

Научные статьи

УДК 552.32

DOI: 10.31431/1816-5524-2018-4-40-5-22

КОНТАМИНАЦИЯ МАГМЫ, ОСОБЕННОСТИ ПЕТРОГЕНЕЗИСА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РУДНОГО ВЕЩЕСТВА В ПОРОДАХ НИКЕЛЕНОСНОЙ ФОРМАЦИИ СРЕДИННО-КАМЧАТСКОГО МАССИВА (часть третья)

© 2018 О.Б. Селянгин^{1, 2}

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006;
e-mail: selyang@kscnet.ru

²Научно-исследовательский Геотехнологический центр ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683002

В завершающей статье серии освещаются разнообразные для петро- и рудогенеза последствия контаминации никеленосной магмы кремнеземистым материалом (кварцитами), приводившей к замене ультраосновных рудовмещающих пород (кортландиты) ультрамафическими (амфиболовые ортопироксениты). Описываются продукты метаматматических изменений пироксеновых рудных кумулатов в биотит-амфиболовые породы водно-калиевым флюидом, привносившимся из вмещающих пород. Показываются неординарные результаты воздействия флюида на подобные кумулаты с реликтами ксенолитов кварцитов — с образованием рудных гранофировых автобрекчий, а также рудоносные производные процесса смешения магм (автоконтаминации). Предложена внутриформационная классификация медно-никелевых руд по их ассоциациям с вмещающими породами разного состава и происхождения — от ювенильных магматических ультрабазитов, контаминированных и ультрамафитов и меланодиоритов до гибридных гранитоидов. Обсуждаются вопросы динамики формирования интрузивных рудно-магматических систем.

Ключевые слова: контаминация, реликты ксенолитов, флюид, автобрекчии, смешение, рудно-магматические системы.

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее выразительной по последствиям и информативной по сохраняющимся признакам ранних стадий процесса является контаминация мафической рудоносной магмы веществом сиалических пород мономинерального состава. В ряде интрузивов Камчатской никеленосной провинции (КНП), локализованных на флангах сиалического Срединно-Камчатского массива (СКМ, ее северная и южная зоны) (рис. 1), их представляют кварциты. Они не наблюдались в качестве вмещающих пород изученных нами интрузивов. Однако многочисленные разнообразных (от долей мм до 10–15 см) реликты их ксенолитов, округленных резорбцией до облика «галеков» из поликристаллического кварца,

присутствуют в мафических кумулатах многих макроритмов расслоенности интрузивов, — главным образом в северной зоне КНП, свидетельствуя о наличии в недрах СКМ достаточно мощных пачек кварцитов, брекчировавшихся магмой в процессе ее внедрения.

АССИМИЛЯЦИЯ КРЕМНЕЗЕМА

При достаточном количестве или избытке привносившегося в магму кремнезема раннее насыщение им магнезиальной рудоносной магмы переводило ее состав из первичного фазового объема оливина в объем ортопироксена. Вместо рудоносных и безрудных оливиновых кумулатов (оливинитов и коротландитов) в качестве самых ранних (и в большем количестве) формиро-



Рис. 1. Схема расположения северной и южной зон (С.З. и Ю.З.) никеленосного магматизма (Камчатской никеленосной провинции) в Срединно-Камчатском массиве (СКМ). Детальнее см. (Селянгин, 2018a).

Fig. 1. The location scheme of northern and southern zones (NW and SW) of nickel-bearing magmatism (Kamchatka nickel-bearing provinces) in the Sredinny-Kamchatka Massif (SKM).

лись кумулаты реакционного ортопироксена, соответственно вместо них оказываясь рудовмещающими. Магма интрузивов с подобными кумулатами во время захвата кремнеземистого материала находилась на стадии развития ликвации и кристаллизации оливина, полностью затем растворившегося при инконгруэнтной кристаллизации ортопироксена. С раскислением расплава и заменой рано выделяющегося оливина с высоким для него значением коэффициента разделения никеля на ортопироксен с вдвое меньшим коэффициентом связана также возможность более полного перехода этого металла из силикатной фракции магмы в сосуществующую сульфидную.

Таково происхождение первичных рудовмещающих пироксенитов нескольких неполных (сокращенных сверху, со стороны более продвинутых лейкократовых дифференциатов) макроритмов расслоенности в интрузиве месторождения Шануч («рудного тела 1») (рис. 2). На поздней и постмагматической стадиях они были преобразованы в близкие по химическому составу (талк-)биотитовые амфиболиты (реликты паргасита + тремолит-актинолит + куммингтонит) и меладiorиты. Их образование по изначально реакционным ортопироксеновым кумулатам рудной магмы, контаминированной

кремнеземом, подтверждается совместным присутствием в них руды и некогда погрузившихся в кумулус резорбированных ксенолитов кварца (кварцитов), оказавшегося избыточным в реакции с оливином.

Шанучское месторождение богатых руд (Селянгин, 2018a), доля которых в интрузиве существенно превышает их растворимость в магме, образовано несколькими порциями контаминированной рудоносной магмы в режиме относительно высокой частоты их поступлений в интрузив. В таких условиях в каждой из предыдущих порций магмы до поступления следующей успевали сформироваться практически лишь рудовмещающие ортопироксениты — базальные слои недоразвившихся макроритмов расслоенности, последовательное напластование которых, при малой мощности прослоев разделяющих их пород, и образовало практически единое для отработки (по кондициям руды), но генетически многопорционное рудное тело (рис. 2).

Начинавшийся с ортопироксенитов сокращенный ряд минералов и соответствующих им кумулатных пород магмы, контаминированной кварцем, из которого исчезали оливин и кортландиты, далее мог продолжаться либо выделением уменьшенной доли котектической ассоциации $Orx + Crx$ с формированием малых объемов безрудных вебстеритов и мелано-габброноритов, либо постепенно разрыхляющимся ортопироксеновым кумулусом будущих меланоритов, — нередко с рудной вкрапленностью, убывающей вверх по разрезам. Эти серии завершались позднейшими для всей формации кумулатами безрудных котектических ($Orx \pm Crx + Pl + Il + Ap$) лейкогабброноритов и, в основном, лейкоконоритов. На поздних стадиях эти кумулаты были метамагматически преобразованы в биотит-амфиболовые мелано- и лейкогаббро.

В свете задач прогноза и поисков в районах развития никеленосных формаций, подобных свойственной КНП, здесь (как ранее для кортландитов (Селянгин, 2018б) необходимо подчеркнуть разницу в рудоносности изначально одинаковых по минеральному составу, но (в отличие от кортландитов) генетически различных пород. Ортопироксениты в качестве членов нормального ряда кристаллических дифференциатов исходной, не контаминированной рудоносной магмы, следующие за рудовмещающими кортландитами, являются безрудными, а в качестве кумулатов магмы, контаминированной кремнеземом до насыщения, заменяют кортландиты и, соответственно, оказываются самыми ранними и рудовмещающими. Или, говоря категоричнее: безрудные ортопироксениты КНП должны быть, в основном, продуктами чистой дифференциации исходной рудоносной магмы, руда

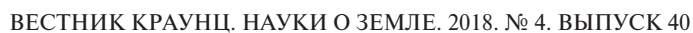


Рис. 2. Разрезы «рудных тел» (интрузивов рудных тел — И.Р.Т.) и их фрагментов в районе месторождения Шануч. Составлены автором по керну разведочных скважин ЗАО НПК «Геотехнология» (2005 г.): 1 — кварцевые диориты, гранодиориты, плагиограниты; 2 — лейкократовые котектические биотит-амфиболовые габбро и габбродиориты; 3 — пойкилитовые биотит-амфиболовые меладiorиты; 4 — пойкилитовые амфибол-биотитовые меладiorиты; 5 — апоортопироксенитовые (талк) биотитовые амфиболиты (И.Р.Т.-1), талькиты и биотит-амфибол-плагиоклазовые талькиты (другие тела); 6 — гранофил: интерстициальный «капельный» в подплавленных ксенолитах кристаллических сланцев и гнейсо-гранитов; нормальный (с ограненными ихтиоглиптами) в мезостазисе меладiorитов, апопироксенитовых амфиболитов и в сплошных массах смешанной рудно-силикатной эмульсии с «галками»-реликтами кварца и включениями апоортопироксенитовых амфиболитов; 7 — сульфидная медно-никелевая руда, слева направо: вкрапленная, гнездовая, брекчиевидная и массивная; 8 — позднемеловые гнейсо-граниты, вмещающие интрузивы никеленосного комплекса, и их ксенолиты; 9 — ксенолиты кристаллических сланцев камчатской серии; 10 — кварц-полевошпат-биотитовая порода с гранатом, ставролитом и голубым кианитом — ксенолит из колпаковской серии фундамента СКМ (?); 11 — включения-реликты резорбированного кварца; 12 — брекчии зон разломов. И.Р.Т.-1 — интрузив, вмещающий месторождение Шануч. Римские цифры маркируют выделяемые маккоритмы расчлененности интрузивов. Крупные цифры слева от колонок — отметки глубин скважин на участках пересечения рудоносных интрузивов, мелкие — номера образцов. Положение интрузивов и ориентация скважин в (Селянгин, 2014а).

