и высоких коэффициентов вариации вследствие резкой асимметрии распределений. Составлено по собственным данным (Новаков, 2018, с изменениями) и по материалам из публикаций других авторов (Колосков и др., 2009; Конников и др., 2009; Корякско-Камчатский регион ..., 2002; Осипенко, Крылов, 2001; Селянгин, 2006; Сидоров и др., 2012; Симакин и др., 2015; Соколов, Ханчук, 1990; Тарарин и др., 2007; Трухин и др., 2009; Флеров и др., 2001). Клч. ан. — количество анализов. Кларк конц. Ni — кларк концентрации никеля (отношение оценки средних содержаний никеля в выделенных разностях пород к соответствующему кларку по А.П. Виноградову (1962)).

Notes. 1 — cobalt-copper-nickel deposits and occurrences; 2 — ore and mineralization points of Ti-magnetite-chalcopyrite-bornite ores; 3 — copper mineralization points in gabbroids (Koryak-Kamchatsky ..., 2002); 4 — copper-nickel mineralization in olivine websterites; н. д. means data unavailable. The number of analyzes varying from 3 to 4 shows the average values. The rest is the medians. Descriptive statistic is given in Table 2. The median, lower and upper quartiles are used as an estimation of the mean and dispersion indicators of a random variable due to the small sample size and high coefficients of variation caused by a sharp asymmetry of the distributions. It was compiled using our own data (Novakov, 2018, with changes) and the materials from publications by other authors (Koloskov et al., 2009; Konnikov et al., 2009; Koryak-Kamchatka region ..., 2002; Osipenko, Krylov, 2001; Selyangin, 2006; Sidorov et al., 2012; Simakina et al., 2015; Sokolov, Khanchuk, 1990; Tararin et al., 2007; Trukhin et al., 2009; Flerov et al., 2001). Клч. ан. means number of analyzes. Кларк конц. Ni is the clarke of nickel concentration (the ratio of the estimate of the average nickel content in the selected rock species to the corresponding clarke according to A.P. Vinogradov (1962)).

прежде всего связано с содержащими Ni и Co медноколчеданными рудами гидротермально-метасоматического генезиса в блоках гипербазитов дунит-гарцбургит-габбровой формации из зон серпентинитового меланжа Восточной Камчатки.

Никеленосность, а также платиноносность, связанные с магматогенной сульфидной минерализацией в массивах дунит-гарцбургит-габбровой формации Камчатки требуют дальнейших исследований. Минерализация этого типа сходна с месторождением Акуже на Филиппинах (Новаков и др., 2016; Manjoorsa, Yumul, 1996; Yumul, 2001), где имеется опыт промышленного

получения сульфидного никелевого концентрата из ультрамафитов.

В вулканитах ультраосновного состава, ассоциирующих с массивами плутонических мафит-ультрамафитовых формаций Камчатки, отмечена только убогая сульфидная никелевая минерализация, как син-, так и эпигенетическая. Вместе с тем, оценки средних содержаний Ni в безрудных породах достигают 0.13 масс.%. Поэтому, как и в гипербазитах дунит-гарцбургит-габбровой и дунит-клинопироксенит-габбровой формаций, возможности формирования никелевой минерализации связаны прежде всего с эпигенетическими процессами, преобра-



Таблица 2. Описательная статистика к таблице 1.  
Table 2. The descriptive statistic for Table 1.

Элемент	Магматические формации	Породы	Кол-во анализов	Среднее	Дисперсия	Стандартное отклонение	Минимум	Квартиль 25%	Медиана	Квартиль 75%	Максимум
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	сиенит-габбровая	средние	10	25.80	385.29	19.63	9	13	18.5	36	74
		основные	10	48.10	1774.10	42.12	16	23	37	54	160
		ультрамафиты основные	13	69.08	1415.08	37.62	37	45	56	80	175
	дунит-клинопироксенит-габбровая	основные	35	76.11	5519.66	74.29	12	39	60	90	460
		ультрамафиты основные	74	158.24	20595.45	143.51	26	79	110	190	942
		ультраосновные	144	1006.06	129904.35	360.42	82	800	905.5	1233	2191
Ni	дунит-гарцбургит-габбровая	основные	9	192.33	15183.25	123.22	84	93	156	212	470
		ультраосновные	27	1634.15	530874.13	728.61	417	870	1894	2237	2714
		основные	24	113.71	9282.91	96.35	12	24	98	181.5	372
	кортландит-норитовая	ультрамафиты основные	16	426.31	348117.56	590.01	20	105	175.5	380.5	2090
		ультраосновные	9	945.56	376398.78	613.51	260	519	730	1210	2086
		средние	10	21.70	107.12	10.35	4	15	23	25	40
	сиенит-габбровая	основные	9	35.44	107.03	10.35	22	30	32	39	56
		ультрамафиты основные	13	75.54	79.94	8.94	56	72	80	82	85
		основные	22	41.77	70.85	8.42	30	37	41.5	45.57	64
Co	дунит-клинопироксенит-габбровая	ультрамафиты основные	56	66.53	479.78	21.90	30	47	66.5	84.5	120
		ультраосновные	133	186.11	4124.08	64.22	68	128	180	240	410
		основные	9	51.22	61.19	7.82	40	45	50	59	62
	дунит-гарцбургит-габбровая	ультраосновные	16	73.00	1045.73	32.34	30	53	62	107.5	126
		основные	24	46.92	215.30	14.67	19	36	44	57.5	77
		ультрамафиты основные	16	80.69	1572.76	39.66	20	56	75	95	190
Co	кортландит-норитовая	ультраосновные	9	120.89	1416.36	37.63	77	96	120	140	198
		основные	20	116.69	9534.56	97.65	4.7	36	100.9	186	350
		ультрамафиты основные	30	68.69	9502.34	97.48	4.98	12	27	77	460
	дунит-клинопироксенит-габбровая	ультраосновные	36	6.54	55.27	7.43	0.375	1.825	4.22	8.925	38
		основные	9	81.56	3028.78	55.03	19	32	60	135	153
Cu		дунит-гарцбургит-габбровая	ультраосновные	27	19.54	99.05	9.95	5	11.9	15	28.16
	основные		24	56.54	3022.35	54.98	12	26.5	43.5	60	276
	ультрамафиты основные		15	161.47	25212.27	158.78	10	41	88	236	576
	кортландит-норитовая	ультраосновные	9	157.67	5002.50	70.73	68	104	129	216	272

зующими субстрат магматогенных силикатов с повышенными содержаниями Ni.

Интерес для поисков никелевого оруденения могут представлять зоны серпентинитового меланжа, которые наиболее широко распространены в пределах Восточно-Камчатской и Приокеанской СФЗ. Их протяженность составляет десятки, а мощность — до 1–2 км. Зоны обладают высокой проницаемостью для гидротермальных растворов, в результате воздействия которых на блоки гипербазитов дунит-гарцбургит-габбровой и дунит-клинопироксенит-габбровой формаций, или на вулканиды с повышенным содержанием Ni, могут возникать никелевые сульфиды, арсениды, сульфоарсениды, силикаты и их рудные концентрации.

Список литературы [References]