Fig. 2. Cross-sections of ore bodies (intrusions of ore bodies — IOB) and their fragments in the area of the Shanuch Deposit were worked out using the exploratory wells core of ZAO NPK Geotechnologiya (2005): 1 — quartz diorites, grano-diorites, plagio-granites; 2 — leucocratic cotectic biotite-amphibole gabbro and gabbro-diorites; 3 — poikilit biotite-amphibole meladiorites; 4 — poikilitic amphibole-biotite meladiorites; 5 — aporthopyroxenitic (talcum)-biotitic amphiboles, talcites and biotite-amphibole-plagioclase talcites (other bodies); 6 — granophyr: interstitial «drop» in molten xenoliths of crystalline schists and gneiss-granites; normal (with faceted ichthyoglyptes) in mesostasis of meladiorites, apopyroxenite amphibolites and in solid masses of mixed ore-silicate emulsion with «pebbles»-relicts of quartz and inclusions of aporthopyroxenite amphibolites; 7 — sulphide copper-nickel ore, from left to right: interspersed, nested, brecciated and massive; 8 — Late Cretaceous gneiss granites, enclosing intrusions of nickel-bearing complex, and their xenoliths; 9 — xenoliths of the crystalline schists of Kamchatka series; 10 — quartz-feldspar-biotite rock with garnet, staurolite and blue kyanite — xenoliths from Kolpakov's series of the SKM's basement; 11 — inclusions-relicts of resorbed quartz; 12 — fault zones breccias. I.R.T.-1 — is the intrusion from the enclosing Shanuch Deposit. Roman numerals mark the allocated macro-rhythms of the stratification of intrusions. Large numbers to the left of the columns denote wells depths at the intersections of ore-bearing intrusives, small denote sample numbers. For intrusions locations and wells orientation see (Selyangin, 2014a).

которой отделялась с предшествующими им ультраосновными кумулатами (кортландитами); рудовмещающие ортопироксениты могут быть только реакционными, то есть дифференциатами рудоносной магмы, контаминированной веществом, богатым кремнеземом.

Поскольку реально рудовмещающими (как и в случае коротландитов) могут оказаться лишь нижние части слоев таких ортопироксенитов (или позднее замещавших их амфиболитов), присутствие в их видимо безрудных частях реликтов ксеногенного кварца надо считать одним из поисковых признаков возможного оруженения.

Чаще, однако, руда, варьируя по содержанию, распределялась по всей мощности первично ортопироксенитовых слоев, вытесняя из них силикатную интеркумуляусную жидкость, а при обычной сохранности над ними не успевавших уплотниться в эти слои рыхлых разностей пироксенового кумулуса (потенциальных меланогабброидов, превращенных в биотит-амфиболовые меладiorиты) частично, как отмечалось, оставалась и в них в виде разубоживающейся кверху вкрапленности.

Контаминация рудонесущей магмы могла в определенной мере влиять и на состав рудного расплава. На Шанучском рудном поле

(Селянгин, 2018а) в некоторых ее внедрениях в гнейсо-граниты в массивной и брекчиевидной руде вместе с микровключениями-реликтами полевых шпатов и кварца присутствуют также мелкие (0.2–0.5 мм) кристаллы новообразованного гидрограната состава чистого альмандина с 2 мас.% H_2O , свидетельствующие о реакциях между сульфидной и алюмосиликатными фазами. Ранее по наблюдениям в аншлифах каверн с характерными формами отрицательных кристаллов вероятное присутствие в руде граната отмечалось В.В. Кононовым (Селянгин и др., 2006¹). Другой пример подобной реакции, обогащавшей руду никелем и медью за счет связывания ее железа в силикатную фазу, представляет кристаллизация железистого биотита на ее контактах с остаточным кислым расплавом в рыхлых пироксеновых кумулатах, метаматически преобразованных в меладiorиты, и в их автобрекчиевых разностях. В отмеченных реак-

¹Селянгин О.Б. (отв. исп.), Кононов В.В., Сидоров М.Д. и др. Сравнительное прогнозно-геохимическое изучение рудоносных и безрудных интрузий Шанучского рудного поля с целью разработки стратегии ГРП (отчет по договору №2 от 29.06.2005г.). Архив НИГТЦ ДВО РАН. Петропавловск-Камчатский. 2006. 250 с.

циях пирротинный компонент руды замещался пиритом. Здесь же выделялись мелкие зерна магнетита: по-видимому, контаминация рудной магмы могла приводить к локальному повышению фугитивности кислорода.

Руды, отлагавшиеся в подобных (реакционных) пироксенитах, позднее амфиболизированных (рис. 3а–в), можно называть **рудами ортопироксенитовых кумулатов магм, контаминированных кремнеземом**.

В отличие от рудных ортопироксенитов месторождения Шануч, содержащих реликты ксеногенного кварца и позднее превращенных в более кремнеземистые и относительно низкоглиноземистые амфиболиты, сходные по характеру, но не содержавшие таких реликтов рудные (биотит)-амфибол-плагноклазовые ортопироксениты других тел Шанучского поля (интрузив рудного тела 4 и отдельные макроритмы тел 2 и 4–1, рис. 2) сохранялись неизменными до постмагматической стадии, когда были превращены в соответствующие талькиты. Магма, сформировавшая эти тела, ассимилировала кремнезем-глиноземистый материал вмещающих гнейсо-гранитов с субэвтектическим соотношением этих компонентов, что подтверждается присутствием реликтов их частично плавленных ксенолитов.

ФЛЮИДНЫЕ КОНТАМИНАНТЫ И МЕТАМАГМАТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НЕОТВЕРДЕВШИХ КУМУЛАТОВ

Как отмечалось, рыхлые разности пироксеновых протокумулятов габброидных частей кумулатных серий магм, в разной степени контаминированных, после их осаждения, но до полного отвердевания становились восприимчивыми (реакционноспособными) к привносимому водно-щелочному (существенно калиевому) флюиду, подвергаясь глубоким преобразованиям поздне-(мета-)магматической стадии (рис. 3г–е). Диффузионное проникновение флюида из вмещающих пород в соответствующие слои кумулатов достигало первых сотен метров. Это обеспечивало полное изменение таких кумулатов в малых телах, но в крупных — лишь в их узких приконтактных зонах.

Несмотря на особенную подверженность метаматическим преобразованиям пород малых интрузивов, значение этого явления для КНП в целом оказывается существенным — как из-за широкого распространения здесь именно малых тел, так и ввиду приуроченности выявленного до сих пор оруденения промышленного или близкого к нему масштаба только к отдельным из таких малых интрузивов. Про-

гнозно-поисковая оценка тел такого состава (Волынец, Шилин, 1964; Зимин, 1973) должна учитывать непервичный характер их пород. Их прототипы представляют существенно пироксеновые разности кумулатов, сохранившиеся во внутренних частях более крупных интрузивов. С метаматическим преобразованием кумулатов малых тел (в том числе содержащих реликты недоусвоенных магмой кремнеземистых контаминантов) связано также расширение спектра парагенезисов руда–порода до средних и кислых составов пород со структурами, для глубинных интрузивов экзотическими (гранофиры).

В реакциях пироксенов с накопившимся в остаточном расплаве инертным (потенциально плагноклазовым) глиноземом и высокоподвижными водой и окисью калия происходило их замещение существенно менее кремнеземистой ассоциацией инконгруэнтно кристаллизовавшихся биотита и Са-амфибола (\pm куммингтонит), — в заметно большем объеме и с комплементарным *in situ*-раскислением остаточного расплава. Новообразованные минералы наследовали структурную позицию исходных пироксенов в качестве хадакристаллов, и их магнетиальность/железистость. Местами приращение объема системы приводило к локальному ее автобрекчированию, наблюдения которого в малых коренных выходах ранее привели к ошибочному предположению о возможности интрузивно-протрузивного внедрения тел Шанучского рудного поля (Селянгин, 2003).

Наиболее восприимчивыми к водно-калиевому флюиду были кумулаты с достаточно высоким («стехиометрическим») соотношением кристаллов и глиноземистого расплава. В слабо или совсем неконтаминированной магме это были безрудные двупироксеновые разности, следовавшие за вебстеритами, а в магме, существенно разбавленной глинозем-кремнеземистым материалом — рудосодержащие ортопироксеновые разности над реакционными рудными ортопироксенитами (их неуплотненный кумулус), или в неполных самостоятельных макроритмах (рис. 2). На этих горизонтах пироксены замещались полностью, а расплав раскислялся до предельного плагногранитного состава. В новых минеральных агрегатах, образованных по двупироксеновым протокумулятам, преобладающей фазой был Са-амфибол, а по ортопироксеновым разностям — биотит. Окончательно эти продукты максимально глубокого преобразования кумулатов кристаллизовались, соответственно, в безрудные биотит-амфиболовые меладiorиты или в их амфибол-биотитовые разности, — часто сохранявшие унаследованную рудную вкрапленность. Плагногранитный остаток в интерстициях этих