- Байков А.И., Кутыев Ф.Ш., Сидоров Е.Г., Яроцкий Г.П.* Медно-никелевое сульфидное оруденение Камчатки // Никеленосность базит-гипербазитовых комплексов Украины, Урала, Сибири и Дальнего Востока // Кольский филиал АН СССР. Апатиты. 1988. С. 59–61 [*Bajkov A.I., Kutuyev F.SH., Sidorov E.G., Yarockij G.P.* Medno-nikelevoe sul'fidnoe orudnenie Kamchatki // Nikelenosnost' bazit-giperbazitovykh kompleksov Ukrainy, Urala, Sibiri i Dal'nego Vostoka // Kol'skij filial AN SSSR. Apatity. 1988. P. 59–61 (in Russian)].
- Бояринова М.Е., Вешняков Н.А., Коркин А.Г. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Восточно-Камчатская серия. Листы О-58-XXVI, XXXI, XXXII (Усть-Камчатск). Объяснительная записка — СПб.: ВСЕГЕИ. 2007. 226 с. [*Boyarinova M.E., Veshnyakov N.A., Korkin A.G. et al.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii masshtaba 1:200 000. Izdanie vtoroe. Vostochno-Kamchatskaya seriya. Listy O-58-XXVI, XXXI, XXXII (Ust'-Kamchatsk). Ob"yasnitel'naya zapiska — SPb.: VSEGEI. 2007. 226 p. (in Russian)].
- Бурмаков Ю.А., Новаков Р.М., Трунин И.В.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Западно-Камчатская. Лист О-57-V, VI. Объяснительная записка СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. 187 с. [*Burmafov Yu.A., Novakov R.M., Trunin I.V.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii masshtaba 1:200 000. Izdanie vtoroe. Seriya Zapadno-Kamchatskaya. List O-57-V, VI. Ob"yasnitel'naya zapiska SPb.: VSEGEI, 2007. 187 p. (in Russian)].
- Виноградов А.П.* Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. Вып. 7. С. 555–571 [*Vinogradov A.P.* Srednie soderzhanija himicheskikh jelementov v glavnyh tipah izverzhenykh gornyh porod zemnoj kory // Geohimija. 1962. V. 7. P. 555–571 (in Russian)].
- Геологический словарь. Издание третье, перераб. и доп. Гл. ред. О.В. Петров. Т. 2. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2011. 480 с. [Geologicheskij slovar. Izdanie trete pererab. i dop. Gl. red. O. V. Petrov. T. 2. SPb. Izd-vo VSEGEI, 2011 480 p. (in Russian)].
- Додин Д.А., Чернышов М.М., Яцкевич Б.А.* Платинометалльные месторождения России. СПб.: Наука, 2000. С. 386–393 [*Dodin D.A. Chernyshov M.M. Yatskevich B.A.* Platinometalnyye mestorozhdeniya Rossii. SPb.: Nauka, 2000. P. 386–393 (in Russian)].
- Евстигнеева Т.Л., Минеев С.Д., Чубаров В.М. и др.* Некоторые вопросы минералогии и генезиса сульфидных никелевых руд Центральной Камчатки // Никеленосность базит-гипербазитовых комплексов Украины, Урала, Сибири и Дальнего Востока // Кольский филиал АН СССР. Апатиты. 1988. С. 63–69 [*Evstigneeva T.L., Mineev S.D., Chubarov V.M. i dr.* Nekotorye voprosy mineralogii i genezisa sulfidnyh nikelovykh rud Central'noj Kamchatki // Nikelenosnost' bazit-giperbazitovykh kompleksov Ukrainy, Urala, Sibiri i Dal'nego Vostoka // Kol'skij filial AN SSSR. Apatity. 1988. P. 63–69 (in Russian)].
- Зимин С.С.* Формация никеленосных роговообманковых базитов Дальнего Востока. Новосибирск: Наука, 1973. 90 с. [*Zimin S.S.* Formaciya nikelenosnykh rogovoobmankovykh bazitov Dal'nego Vostoka. Novosibirsk: Nauka, 1973. 90 p. (in Russian)].
- Игнатьев Е.К., Баженов Е.А., Козлов А.Н. и др.* Геология и медно-никелевое оруденение Срединного массива Камчатки // Никеленосность базит-гипербазитовых комплексов Украины, Урала, Сибири и Дальнего Востока // Кольский филиал АН СССР. Апатиты. 1988. С. 61–63 [*Ignat'ev E.K., Bazhenov E.A., Kozlov A.N. et al.* Geologiya i medno-nikelevoe orudnenie Sredinnogo massiva Kamchatki // Nikelenosnost' bazit-giperbazitovykh kompleksov Ukrainy, Urala, Sibiri i Dal'nego Vostoka // Kol'skij filial AN SSSR. Apatity. 1988. P. 61–63 (in Russian)].
- Карпузов А.А.* Геология и петролого-геохимические особенности мафит-ультрамафитового массива Юрчик (Центральная Камчатка) // Известия вузов. Геология и разведка. 2008. № 1. С. 72–74 [*Karpuzov A.A.* Geology, petrologic and geochemical characteristics of Yurchik mafite-ultramafite massif (Central Kamchatka) // Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka. 2008. № 1. P. 72–74 (in Russian)].
- Карта полезных ископаемых Камчатской области масштаба 1 : 500 000. Главные редакторы: А.Ф. Литвинов, М.Г. Патока (Камчатгеолком), Б.А. Марковский (ВСЕГЕИ). СПб.: ВСЕГЕИ, 1999 [Map of mineral resources of Kamchatka region. Scale 1 : 500 000. Editors-in-Chief: A.F. Litvinov, M.G. Patoka (Kamchatgeolkom), B.A. Markovsky (VSEGEI). SPb.: VSEGEI, 1999].
- Колосков В.А., Флеров Г.Б., Коваленко Д.В.* Позднемеловые-палеоценовые магматические

- комплексы Центральной Камчатки: геологическое положение, особенности вещественного состава // Тихоокеанская геология. 2009. Т. 28. № 4. С. 16–34 [Koloskov V.A., Flerov G.B., Kovalenko D.V. Late Cretaceous-Paleocene magmatic complexes of central Kamchatka: Geological settings and compositional features // Russian Journal of Pacific Geology. 2009. V. 3. № 4. P. 319–337].
- Конников Э.Г., Некрасов А.Н., Родионов Н.В. и др. Формационная принадлежность и возраст Юрчикского массива (Камчатка) // Геохимия. 2009. № 11. С. 1200–1211 [Konnikov E.G., Nekrasov A.N., Rodionov N.V. et al. Yurchik Massifs in Kamchatka: Age and affiliation to magmatic associations // Geochemistry International. 2009. V. 47. № 11. P. 1125–1136].
- Конников Э.Г., Некрасов А.Н., Орсоев Д.А. и др. Гранатсодержащие базиты Кувалорогского массива Камчатки // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 5. С. 595–612 [Konnikov E.G., Nekrasov A.N., Orsoev D.A. et al. Garnet-bearing basites of the Kuvalorog massif (Kamchatka Peninsula) // Russian Geology and Geophysics. 2009. V. 50. № 5. P. 453–469].
- Корякско-Камчатский регион — новая платиноносная провинция России. Коллектив авторов. СПб.: Изд-во картфабрики ВСЕГЕИ, 2002. 383 с. [Koryaksko-Kamchatskij region — novaya platinonosnaya provinciya Rossii. Kollektiv avtorov. SPb.: Izd-vo kartfabriki VSEGEI, 2002. 383 p. (in Russian)].
- Кузнецов Ю.А. Главные типы магматических формаций. М.: Недра, 1964. 387 с. [Kuznetsov Y.A. Glavnyye tipy magmaticheskikh formacij. M.: Nedra, 1964. 387 p. (in Russian)].
- Ланда Э.А., Марковский Б.А., Сидоров Е.Г., Толмачева Е.В. Об особенностях состава оливинов из дунитов зональных массивов Корякии и Камчатки // Записки ВМО. №1. 2001. С. 60–66 [Landa E.A., Markovskiy B.A., Sidorov E.G., Tolmacheva E.V. Ob osobennostyakh sostava olivinov iz dunitov zonal'nykh massivov Koryakii i Kamchatki // Zapiski VMO. № 1. 2001. P. 60–66 (in Russian)].
- Марковский Б.А., Ротман В.К. Геология и петрология ультраосновного вулканизма Л: Недра, 1981. 247 с. [Markovskiy B.A., Rotman V.K. Geologiya i petrologiya ul'traosnovnogo vulkanizma L: Nedra, 1981. 247 p. (in Russian)].
- Марковский Б.А., Сидоров Е.Г. Парагенезис дунит-клинопироксенитовых и пироксенит-габброидных комплексов // Петрология и металлогения базит-гипербазитовых комплексов Камчатки. Тез. докл. науч. сессии Камчатского отделения ВМО. Петропавловск-Камчатский. 2000. С. 36–38 [Markovskiy B.A., Sidorov E.G. Paragenesis dunit-klinopiroksenitovykh i piroksenit-gabbroidnykh kompleksov // Petrologiya i metallogeniya bazit-giperbazitovykh kompleksov Kamchatki. Tez. dokl. nauch. sessii Kamchatskogo otdeleniya VMO. Petropavlovsk-Kamchatskij. 2000. P. 36–38 (in Russian)].
- Мельникова С.А. Государственная геологическая карта СССР м-ба 1:200 000. Серия Корякская. Листы О-58-VIII, IX, XIV. Объяснительная записка. М. 1987. 111 с. [Mel'nikova S.A. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta SSSR m-ba 1:200 000. Seriya Koryakskaya. Listy O-58-VIII, IX, XIV. Ob'yasnitel'naya zapiska. M. 1987. 111 p. (in Russian)].
- Назимова Ю.В. Геохимия, минералогия и генезис медно-никелевого оруденения в альпинотипных гипербазитах острова Карагинского (Восточная Камчатка). Автореф. дисс. ... канд. геол.-минер. наук: 04.00.02. СПб. 1992. 16 с. [Nazimova Yu.V. Geohimiya, mineralogiya i genезis medno-nikelevogo orudneniya v al'pinotipnykh giperbazitah ostrova Karaginskogo (Vostochnaya Kamchatka). Avtoref. diss. ... kand. geol.-miner. nauk: 04.00.02. SPb. 1992. 16 p. (in Russian)].
- Новаков Р.М. Перспективы никеленосности плутонических мафит-ультрамафитовых формаций Камчатки. Автореф. дисс. ... канд. геол.-минер. наук: 25.00.11. СПб., 2018. 24 с. [Novakov R.M. Perspektivy nikelenosnosti plutonicheskikh mafit-ultramafitovykh formacij Kamchatki. Avtoref. diss. ... kand. geol.-miner. nauk: 04.00.02. SPb., 2018. 24 p. (in Russian)].
- Новаков Р.М. Содержания никеля в породообразующих и рудных минералах мафит-ультрамафитовых формаций Камчатки // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № S32. С. 18–29. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2017-12-32-18-29> [Novakov R.M. Nickel content in rock-forming and ore minerals of mafite-ultramafite formations of Kamchatka // Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). 2017. № S32. P. 18–29 (in Russian)].
- Новаков Р.М., Бурмаков Ю.А., Сидоров М.Д. Геологическое строение, вещественный состав и возраст массивов габбродиорит-монзонитового комплекса в верховьях р. Правая Лесная (Камчатка) // Материалы региональной конференции геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока России. Томск: ГалаПресс, 2000. С. 67 [Novakov R.M., Burmakov Yu.A., Sidorov M.D. Geologicheskoe stroenie, veshchestvennyj sostav i vozrast massivov gabbrodiorit-monconitovogo kompleksa v verhov'yah r. Pravaya Lesnaya (Kamchatka) // Materialy regional'noj konferencii geologov Sibiri, Dal'nego Vostoka i Severo-Vostoka Rossii. Tomsk: GalaPress, 2000. P. 67 (in Russian)].
- Новаков Р.М., Иванов В.В., Трухин Ю.П., Панова Е.Г. Медно-никелевая и благороднометалльная минерализация в оливиновых вебстеритах п-ова Камчатский мыс (Камчатка) // Вестник СПбГУ. 2015. Сер. 7. Вып. 4. С. 82–96 [Novakov R.M., Ivanov V.V., Trukhin Yu.P., Panova E.G. Copper-nickel and noble metals mineralization in olivine websterite from the Kamchatsky Mys peninsula (Kamchatka) // Vestnik SPbGU. 2015. Ser. 7. Iss. 4. P. 82–96 (in Russian)].