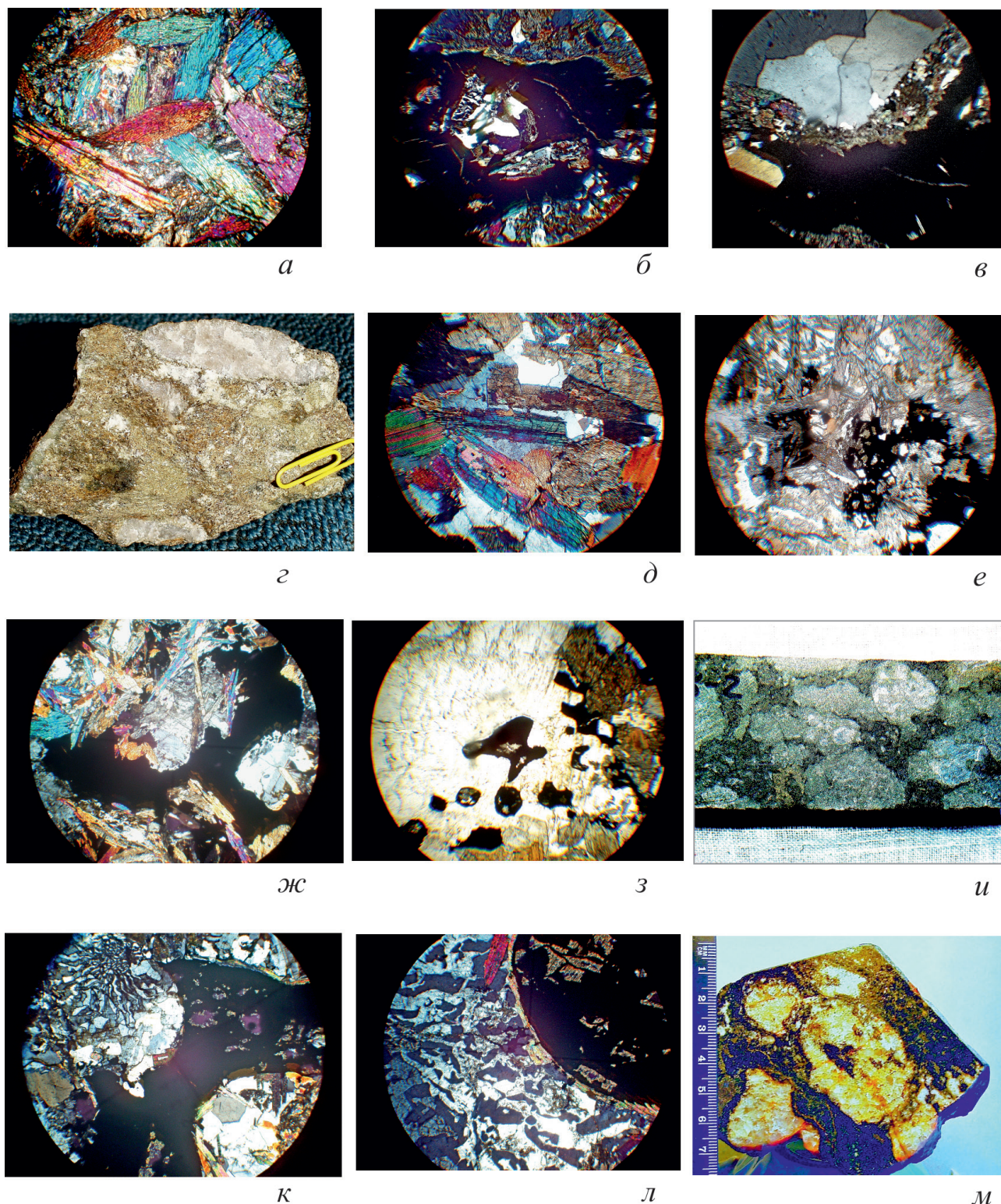


Рис. 3. Оруденение и породы, производные от контаминированных магм КНП (на микрофотографиях здесь и далее диаметр поля зрения 3.5 мм): *а* — рудовмещающий апоортопироксеновый амфиболит месторождения Шануч, николи (ник.) \times ; *б* — сульфидная руда Шануча в амфиболите с микровключением гранофира (в середине), ник. \times ; *в* — руда в амфиболите с ксенолитом кварцита (вверху), ник. \times ; *г* — реликты-«галочки» резорбированных ксенолитов кварцитов в меладiorите; *д* — биотит-амфиболовый меладiorит, ник. \times ; *е-з* — меладiorиты с вкрапленной рудой: (*е*, ник. //) — в мафической матрице, *ж* (ник. \times) и *з* (ник. //) — в плагиогранитных интерстициях; *и* — магматическая автобрекчия из обломков мафитов и реликтов кварцитовых ксенолитов в рудно-гранофировом цементе (темное), поперечник зерна 42 мм; *к*, *л* — формы включений руды в гранофире цемента брекчий; оторочки реакционного биотита на их границах; *м* — рудная автобрекчия с ксенолитами кварцитов из проявления Аннабергитовая Щель (колл. В.Е. Кунгуровой).

Fig. 3. Mineralization and rocks derived from contaminated KNP magmas (on microphotographs here and below, the diameter of the field of view is 3.5 mm): *a* — the ore-bearing aporthopyroxenite amphibolite from the Shanuch deposit, Nicoli (nic) ×; *b* — sulfide ore from Shanuch in amphibole with granophyre microinclusion (in the middle), nic. ×; *в* — ore in amphibolite with quartzite xenolith (top), nic. ×; *г* — relicts-"pebbles" of resorbed xenoliths of quartzites in meladiorite; *д* — biotite-amphibole meladiorite, nic. ×; *е-з* — meladiorites with disseminated ore: (*е*, nic. //) — in the mafic matrix, *ж* (nic. ×) and *з* (nic. //) — in plagiogranite interstices; *и* — magmatic autobrecciation from debris of mafites and relicts of quartzite xenoliths in ore-granophyre cement (dark), core diameter 42 mm; *к*, *л* — forms of ore inclusions in granofire of cement breccia; the rim of reactive biotite on their boundaries; *м* — ore autobreccia with quartzites xenoliths from the manifestation Annabergitovaya Schel (collection of V.E. Kungurova).

пород оказывался в аномальном, «незаконном» сосуществовании с магнезиальными фемическими фазами. Кумулус пироксенов, изначально агрегированный в каркасообразные структуры, при замещении мог превращаться во взвесь свободных кристаллов или сростков амфибола и биотита, осаждение которых на поверхности слоев изменявшихся пироксенитов оставляло среди них маломощные (до первых м) горизонты кислого расплава, кристаллизовавшегося в плагиограниты (рис. 2).

В подстилавших рыхлые кумулаты более плотных рудовмещающих или безрудных пироксенитах из-за дефицита глинозема пироксены от подобных преобразований в основном сохранялись, — вплоть до замещения тальком и тремолит-актинолитовой роговой обманкой в постмагматическую стадию.

Напротив, выше по разрезам макроритмов расслоенности более железистые пироксены все более рыхлого протокумуляса, с возрастающей долей все более глиноземистого интеркумулясного расплава, расходовались на реакции полностью, — при уменьшении расхода глинозема и степени раскисления расплава. Серии таких метаматматически-преобразованных кумулатов завершали их разности, образованные по лейкогабброидным безрудным производным промежуточной высокоглиноземистой базальтовой магмы-дифференциата — биотит-амфиболовые габбро с аксессуарными апатитом, сфеном, замещившим ильменит, нередко с альмандиновым гранатом. В них интерстициальный плагиогранитный материал находится в естественном равновесии с железистыми фемическими минералами.

Таким образом, рыхлые пироксеновые протокумуляты расслоенных серий малых интрузивов на интервалах исходных меланогабброидных составов были преобразованы в биотит-амфиболовые породы с унаследованно возрастающей вверх по разрезам основностью — от меладiorитов и мелано-габбродиоритов до габбро. При кардинальном различии минерального состава пород крупных и малых интрузивов, образованных по изначально одинаковому пироксеновому кумулату, их превращения имели, в общем, квазиизохимический характер. Для метаматматически-измененных разностей они в основном

сводятся к их существенно более высокой калиеваемости, — при несколько повышенной кремнеземистости, пониженных магнезиальности и известковистости (Селянгин, 2014б).

Большее или меньшее раскисление остаточных расплавов новообразуемых пород расширяло температурный интервал их кристаллизации и период проницаемости для возможной миграции силикатного и сульфидного расплавов сквозь их кристаллический каркас.

В рудоносных интрузивах северной зоны КНП исходные рыхлые разности ортопироксеновых кумулатов — так же, как и плотные рудовмещающие ортопироксениты месторождения Шануч — содержали сульфидную вкрапленность и реликты ксенолитов кварцитов, подтверждающие общность образования ортопироксенового кумулуса разных структурных типов из порций рудоносной магмы, контаминированной одним и тем же кремнеземистым веществом. С переходом от плотных к более рыхлым разностям кумулатов рудная вкрапленность в них быстро разубоживалась. Очевидно, она представляла некогда отставшую в осаждении часть рудного вещества, не успевавшего сконцентрироваться в общую залежь до отвердевания силикатной матрицы. Другим способом попадания вкрапленной руды в рыхлые разности кумулатов могло быть ее просачивание из перекрывавших их слои новых порций рудоносной магмы — при достаточно высокой частоте пополнений интрузивов.

В процессе метаматматических преобразований вкрапленность сульфидного расплава в меладiorитах частично сохранялась в их перекристаллизованной мафической части — в выделениях неправильных, угловатых форм, с относительно гладкими или «занозистыми» ограничениями на контактах с новообразованными амфиболами и слюдой (рис. 3е). Частично она перераспределялась в интерстиции с кислым остаточным расплавом, приобретая в нем каплевидные, амебообразные и т.п. формы с округло-заливчатыми, менискообразными границами сосуществовавших жидких фаз (рис. 3ж, 3з).

В связи с позднейшими мета- и постмагматическими преобразованиями контаминированных кумулатов и в соответствии со своими структурами руды также подверглись метаморфизму, перекристаллизации и локальному

переотложению в мелкие прожилки. Исходная ассоциация пирротина, пентландита и халькопирита сохранилась, по данным В.В. Кононова, лишь в середине участков массивных руд месторождения Шануч. На их краях и в дисперсных рудах (вкрапленных, прожилково-вкрапленных, и т.п.) основными рудными фазами стали никелистый пирит, виоларит и оказавшийся более устойчивым халькопирит. Метаморфизм руд КНП, влиявший на их качество, должен стать предметом специального изучения.

Имея в виду возможность проявления разных механизмов миграции рудного вещества в рыхлых кумулатах ортопироксена и их метаматическое преобразование уже в его присутствии, рассеянное в них оруденение можно в общем считать рудами с замещенными (фактически «подложенными» под них) вмещающими породами, назвав, например, *рудами метаматических меладiorитов — меланогаббродиоритов*.

МЕТАМАГМАТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В КУМУЛАТАХ С РЕЛИКТАМИ КВАРЦИТОВЫХ КСЕНОЛИТОВ, ИХ АВТОБРЕКЧИРОВАНИЕ И ОБРАЗОВАНИЕ РУДНЫХ ГРАНОФИРОВ

В процессе метаматических изменений умеренно рыхлых пироксеновых кумулатов малых интрузивов преобразованиям специфического свойства подвергались также захороненные в них реликты ксенолитов кварцитов. После замещения около них всего ортопироксена амфиболом и биотитом продолжавшийся привнос воды и щелочей в еще достаточно глиноземистый интеркумулусный расплав обеспечил вовлечение реликтов кварцитов в новый цикл растворения и усвоения. Оно имело уже другой характер — с вхождением кремнезема не в новую раннюю кристаллическую фазу (как при замещении оливин → ортопироксен), а в низкотемпературный гибридный гранитный расплав, возникавший около реликтов кварца в зонах («гало») толщиной до 35–45 мм. Если на каком-то участке толщи кумулатов кварц при этом расходовался полностью, расплав затем растворялся в интерстициях горячих кумулатов. Остаточные кислые интерстициальные расплавы на участках породы без реликтов ксенолитов кварца, равновесные с новообразуемым биотитом, постепенно эволюционировали к составу плагиогранита и кристаллизовались с образованием обычных для гранитоидов зернистых структур — невадитовой, гипидиоморфно- или аллотриоморфнозернистой.

При избытке и неполном расходовании кварца буферизуемый им расплав состава бога-

того калием и наиболее низкотемпературного водного гранита сохранялся. Около одиночных реликтов кварцитов он мог позднее кристаллизоваться в зернистый двуполевошпатовый гранит. Однако в ряде малых интрузивов КНП большая часть реликтов кварцитовых ксенолитов концентрировалась в отдельных слоях своеобразных магматических автобрекчий метакумулатов (рис. 3и). В них околосиликатный гранитный расплав, смешавшийся в крупнокапельно-струйчатую эмульсию-суспензию с жидкой рудой и с реликтами ортопироксена, кристаллизовался в необычный для глубинных условий гранофир, образуя базальный рудно-гранофировый цемент брекчий.

Слои таких брекчий имеют мощность до первых метров (рис. 2) и состоят из обломков бывших рудосодержавших ортопироксенитов (45–55 об.%) и реликтов-«галеков» кварцитов (12–15 об.%) в указанном композитном цементе (рис. 3к, 3л). Исходные ортопироксениты обломков (на отдельных участках границ с переходами в меладiorиты) в разной степени подверглись поздне- и постмагматическому преобразованию в (талек)-биотитовые амфиболиты из куммингтонита и магнезиально-железистой роговой обманки.

Отдельно от ксеногенного кварца гранофиры сколь-нибудь значимых объемов в интрузивах КНП не образуют, но в достаточно крупных массах обсуждаемых брекчий доля их смеси с рудой составляет 35–40 об.%, из которых на долю вкраплений и мелких гнезд руды (от первых мм до 3–4 см) приходится 5–8%. Гранофиры представлены олигоклазовой разностью, калиевый полевой шпат в них не обнаружен.

При всей экзотичности для глубинных интрузивов состава и структуры цемента рудно-магматических брекчий с пластовыми формами залегания, в КНП они представляют устойчивый тип рудоносных пород, неоднократно проявлявшийся в разных телах, кумулаты которых содержали достаточную долю ксеногенного кварца и подвергались метаматическим преобразованиям.

В отношении генезиса брекчий наиболее информативны взаимоотношения гранофиров и руды, являющиеся результатом совмещения и взаимодействия разнородных физико-химических и динамических процессов. Каплевидные и струйчато-заливчатые формы рудных вкраплений в гранофире (рис. 3к, 3л) свидетельствуют о былом сосуществовании кислого силикатного и сульфидного расплавов в образованной ими рудно-силикатной эмульсии при температуре водонасыщенного гранитного минимума. С другой стороны, неразделенность, нерасслоенность этой достаточно грубой эмульсии двух

жидкостей резко различной плотности указывает на кратковременность их сосуществования в этой структуре. Ее сохранность до полного отвердевания смеси обеспечивал единственно возможный для этого тип экспрессной, «закалочной» раскристаллизации силикатного расплава в гранофир, фиксирующий все компоненты брекчии вскоре после их совмещения.

Такая кристаллизация, требующая резкого переохлаждения расплава, несвойственна магмам медленно остывающих глубинных интрузивов, и гранофировые фации в них, как правило, отсутствуют (Ферштатер, Бородин, 1974). Анализ перечисленных противоречий приводит к заключению, что в интрузивах КНП главным фактором кристаллизации кислого расплава в гранофир было не тепловое, а концентрационное его переохлаждение вследствие быстрого изменения состава. Очевидно, механизмом образования рудно-силикатной смеси и одновременно предпосылкой ее быстро следовавшего «схватывания» в качестве цемента брекчии мог быть лишь сам акт брекчирования, внезапно приводившего в контакт способные реагировать друг с другом, но до этого изолированные фазы некоего эффективно жесткого минерального агрегата (полутвердевшей кумулатной породы) общей губчатой структуры. Им мог быть ортопироксеновый кумулат неравномерных плотности упаковки и степени метаматматической изменен-

ности, с вкраплениями сульфидной жидкости и относительно равномерно распределенными в нем реликтами кварца — с соединяющимися «карманами» гранитного расплава вокруг них. Приращение объема системы в результате флюидного привноса, вызванных им минеральных новообразований и возникновения гибридного (ксеногенный кварц + компоненты кумулатов мафической магмы + водно-калиевый флюид) гранитного (потенциально двуполевошпатового) расплава приводило к автобрекчированию всего мозаично-неравновесного агрегата. В контакте с богатым калием кислым расплавом оказывались ортопироксены и рудный расплав, сохранившиеся во внутренних зонах (в узлах и «прутьях») его мафического каркаса. Концентрационное переохлаждение гранитного расплава в возникавших брекчиях происходило в результате изменения его состава за счет изъятия из него ортоклазового компонента и воды на образование биотита в реакциях с реликтовым ортопироксеном и рудой, высвобождавшимися из обломков мафитов. Оно сопровождалось некоторым дополнительным растворением кварца и приводило к смещению состава расплава от изначально близкого к тройной, наиболее низкотемпературной гранитной эвтектике, к составу двойной, менее водной, более кремнеземистой и высокотемпературной плагиогранитной (рис. 4), оказывавшемуся в области солидуса.

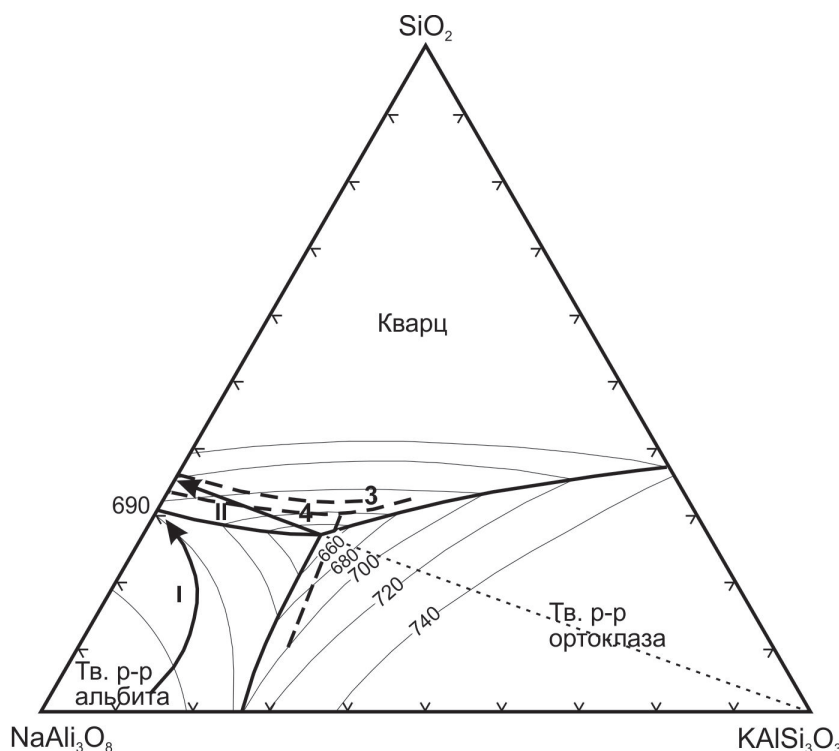


Рис. 4. Вероятные пути эволюции интеркумулусного расплава пироксеновых кумулатов, метаматматически-преобразуемых с привносом водно-калиевого флюида (I), и гибридного гранитного расплава, возникавшего вокруг захороненных в них реликтов ксенолитов кварцитов (II) на диаграмме плавкости системы альбит — кварц — ортоклаз в условиях насыщения водой: при давлении 5 кбар (Luth et al., 1964), и при 4 и 3 кбар (цифры на котектических линиях, нанесенных пунктиром) по (Tuttle, Bowen, 1958). Точечный пунктир — линия фракционирования ортоклазового компонента гранитного расплава при его кристаллизации в гранофир с выделением реакционного биотита (см. текст).

Fig. 4. Probable ways of evolution of the intercumulus melt of pyroxene cumulates, metamagmatically transformed with admixture of water-potassium fluid (I), and a hybrid granite melt that appeared around the relicts of quartzites (II) xenoliths buried in them on the fusibility curve of the albite-quartz-orthoclase system under water saturation conditions: at a pressure of 5 kbar (Luth et al., 1964), and at 4 and 3 kbar (figures on dotted cotectic lines) according to (Tuttle, Bowen, 1958). The dotted line denotes fractionation train of the orthoclase component in the granite melt when it crystallizes into granophyre with the effusion of reactive biotite (see text).

ности, с вкраплениями сульфидной жидкости и относительно равномерно распределенными в нем реликтами кварца — с соединяющимися «карманами» гранитного расплава вокруг них. Приращение объема системы в результате флюидного привноса, вызванных им минеральных новообразований и возникновения гибридного (ксеногенный кварц + компоненты кумулатов мафической магмы + водно-калиевый флюид) гранитного (потенциально двуполевошпатового) расплава приводило к автобрекчированию всего мозаично-неравновесного агрегата. В контакте с богатым калием кислым расплавом оказывались ортопироксены и рудный расплав, сохранившиеся во внутренних зонах (в узлах и «прутьях») его мафического каркаса. Концентрационное переохлаждение гранитного расплава в возникавших брекчиях происходило в результате изменения его состава за счет изъятия из него ортоклазового компонента и воды на образование биотита в реакциях с реликтовым ортопироксеном и рудой, высвобождавшимися из обломков мафитов. Оно сопровождалось некоторым дополнительным растворением кварца и приводило к смещению состава расплава от изначально близкого к тройной, наиболее низкотемпературной гранитной эвтектике, к составу двойной, менее водной, более кремнеземистой и высокотемпературной плагиогранитной (рис. 4), оказывавшемуся в области солидуса.

Основная часть руды в описанных автобрекчиях содержится (вкраплена) непосредственно в участках гранитного состава. Возникновение этого парагенезиса только в присутствии реликтов кварца и обломков первично рудовмещающей мафической породы, а также отмеченная кратковременность его существования в жидком состоянии (быстрота «схватывания») исключают возможность независимого от брекчий образования рудно-гранофировой эмульсии, — так же, как и ее отделения от брекчий в самостоятельные объемы.

Подобные брекчии целиком могут рассматриваться в качестве самостоятельного, сравнительно редкого, но в КНП устойчиво проявляющегося типа относительно бедных *руд гранофировых автобрекчий метаматитов*.

В южной зоне этот тип проявлен в единственном выходе подобных рудоносных брекчий (по нашей петрографической реинтерпретации материалов последних его исследователей (Степанов и др., 2011²), известном как рудопроявление Аннабергитовая Щель. Оно обнажается близ северо-западной (былой придонной) части интрузива Кувалорог (Селянгин, 2018б). Рудные гранофировые автобрекчии (рис. 3м) здесь выходят в виде слоя, перекрываемого апопироксеновыми амфиболитами. Контакт между слоями наклонен к востоку, аналогично падению расчлененности опрокинутого интрузива Кувалорог. Обломки бывших ультрамафитов в этих брекчиях сложены более крупнозернистыми амфиболитами сравнительно с шанучскими, часть из них несет обрывки узких (мм) переходных зон меладiorит-плагиигранитного состава, — очевидно, до автобрекчирования слоя на некоторых его участках отделявших мафиты от кислых околосварцевых выплавок.

Изучавшиеся в качестве потенциальных руд, образцы брекчиевых меладiorитов проявления Аннабергитовая Щель были подвергнуты валовому химическому анализу (Степанов и др., 2011), без разделения собственно рудной и силикатной составляющих. Для оценки состава последней анализы были пересчитаны нами на безжелезистые составы, показавшие тренды и ряды механических смесей нормальных диоритов-меладiorитов с контаминантами субгранитоидного и чисто кварцевого состава (рис. 5). Доля реликтов последнего достигает 70%.

² Степанов В.А., Кунгурова В.Е., Сидоров М.Д., Новаков Р.М. Отчет о результатах прогнозных геолого-геохимических, минералогических, петрофизических исследований рудопроявлений и вмещающих руды пород интрузивного комплекса и оценки платиноносности руд и пород базит-ультрабазитового интрузивного комплекса района рудопроявления Аннабергитовая Щель. Петропавловск-Камчатский. Архив НИГТЦ ДВО РАН, 2011. 145 с.

Сосуществование генетически далеко отстоящих друг от друга рудного и гранитного вещества — производных разных путей и механизмов эволюции изначально единой магмы — делает правомерным учет состава гранофира в ряду других генетически разнородных рудовмещающих пород.

СМЕШЕНИЕ МАГМ

При периодическом пополнении интрузивов КНП глубинной магмой происходило либо выталкивание остаточных магм-дифференциатов предшествовавших порций на более высокие уровни в коре, либо смешение этих расплавов, либо оба эти процесса в разных соотношениях. Результат зависел от степени дифференциации магмы-резидента и возможной докамерной дифференциации магмы пополнения, от объемных пропорций этих ингредиентов и гидродинамического режима процесса: с образованием в резидентной магме придонного слоя или напорных «фонтанов» новой магмы с их турбулентным перемешиванием, и т.п. Здесь мы кратко обсудим признаки и последствия вероятного смешения.

Поскольку рудоотделение, как показывают кумулаты Восточно-Геофизического интрузива (Селянгин, 2018б), начиналось уже в ближайшей к исходной магме КНП и не требовало ее предварительной дифференциации, смешение ее новых порций с эволюционировавшими разностями в интрузивах к растворению руды не приводило, хотя и уменьшало ее относительную долю.

Как и контаминация рудоносной магмы кремнеземом, ее смешение с достаточно кислыми жидкими дифференциатами предшествующих порций заполнения интрузивов также представляло механизм раннего раскисления (фельзификации) ее отдельных порций и возможного образования ортопироксеновых рудовмещающих кумулатов вместо оливиновых, а из-за присутствия в кислом ингредиенте глинозема — также и более или менее полной замены вебстеритов меланоритами. Примером такого происхождения *руд кумулатов смешанных магм* могут быть плохо обнаженные, в основном наблюдаемые в глыбовых развалах, сидеронитовые ортопироксениты рудопроявления Рассоха у северо-восточной (близкой к апикальной) оконечности интрузива Кувалорог, кверху переходящие в меланориты. По-видимому, они слагают линзующуюся «подвешенную» залежь. Несколько шлифов этих пород были любезно предоставлены нам Г.В. Кувакиным, обследовавшим указанное проявление. Рудные кумулаты сложены свежим (рис. 6а) или оталькованным ортопироксеном и отличаются отсутствием ксе-

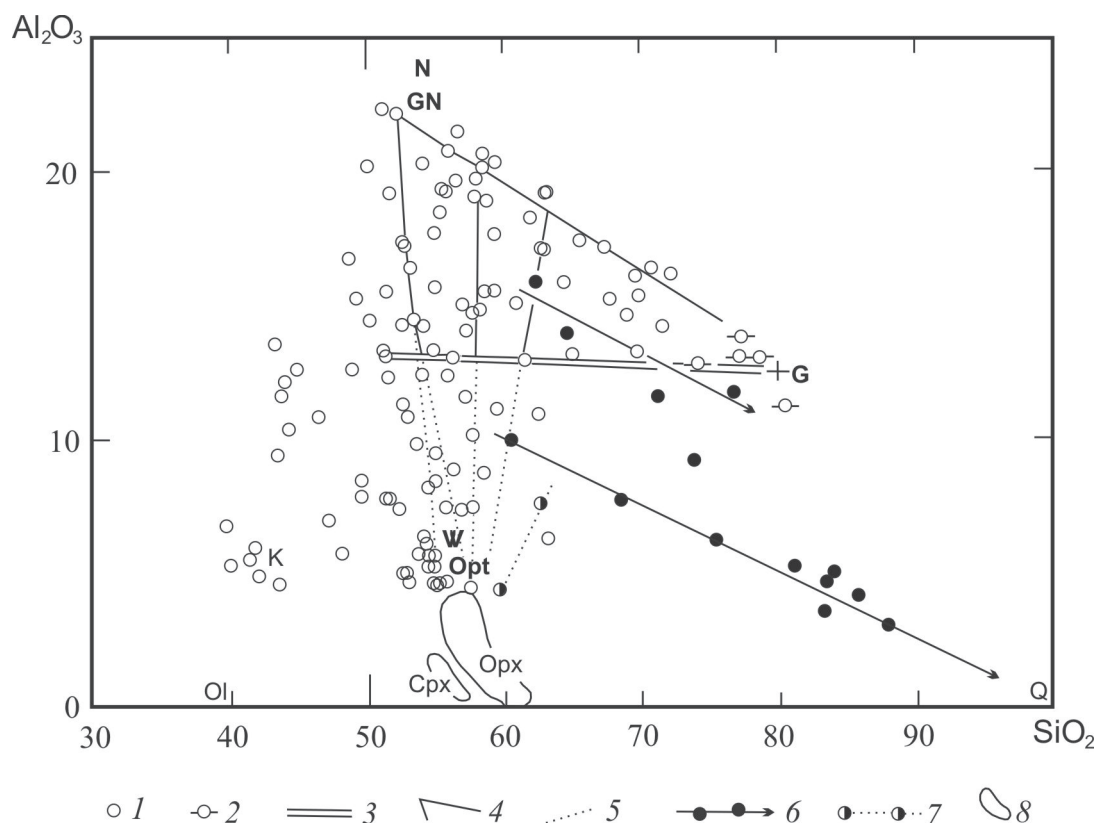


Рис. 5. Соотношение серий никеленосных магматитов КНП и их контаминантов в координатах $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$: 1 — фигуративные точки пород интрузивов никеленосной формации, северная зона КНП (Шанучское рудное поле); 2 — вмещающие гнейсо-граниты; 3 — линия смешения исходной мафической магмы с кислыми контаминантами; 4 — тренды дифференциации в разной степени контаминированных магм; 5 — линии фракционирования минералов и их котектических ассоциаций, формирующих ряды пород-кумулятов в системах расслоенности интрузивов: К — кортландитов, Opt — ортопироксенитов, W — вебстеритов, N, GN — норитов и габброноритов; G — граниты; 6 — рудоносные брекчиевидные породы рудопроявления Аннабергитовая Щель (южная зона КНП) на трендах смешения исходных для них мафитов с кремнекислыми контаминантами; 7 — составы обломков апоортопироксенитовых (талк-) биотитовых амфиболитов (менее глиноземистый) и участков гранофирового ортопироксенита (талкита) в цементе рудных магматических брекчий в интрузивах Шанучского поля; 8 — области составов пироксенов. Ol — оливин, Orx — ортопироксен, Cpx — клинопироксен, Q — кварц.