- Новаков Р.М., Паламарь С.В., Таскин В.В.* Платиноидно-медно-никелевая минерализация в офиолитах полуострова Камчатский Мыс (Камчатка) // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. № 531. С. 88–94 [*Novakov R.M., Palamar' S.V., Taskin V.V.* PGE-copper-nickel mineralization in ophiolite Kamchatsky Mys peninsula (Kamchatka) // Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). 2016. № 531. P. 88–94 (in Russian)].
- Новаков Р.М., Сидоров М.Д.* Никеленосность медно-колчеданных проявлений в серпентинитах Восточной Камчатки // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. № 531. С. 13–26 [*Novakov R.M., Sidorov M.D.* Nickel-copper-pyrite ore occurrences in the serpentinites of the Eastern Kamchatka // Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). 2016. № 531. P. 13–26 (in Russian)].
- Новаков Р.М., Трухин Ю.П., Сидоров М.Д.* Геохимия благородных металлов в медно-никелевых рудах участка Восточно-Геофизического (Шанучское рудное поле, Камчатка) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2014. № 3. С. 44–51 [*Novakov R.M., Trukhin Yu.P., Sidorov M.D.* Geochemistry of the precious metals in the copper-nickel ores from Vostochno-Geofizicheskoy allotment of Shanuch copper-nickel deposit (Kamchatka) // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Geologiya i razvedka. 2014. № 3. P. 44–51 (in Russian)].
- Осипенко А.Б., Крылов К.А.* Геохимическая гетерогенность мантийных перидотитов в офиолитах Восточной Камчатки: причины и геодинамические следствия // Петрология и металлогения базит-гипербазитовых комплексов Камчатки. М.: Научный мир, 2001. С. 138–231 [*Osipenko A.B., Krylov K.A.* Geokhimicheskaya geterogennost' mantijnyh peridotitov v ofiolitah Vostochnoj Kamchatki: prichiny i geodinamicheskie sledstviya // Petrologiya i metallogeniya bazit-giperbazitovyh kompleksov Kamchatki. M.: Nauchnyj mir, 2001. P. 138–231 (in Russian)].
- Поletaев В.А.* Сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения и рудопроявления перидотит-пироксенит-норитовой формации Центральной Камчатки // Платина России. Т. III. Кн. 2. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. С. 191–199 [*Poletaev V.A.* Sul'fidnye platinoidno-medno-nikelevye mestorozhdeniya i rudoproavleniya peridotit-piroksenit-noritovoj formacii Central'noj Kamchatki // Platina Rossii. T. III. Kn. 2. M.: ZAO «Geoinformmark», 1999. P. 191–199 (in Russian)].
- Поletaев В.А.* Камчатская платиноидно-никеленосная зона — геология и рудоносность: Автореф. дисс. ... канд. геол.-минер. наук: 25.00.11 М. 2004. 22 с. [*Poletaev V.A.* Kamchatskaya platinoidno-nikelenosnaya zona — geologiya i rudonosnost': Avtoref. diss. ... kand. geol.-miner. nauk: 25.00.11 M. 2004. 22 p (in Russian)].
- Полферов Д.В.* Геология, геохимия и генезис месторождений медно-никелевых сульфидных руд. Л.: Недра, 1979. 294 с. [*Polferov D.V.* Geologiya, geokhimiya i genezis mestorozhdenij medno-nikelevykh sulfidnyh rud. L.: Nedra, 1979. 294 p. (in Russian)].
- Ротман В.К.* Общие черты магматизма внутренней части северо-западного сектора Тихоокеанского подвижного пояса // Советская геология. 1971. № 10 С. 42–53 [*Rotman V.K.* Obshchie cherty magmatizma vnutrennej chasti severo-zapadnogo sektora Tihookeanskogo podvizhnogo poayasa // Sovetskaya geologiya. 1971. № 10 P. 42–53 (in Russian)].
- Савельев Д.П., Философова Т.М.* Магматические сульфиды в пикритах п-ова Камчатский Мыс // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы». Петропавловск-Камчатский. 2014 С. 120–126 [*Savel'ev D.P., Filosofova T.M.* Magmaticheskie sul'fidy v pikritah p-ova Kamchatskij Mys // Materialy ezhegodnoj konferencii, posvyashchennoj Dnyu vulkanologa «Vulkanizm i svyazannye s nim processy». Petropavlovsk-Kamchatskij. 2014 P. 120–126 (in Russian)].
- Савельев Д.П.* Плагиоклазовые пикриты п-ова Камчатский Мыс (Восточная Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2014. № 4. С. 1–11 <https://doi.org/10.7868/S020303061404004X> [*Savelyev D.P.* Plagioclase picrites in the Kamchatsky Mys Peninsula, Eastern Kamchatka // Journal of Volcanology and Seismology. 2014. T. 8. № 4. P. 239–249. <https://doi.org/10.1134/S0742046314040046>].
- Селиверстов В.А., Осипенко А.Б.* Петрология родингитов Камчатки. Владивосток: Дальнаука, 1999. 156 с. [*Seliverstov V.A., Osipenko A.B.* Petrologiya rodingitov Kamchatki. Vladivostok: Dal'nauka, 1999. 156 p. (in Russian)].
- Селянгин О.Б.* Кортландит-амфиболовый пироксенит-горнблендитовая серия расслоенного никеленосного интрузива Восточно-Геофизический, Шанучское рудное поле, Камчатка // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. №2. Вып. № 8. С. 9–28 [*Selyangin O.B.* Kortlandit-amfibolovyy piroksenit-gornblenditovaya seriya rassloennogo nikelenosnogo intruziva Vostochno-Geofizicheskij, Shanuchskoe rudnoe pole, Kamchatka // Vestnik KRAUNC. Nauki o Zemle. 2006. №2. Iss. 8. P. 9–28 (in Russian)].
- Сидоров Е.Г., Козлов А.П., Толстых Н.Д.* Гальмоэнанский базит-гипербазитовый массив и его платиноносность. М.: Научный мир, 2012. 286 с. [*Sidorov E.G., Kozlov A.P., Tolstyh N.D.* Gal'moehnanskij bazit-giperbazitovyy massiv i ego platinonosnost' M.: Nauchnyj mir, 2012. 286 p. (in Russian)].
- Сидоров М.Д.* Плотностное моделирование магматических структур в колпаковском перспективном никеленосном районе (Срединный массив, Камчатка) // Тихоокеанская геология. 2015. Т. 34. № 3.