Fig. 5. The ratio of series of nickel-bearing magmatites of KNP and their contaminants in $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ coordinates: 1 — figurative points of rocks of intrusions of nickel-bearing formation, northern zone of CNR (Shanuch ore field); 2 — enclosing gneiss granites; 3 — the mixing line of the original mafic magma with acidic contaminants; 4 — trends of differentiation in varying degrees of contaminated magmas; 5 — fractionation lines of minerals and their cotectic associations forming series of cumulate rocks in the stratification systems of intrusions: K — cortlandites, Ort — orthopyroxenites, W — websterites, N, GN — norites and gabbronorites; G — granites; 6 — ore-bearing brecciated rocks of the Annabergitovaya Schel (southern zone of the KNP) on the mixing trends of the initial mafites with silicic acid contaminants; 7 — compositions of fragments of aporthopyroxenite (talck-) biotite amphibolites (less aluminous) and segments of granophyric orthopyroxenite (talckite) in the cement of ore magmatic breccias in the intrusions of the Shanuchsky field; 8 — areas of pyroxene compositions. Ol — olivine, Orx — orthopyroxene, Cpx — clinopyroxene, Q — quartz.

нолитов кварца, — косвенно свидетельствующим в пользу смешения, хотя для вполне уверенных выводов о происхождении этих рудных пироксенитов материал недостаточно представлен.

В ассоциации производных водной высокомагнезиальной магмы КНП, в случаях смешения ее позднейших кислых, обогащенных калием дериватов с малыми порциями магмы, близкой к исходной, возникала гибридная магма, выделявшая ультрамафические кумулаты состава слюдяных (флогопит-биотитовых) горнблен-

дитов со следами руды в их базальных слоях. Ксеногенного материала в них не встречено. В низах их редких и маломощных (десятки, до сотни м) маккоритмов встречаются горизонты с реликтовым оливином в венцовых оторочках реакционного ортопироксена и гидроксилсодержащих фаз. Выразительный пример таких пород представлен в базальном слое маккоритма II-5 интрузива Кувалорог, содержащем до 25–30 об.% экзотичных для массива, интенсивно резорбированных мегакристов (до 40 мм)

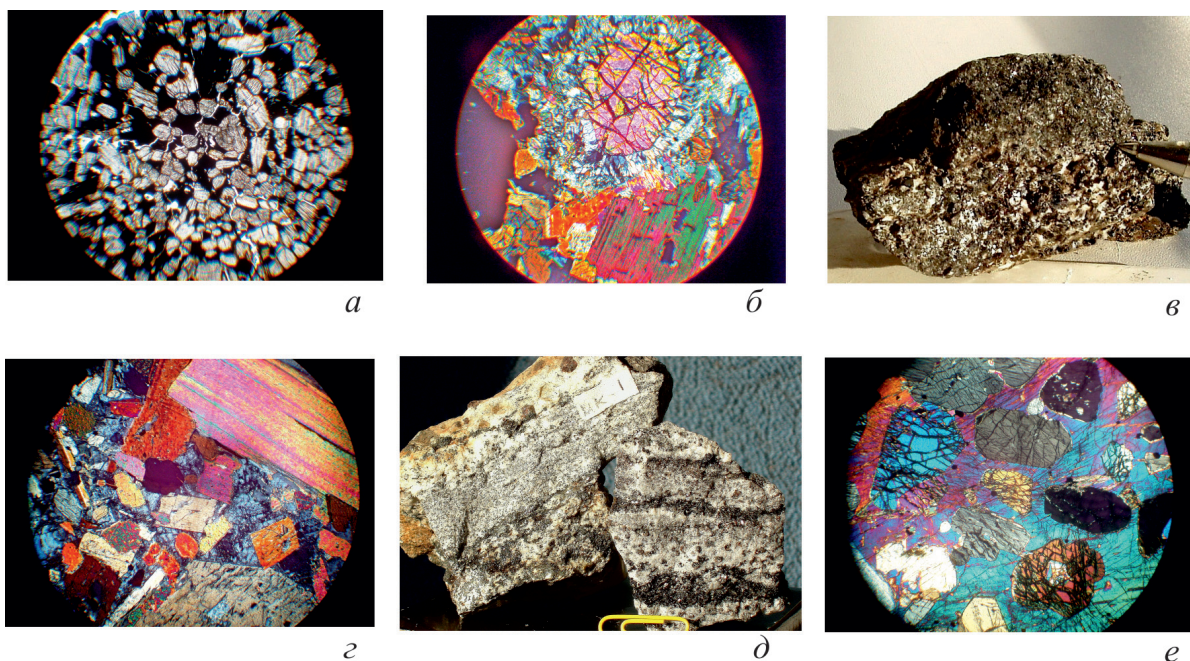


Рис. 6. Породы и руды, производные смешанных магм КНП: *а* — рудный ортопироксенит сидеронитовой структуры, рудопоявление Рассоха (колл. Г.В. Кувакина); *б* — резорбированный и замещаемый ортопироксеном оливин ксенокристов из базального слоя маккоритма слюдяных горнблендитов, ник. \times ; *в* — их расслоенная разность (горнблендит — плагиоклазовый слюдит); *г* — слюдяной горнблендит середины маккоритма, ник. \times ; *д* — расслоенные ильменит-гранатые диориты-плагиограниты в кровле маккоритма слюдяных горнблендитов; *е* — плагиоклаз-содержащий оливиновый ортопироксеновый кумулат смешанной магмы.

Fig. 6. Rocks and ores, retinue from mixed KNP magmas: *a* — orthopyroxenite of sideronitic texture, Rassokh mineralization (from collection of G.N. Kuvakin); *b* — resorbed and substituted by orthopyroxene olivine of xenocrysts from basaltic layer of macrorhythm of micaceous hornblendites, nic. \times . *в* — their laminated variation (hornblendite — plagioclase glimmerite); *г* — micaceous hornblendite of the middle macrorhythm, nic. \times ; *д* — laminated titanite-ferritic diorite-plagiogranite in the roof of the macrorhythm of micaceous hornblendites; *е* — plagioclase-bearing olivine orthopyroxene accumulative rock of the mixed magma.

оливина $Fo_{84.6}$ и редкие кристаллы никелистого пирротина (рис. 6б). Основную часть разрезов таких маккоритмов составляет кумулат котектической ассоциации биотита и амфиболов (паргастит \rightarrow магнезиально-железистая роговая обманка + куммингтонит (рис. 6г)), обычно расслаивающийся на слюдиты и горнблендиты (двучленные ритмы мощностью до первых дециметров, рис. 6в). Интеркумулусный материал имеет состав гранодиорита и переходит в завершающие разрез слои диоритов-плагиогранитов, обогащенных альмандином, ильменитом и апатитом (рис. 6д).

Редкая рудная вкрапленность свойственна также смешанным оливин-ортопироксеновым кумулатам ранних этапов дифференциации магм-резидентов, отделивших свои оливин и возможную руду на докамерной стадии, но при продолжении эволюции в камере интрузива — на этапах формирования пироксеновых кумулатов — еще пополнявшихся небольшими порциями магмы, отстававшей в проводнике, с последними фенокристами оливина и редкими вкраплениями сульфидного расплава. Такие кумулаты представлены амфиболовыми оливиновыми ортопироксенитами базальных слоев некоторых

маккоритмов расслоенности интрузива Кувалорог. Привносимый в магму этих кумулатов оливин оказывался в структурно-равноправных (безреакционных) отношениях с ортопироксеном (рис. 6е), свойственных гранулярным гарцбургитам.

Кроме случая с отмеченными мегакристами оливина, во всех смешанных кумулатах он представлен более железистыми субидiomорфными разностями Fo_{82-76} , а в интеркумулусе вместе с амфиболом и слюдой присутствует плагиоклаз. Это может указывать, что добавлявшиеся порции магм успевали испытать некоторую контаминацию веществом глиноземистых, но при этом и достаточно железистых кристаллических сланцев. Рудные вкрапления в основном представлены никелистым пирротинном. По всей видимости, небольшие порции оливин- и рудосодержащей магмы, короткими импульсами добавлявшиеся «вдогон» основным объемам пополнений интрузива, представляют их отстававшие при первичном внедрении доли, успевавшие проэволюционировать в магмоподводящей структуре с отделением большей части оливина и руды.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РУД В ПОРОДАХ ИНТРУЗИВОВ КНП

В заключительных разделах этой статьи подводятся общие итоги работы, изложенной во всех трех статьях серии (Селянгин, 2018а, 2018б и настоящая статья).

Связь руд с вмещающими их разнообразными породами интрузивов КНП иллюстрируется диаграммой (рис. 7). Полученные данные о происхождении этого разнообразия парагенезисов позволяют сделать ряд выводов генетического и прогнозно-поискового характера.

1. Вследствие раннего извлечения никеля из силикатного расплава в несмешиваемый сульфидный и осадки последнего в интрузивах

вместе с ранними кристаллическими дифференциатами, глубокое деплетирование более поздних практически лишает их геохимического прогнозно-поискового значения. С другой стороны, сама возможность глубокого перераспределения рудного вещества внутри магматической системы означает, что безрудность основной доли ее более эволюционированных пород не является однозначным признаком их образования из безрудной магмы, и даже изолированные выходы отдельных из них сохраняют значение геолого-петрологического поискового признака. В КНП это значение существенно снижено постинтрузивной дислоцированностью тел, с

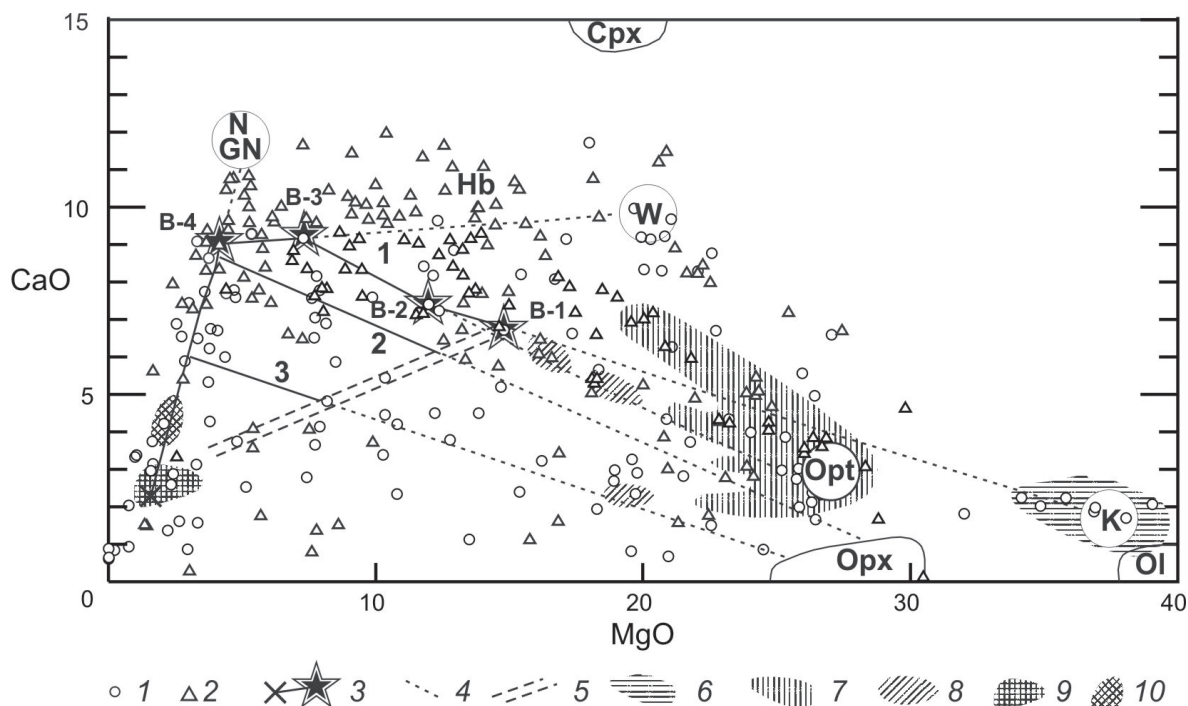


Рис. 7. Схема образования серий магматитов никеленосной формации Камчатки (КНП) в координатах MgO – CaO (Селянгин, 2014а, с изменениями) и области составов рудовмещающих пород различных генотипов: 1 — породы северной зоны КНП (Шанучское рудное поле); 2 — породы южной зоны (интрузив Кувалорог); 3 — предполагаемые исходный (В-1) и промежуточные (В-2–В-4) составы магмы никеленосной формации (звездочки) на пути ее дифференциации до состава плагиогранита (косой крестик); 4 — линии фракционирования минералов и их котектических ассоциаций (парагенезисов), последовательно формирующих породы-кумуляты (символы в кружках) в системах расслоенности интрузивов: К — кортландиты, Орт — амфиболовые ортопироксениты, W — вебстериты, N–GN — ильменитовые нориты и двупироксеновые или ортопироксен-амфиболовые габбронориты. Hb — гастингситовые горнблендиты, образующиеся при расслоении котектических амфиболовых габброноритов; 5 — линия смешения разных порций исходной магмы с глинозем-кремнеземистыми контаминантами или с кислыми дифференциатами предыдущих порций; тренды 1–3 в поле диаграммы — пути дифференциации вероятной исходной магмы (1) и ее в разной степени контаминированных (или смешанных) порций (2, 3) до общего конечного состава плагиогранита; 6–10 — рудовмещающие породы: 6 — ультраосновные дифференциаты-кумуляты исходной рудоносной магмы (кортландиты), 7 — ультрамафические дифференциаты магмы, контаминированной веществом интродуцированных кремнеземистых пород, а также смешанной с кислыми производными ее предыдущих порций — ортопироксениты и апопироксенитовые (талк-)биотитовые амфиболиты, 8 — биотит-амфиболовые меладiorиты — метаматматически преобразованные рыхлые (не подвергшиеся компакциям) разности пироксеновых кумулатов, 9 — гранофиры автобрекчий рудных амфиболитизированных ортопироксенитов с реликтами ксенолитов кварца; 10 — графит- и рудосодержащие кварцевые диориты — гранодиориты, дифференциаты рудоносной магмы, контаминированной веществом высокоглиноземистых углистых кристаллосланцев.

Символы минералов: Ol — оливин, Орх — ортопироксен, Срх — клинопироксен.

Fig. 7. Diagram of formation of magmatite series in the Kamchatka nickeliferous province (KNP) in coordinates MgO – CaO (Selyangin, 2014a, as modified) and zones of compositions of host rocks of various genotypes: 1 — rocks from the northern zone of KNP (Shanuchsky ore field); 2 — rocks from the southern zone (Kuvalorog intrusion); 3 — supposed original (B-1) and intermediate (B-2–B-4) magma compositions from the nickeliferous formation (little stars) during its differentiation to plagiogranite composition (angled cross). 4 — lines for the fractionation of minerals and their cotectic associations (parageneses), successively forming cumulative rocks (symbols in circles) in intrusion-stratification systems: K — cortlandites, Ort — amphibole orthopyroxenites, W — websterites, N–GN — ilmenite norites and bipyroxene or orthopyroxene-amphibole gabbro-norites. Hb — hastingsite mountainbendites formed during the separation of cotectic amphibole gabbro-norites; 5 — the line of mixing of different portions of the original magma with alumina-siliceous contaminants or with acid differentiations of the previous portions; Trends 1–3 in the diagram field show the ways of differentiation of the probable initial magma (1) and its varying degrees of contaminated (or mixed) portions (2, 3) to the total final plagiogranite composition; 6–10 — ore-bearing rocks: 6 — ultrabasic differentiates-cumulates of the original ore-bearing magma (cortlandites), 7 — ultramafic magma differentiates, contaminated with the substance of intruded siliceous rocks, as well as orthopyroxenites and apopyroxenite (talc) biotite mixed with acid derivatives amphibolites, 8 — biotite-amphibole meladiorites — metamagmatically transformed loose (not subjected to compaction) differences in pyroxene cumulates, 9 — granophyes of autobreakles of ore amphibolizers of orthopyroxenites with relics of quartz xenoliths; 10 — graphite and ore-bearing quartz diorites — granodiorites, differentiation of ore-bearing magma contaminated with high-alumina carbonaceous crystallate. Symbols of minerals: Ol — olivine, Opx — orthopyroxene, Cpx — clinopyroxene.

их разноориентированными перемещениями, фрагментацией и порой далеким растаскиванием фрагментов. Однако эти же дислокации могли способствовать и выведению некоторых отделившихся рудосодержащих фрагментов тел близко к поверхности.

2. Никакие из развивавшихся в КНП петрогенетических процессов не приводили к потере рудного потенциала магмы или растворению уже выделившейся руды, но большинство из них могли вызывать замену одних рудовмещающих пород другими — в процессе рудоотделения (контаминация твердофазовым веществом), или при поздне-метамагматическом замещении первичных кумулатов — в том числе с ксенолитами кварца (реакции с привнесом водно-калиевого флюида), при участии дополнительных физических процессов (смешение магм, автобрекчирование рудосодержащих пород, флотация рудной вкрапленности в адгезионных оболочках графита). В соответствии с различной ролью перечисленных факторов и механизмов в изученных интрузивах КНП выделен ряд (вероятно, не исчерпывающий) характерных ассоциаций-парагенезисов руд с рудовмещающими породами: 1) руды кумулатов исходной магмы; 2) руды ортопироксеновых кумулатов магмы, контаминированной кремнеземом; 3) комплексные флотационные графит-сульфидные руды в конечных кислых (эвмагматических) дифференциатах магмы, контаминированной веществом углестых высокоглиноземистых кристаллических сланцев; 4) руды меланогабброидов, метамагматически преобразованных в меладiorиты; 5) руды гранофировых автобрекчий; 6) руды кумулатов смешанных магм. Промышленными или близкими к ним являются или могут быть руды первого, второго и, возможно, четвертого и шестого типов. Третий и пятый парагенезисы имеют значение поисковых признаков и индикаторов

пути и механизмов эволюции открытых рудно-магматических систем.

3. В интрузивах КНП руда присутствует в перспективных для добычи концентрациях (или, напротив, совсем отсутствует) всегда вместе с сингенетическими ей, реально или потенциально рудовмещающими породами. Самостоятельно, частично отделяясь от них, руда могла в ограниченных масштабах перемещаться внутри интрузивов из верхних частей первично рудовмещающих слоев в их приподожвенные зоны, или просачиваться из рудоносной магмы последующих пополнений интрузивов в рыхлые кумулаты предыдущих, или, наоборот, подвергаться флотации. Отсутствие в сокращенных снизу макроритмах расслоенности многих интрузивов их ранних, потенциально рудосодержащих кумулатных фракций является, таким образом, результатом докамерной эволюции соответствующих порций рудоносной магмы в целом. Редкие рудные вкрапления в базальных слоях ортопироксенитов в сокращенных макроритмах, образованных смешанными магмами, всегда ассоциируют с примесью оливина. Устойчивость их парагенезиса свидетельствует о скоротечности процессов совместного выделения и транспортировки этих фаз, не оставившей времени, достаточного для их полного разделения.

4. В КНП рудоносность в большей мере присуща малым (в сотни метров) интрузивам, формировавшимся малыми, но частыми и, по всей видимости, высокоскоростными пополнениями рудоносной магмой. Они могли образовать серии сокращенных сверху макроритмов расслоенности кумулатов с одно- (интрузив Восточно-Геофизический) или многопорционными (интрузив месторождения Шануч) рудными залежами.