- C. 42–51 [Sidorov M.D. Density modeling of magmatic structures in the promising Kolpakova Nickeliferous district (Median massif, Kamchatka) // Russian Journal of Pacific Geology. 2015. V. 9. № 3. P. 193–202. <https://doi.org/10.1134/S1819714015030070>]
- Сидоров М.Д., Кунгурова В.Е. Определение ресурсного потенциала металлов по плотностным моделям интрузий // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). № 12 (специальный выпуск 32). М: Горная книга, 2017. С. 121–137 [Sidorov M.D., Kungurova V.E. The definition of the resource potential of metals according to density models of intrusions // Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). № 2. (special issue 32). M: Gornaya kniga, 2017. P. 121–137 (in Russian)].
- Сидоров М.Д., Степанов В.А. Геофизические поля и никеленосность Камчатского срединного массива // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. № 2. Вып. №8. С. 140–150 [Sidorov M.D., Stepanov V.A. Geofizicheskie polya i nikelenosnost' Kamchatskogo sredinnogo massiva // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2006. № 2(8). P. 140–150 (in Russian)].
- Симакин А.Г., Конников Э.Г., Бухтияров П.Г., Шапошников О.Ю. Эоценовая аккреция на Камчатке и всплеск мантийного плюмового магматизма // Геохимия. 2015. № 4. С. 357–374. <https://doi.org/10.7868/S0016752515020077> [Simakin A.G., Konnikov E.G., Bukhtiyarov P.G., Shaposhnikova O.Y. Eocene accretion at Kamchatka and a pulse of mantle plume magmatism // Geochemistry International. 2015. V. 53. № 4. P. 341–357. <https://doi.org/10.1134/S001670291502007X>].
- Сляднев Б.И., Боровцов А.К., Сидоренко В.И. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000 000 (третье поколение). Серия Корякско-Курильская. Лист О-58, Усть-Камчатск. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2013. 256 с. [Slyadnev B.I., Borovcov A. K., Sidorenko V.I. et al. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii masshtaba 1:1000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Koryaksko-Kuril'skaya. List O-58, Ust'-Kamchatsk. Ob'yasnitel'naya zapiska. SPb.: VSEGEI, 2013. 256 p. (in Russian)].
- Сляднев Б.И., Шаповаленко В.Н., Крикун Н.Ф. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000 000 (третье поколение). Серия Корякско-Камчатская. Лист N-57, Петропавловск-Камчатский. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. 187 с. [Slyadnev B.I., Shapovalenko V.N., Krikun N.F. et al. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii masshtaba 1:1000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Koryaksko-Kamchatskaya. List N-57, Petropavlovsk-Kamchatskij. Ob'yasnitel'naya zapiska. SPb.: VSEGEI, 2007. 187 p. (in Russian)].
- Ханчук А.И., Григорьев В.Н., Голозубов В.В. и др. Куюльский офиолитовый террейн. Владивосток, 1990. 106 с. [Khanchuk A.I., Grigoryev V.N., Golozubov V.V. et al. The Kuyul Ophiolite terrane. Vladivostok, 1990. 106 p.]
- Степанов В.А., Гвоздев В.И., Трухин Ю.П. и др. Минералы благородных и редких металлов в рудах Шанучского медно-никелевого месторождения (Камчатка) // Записки Российского минералогического общества. 2010. Ч. СXXXIX. № 2. С. 43–58 [Stepanov V.A., Gvozdev V.I., Trukhin Yu.P. et al. Minerals of precious and rare metals in ores of Shanuchskoye copper-nickel deposit (Kamchatka) // Zapiski Rossijskogo mineralogicheskogo obshchestva. 2010. CH. СXXXIX. № 2. P. 43–58 (in Russian)].
- Тарарин И.А., Бадрединов З.Г., Чубаров В.М. Петрология и рудоносность метаморфических и магматических комплексов Центральной и Восточной Камчатки. Владивосток: Дальнаука, 2015. 302 с. [Tararin I.A., Badredinov Z.G., Chubarov V.M. Petrology and ore mineralization of metamorphic and magmatic complexes from Central and Eastern Kamchatka. Vladivostok: Dal'nauka, 2015. 302 p. (in Russian)].
- Тарарин И.В., Чубаров В.М. Сульфидная медно-никелевая минерализация в метавулканиках андриановской свиты Срединно-камчатского массива // Тихоокеанская геология. 2004. Т. 23. № 6. С. 76–83 [Tararin I.V., Chubarov V.M. Sulfide copper-nickel mineralization in the metavolcanic rocks of the Andrianovskaya suite from the Sredinny Kamchatka massif // Tihookeanskaya geologiya. 2004. V. 23. № 6. P. 76–83 (in Russian)].
- Трухин Ю.П., Степанов В.А., Сидоров М.Д. Камчатская никеленосная провинция // ДАН. 2008. Т. 418. № 6. С. 802–806 [Trukhin Yu.P., Stepanov V.A., Sidorov M.D. The Kamchatka nickel-bearing province // Doklady Earth Sciences. 2008. V. 419. № 1. P. 214–216].
- Трухин Ю.П., Сидоров М.Д., Степанов В.А., Кунгурова В.Е. Строение и никеленосность Кувалорогского базит-ультрабазитового массива // Геология и разведка. 2009. №6. С. 43–49 [Trukhin Yu.P., Sidorov M.D., Stepanov V.A., Kungurova V.E. Structure and nickel content of Kuvalorogsky basic-ultrabasic massif // Geologiya i razvedka. 2009. № 6. P. 43–49 (in Russian)].
- Трухин Ю.П., Степанов В.А., Сидоров М.Д., Кунгурова В.Е. Шанучское медно-никелевое рудное поле (Камчатка) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2011. №1. С. 20–26 [Trukhin Yu.P., Stepanov V.A., Sidorov M.D., Kungurova V.E. Shanuch Cu-Ni ore field (Kamchatka) // Vestnik SVNC DVO RAN. 2011. № 1. P. 20–26 (in Russian)].
- Флеров Г.Б., Федоров П.И., Чурикова Т.Г. Геохимия позднемиловых-палеогеновых калиевых пород ранней стадии развития камчатской островной дуги // Петрология. 2001. Т. 9. № 2. С. 189–208 [Flerov G.B., Fedorov P.I., Churikova T.G. Geokhimiya pozdнемelovyh-paleogenovyh kalievyyh porod rannej stadii razvitiya kamchatskoj ostrovnoj dugi // Petrologiya. 2001. V. 9. № 2. P. 189–208 (in Russian)].

- Флеров Г.Б.* К проблеме ультраосновных магм и высококальциевых базальтоидов // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога 28–31 марта 2007 г. Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. Петропавловск-Камчатский. 2007. С. 330–337 [*Flerov G.B.* К проблеме ультраосновных магм и высококальциевых базальтоидов // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога 28–31 марта 2007 г. Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. Петропавловск-Камчатский. 2007. С. 330–337 (in Russian)].
- Флеров Г.Б., Колосков А.В.* Щелочной базальтовый магматизм Центральной Камчатки. М.: Наука, 1976. 158 с. [*Flerov G.B., Koloskov A.V.* Shchelochnoj bazal'tovyj magmatizm Central'noj Kamchatki. М.: Nauka, 1976. 158 p. (in Russian)].
- Флеров Г.Б., Селиверстов В.А.* Мел-палеогеновый магматизм Срединного хребта Камчатки: проблема источников магм // Вулканология и сейсмология. 2008. № 2. С. 83–96 [*Flerov G.B., Seliverstov V.A.* The Cretaceous-Paleogene magmatism of the Sredinnyi range of Kamchatka: Magma sources // Journal of Volcanology and Seismology. 2008. V. 2. № 2. P. 71–82].
- Флеров Г.Б., Чубаров В.М.* К проблеме «водности» ультраосновной магмы // Материалы конференции посвященной дню вулканолога 30–31 марта, 2009 г. Петропавловск-Камчатский. 2009. С. 92–100 [*Flerov G.B., Chubarov V.M.* К проблеме «vodnosti» ultraosnovnoy magmy // Materialy konferentsiii posvyashchennoy dnyu vulkanologa 30–31 marta. 2009 g. Petropavlovsk-Kamchatskiy. 2009. P. 92–100 (in Russian)].
- Graciano P. Yumul, Jr.* The Acoje Block Platiniferous Dunite Horizon, Zambales Ophiolite Complex, Philippines: Melt Type and Associated Geochemical Controls // Resource Geology. 2001. V. 51. № 2. P. 165–174.
- Mustansir V. Manjoorsa, Graciano P. Yumul, Jr.* Platinum-Group Element and Base Metal-related Mineralization in the Acoje Block, Zambales Ophiolite Complex // Journal of the Geological Society of the Philippines. 1996. V. LI. Nos. 3 & 4. P. 153–177.

## SYN- AND EPIGENETIC NICKEL MINERALIZATION IN THE KAMCHATKA PLUTONIC MAFITE-ULTRAMAFITE FORMATIONS

**R.M. Novakov**

*Research Geotechnological Centre, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,  
683002, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia*

The paper presents data on known objects in the sulfide copper-nickel ore formation in Kamchatka, as well as other ore occurrences and points of nickel mineralization related to certain magmatic formations. The authors have revealed the empirical regularities in the distribution of the background contents of nickel, cobalt, copper, and sulfur in ore-free differences of the rocks from the regional mafite-ultramafite formations and their interrelation with ore mineralization of various genesis. Ore content in the intrusions of cortlandite-norite formation is caused by the concentration of nickel in the sulfides at the magmatic stage. The origin of the nickel ores in the dunite-harzburgite-gabbro formation of Kamchatka is mainly associated with its concentration caused by epigenetic processes. Possible identification of industrial nickel ore content can be associated with the copper-sulfides ores in the blocks of hyperbasites from the dunite-harzburgite-gabbro formation from the zones with the serpentinite melange in Eastern Kamchatka. In this case, nickel and cobalt can be considered only as a by-product in the processing of copper and zinc-copper ores.

*Keywords: Kamchatka, formations, nickel, copper, cobalt, content, prospects.*