Напротив, крупные интрузивы типа Кувалорога формировались также крупными, но гораздо более редкими пополнениями магмой

— вероятно, по более мощным подводящим структурам, с более медленным подъемом расплавов, успевавших проходить докамерную дифференциацию с потерей рудных фракций на глубине.

5. Представление об отсутствующих в интрузивах рудных фракциях — возможно, отлагавшихся где-то в нескрытых структурных «ловушках» — могут быть получены путем обратных экстраполяций составов сформировавшихся частей кумулатных серий до их вероятных начальных членов.

6. Необходимым слагаемым современных прогнозно-поисковых работ в КНП должна быть крупномасштабная геологическая, петроструктурная и петрологическая съемка выходов пород никеленосной формации, ориентирующая направление более детальных и дорогостоящих исследований последующих этапов.

ПРЕДПОЛОЖЕНИЯ ОБ ЭВОЛЮЦИИ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ КНП

Проявления смещения магм подводят к более общей проблеме механизма пополнений интрузивов рудосодержащей или безрудной магмой, структурных условий и гидродинамики этих процессов. Представления о них неизбежно оказываются в области более или менее обоснованных предположений.

В свете полученных данных можно полагать, что в КНП даже полная безрудность каких-либо ее интрузивов или отдельных макроритмов их расслоенности не является свидетельством изначальной стерильности формировавшей их магмы в отношении сульфидной руды, поскольку находит естественное объяснение в рамках выявленного многообразия путей эволюции рудоносной магмы и разных механизмов перераспределения рудной нагрузки в формировавшихся ею породах. Анализ воздействия этих факторов наиболее актуален на примере крупнейшего интрузива Кувалорог, с наибольшими разнообразием и свежестью пород его кумулатных серий.

Как отмечалось, регулярное появление в пироксеновых кумулатах Кувалорога (как и множества малых тел или их фрагментов) вместе с примесью оливина также и вкрапленности сингенетичной ему руды является признаком рудогенности магмы КНП не как следствия стечения случайных обстоятельств, одинаково благоприятного для разных внедрений, а как изначально присущего ей или рано приобретаемого всем ее объемом свойства (например, при интродуцировании всеми внедрениями обширного бассейна сернистых черносланцевых толщ). При некоторых оптимальных сочетаниях динамики интрузивного процесса, эволюции магмы и обра-

зования благоприятных структур (интрузивных камер) оно должно реализоваться отложением руд на разных уровнях глубинности в вертикально-протяженных рудно-магматических системах.

Совпадение практической (не абсолютной) безрудности изученной части интрузива Кувалорог с отсутствием в ней как раз наиболее перспективных на орудование ультрабазитовых частей кумулатных серий также косвенно указывает, что интрузив формировался скорее дериватами исходно рудоносной, а не безрудной магмы. В этой связи важно понимание, могут ли их отсутствующие рудные фракции являться предметом поисков. Для этого необходимо знать, какие именно породы разных порций магм — исходной или преобразованных контаминацией — могли (и могли ли) остаться в качестве возможных рудоносных на технически доступных глубинах. Но, хотя общий характер серий кумулатов контаминированной магмы определим по минеральным составам их реально наблюдаемых промежуточных и конечных членов, представление о составах, рудосодержании и самом наличии их начальных фракций на глубине остается на уровне умозрения по косвенным признакам. Состав и судьба этих отсутствующих фракций с возможной рудной нагрузкой остаются главными вопросами при изучении неполных кумулатных серий исходной или контаминированных магм КНП.

Контаминация рудоносных магм силикатическим веществом («фельзификация») к исчезновению их руды не приводит (Налдретт, 2003), но, как показало изучение интрузивов КНП, изменяет состав рудовмещающих пород. В северной зоне КНП замечательным примером такой замены потенциально оливиновых рудовмещающих кумулатов на реакционные ортопироксеновые является придонная часть интрузива месторождения Шануч, — сформированного, однако, магмой, контаминированной кварцитами. Определенное содержание кремнезема в высокоглиноземистых контаминантах магмы КНП позволяет предполагать, что и при их усвоении могла происходить замена существенной доли оливиновых (кортландитовых) членов кумулатных серий КНП ортопироксенитами (вероятно, амфибол-плагиоклазовыми, с возможными реликтами оливина), должными, в таком случае, вместо них становиться рудовмещающими породами. Но хотя для большинства разнообразных кумулатных серий интрузивов КНП их реальными начальными членами являются по видимости одинаковые амфиболовые ортопироксениты, они могли быть образованы разными путями, предопределявшими и их рудоносность.

Безотносительно к характеру контаминации и степени обусловленного ею изменения состава кумулатов магмы, оставшейся рудоносной, ее рудная нагрузка должна была выделиться где-то в магматических системах. Ее наличие или отсутствие в конкретных интрузивах или в их отдельных макроритмах обусловлено, очевидно, сочетанием обсуждавшихся физико-химических факторов с чисто физическими: соотношением плотностей рудонесущей магмы и вмещающих пород, регулирующим возможность ее подъема на определенную высоту без существенной дифференциации, особенностями строения магмоподводящих структур (наличием промежуточных камер) и динамикой интрузивного процесса.

Возможность отложения руд в интрузиве могла реализоваться при выделении несмешиваемой сульфидной жидкости и развитии ассимиляции и реакций замещения еще в питавшем интрузив проводнике магмы — при достаточно высокой скорости ее подъема, увлекавшей и тяжелую, более или менее диспергированную рудную фазу, или при прохождении реакций уже в интрузивной камере — ранее и одновременно с сегрегацией и концентрацией рудного расплава в ее придонной зоне, в низах слоя кумулата. В первом случае определенное влияние на способность магмы транспортировать рудную фазу мог оказывать и состав пород-контаминантов: при ассимиляции глиноземистого материала исходная магма, выделявшая оливин, кристаллизовалась в существенно меньшей степени, чем при усвоении кремнезема с одновременной реакционной кристаллизацией ортопироксена, увеличивавшей эффективную плотность и несущую способность суспензии.

Отсутствие рудных фракций кумулатов в интрузивах КНП, по формам камер благоприятных для их отложения (имевших дно), означает, очевидно, что они заполнялись медленнее поднимавшейся рудоносной магмой, исходной или контаминируемой, частично кристаллизовавшейся и ликвировавшейся в подводящей системе, — с градиентным распределением в ней ранних силикатных минералов и капель рудного расплава, все более отстававших при подъеме. В интрузив попадали лишь безрудные фракции ортопироксенитов, в то время как более тяжелые «арьергардные» доли рудного оливинового или ортопироксенового кумулуса оставались на глубине, теряясь в проводящей системе или, возможно, осаждаясь в промежуточных камерах.

Если предполагать «многоэтажность» обсуждаемых рудно-магматических систем, то есть наличие в них промежуточных проточных очагов-интрузивов, то возможное регулярное оставление ранних, рудных частей (базальных

слоев) серий их кумулатов в таких структурных ловушках на глубине — в случае сравнительно небольших размеров системы и ее достаточно частых пополнений рудоносной магмой — могло формировать и достаточно значимые многопорционные залежи руд типа шанучских. В тектонических условиях КНП (Селянгин, 2009) не исключено их выведение близко к поверхности. На примере интрузива месторождения Шануч видно необходимое для формирования подобных тел сочетание взаимно согласующихся условий: малые размеры формируемой камеры, множественность и, очевидно, высокие частота и скорости ее пополнений рудоносной магмой.

Однако и частое пополнение малых тел не могло быть просто прерывистым «проталкиванием» одной порции магмы через одну и ту же проводящую структуру (канал, дайку, тем более — через промежуточный очаг). Всякая остановка течения в открытом книзу проводнике сопровождалась бы безвозвратным осаждением остатков рудной фракции и ранних окисных и силикатных минералов из головных частей глубинной камеры или «бездонного» проводника. Видимо, даже в сериях сближенных во времени пополнений малых интрузивов типа Шануча рудоносной магмой, успевавших формировать только базальные слои «недоразвитых» макроритмов расслоенности интрузива, все они питались новыми самостоятельными внедрениями магмы из под- или нижнекоровых глубин по новым (или возобновляемым) проводникам.

Другой стиль формирования свойствен крупным интрузивам типа Кувалорога. Его пополнение происходило преимущественно также крупными порциями магмы, но проходившими этапы докамерной дифференциации и образовавшими редуцированные снизу макроритмы расслоенности мощностью в сотни метров. Соответственно, эти крупные пополнения были и гораздо более редкими, чем в малых телах: предшествовавшие им подобные порции магмы в интрузиве по большей части успевали пройти длительные полные циклы дифференциации до образования конечных лейкогабброидных кумулатов и, очевидно, остаточных гранитоидных расплавов, отделившихся (всплывавших) на более высокие уровни в коре. За это время в гипотетических промежуточных камерах, сколь-нибудь близких к таким интрузивам по глубине и размерам, магма для очередного пополнения также успела бы закристаллизоваться и дифференцироваться до степени, немногим меньшей, чем в интрузиве, образовав его подобие на более низком уровне. Если даже в их донных частях какое-то время могла сохраняться жидкая руда, ее переотложения новыми порциями магмы в верхний интрузив сквозь отвердевший нижний

не происходило. С другой стороны, свойственная КНП устойчивость первичных парагенезисов руда — рудовмещающая порода, проявленная как в совместном их присутствии в рудоносных интрузивах, так и в совместном же отсутствии в безрудных показывает, что не происходило и сколь-нибудь масштабного отделения одной лишь руды на каких-либо барьерах (например, при протекании новой порции ликвирующей рудоносной магмы через ранее образовавшийся слой сульфидной жидкости (Naldrett et al., 1995).

По-видимому, промежуточных камер в качестве проточных для крупных тел не существовало, поскольку магма в них существенно отвердевала бы за один цикл дифференциации. С другой стороны, формируя собой уплотнения среды на путях подъема очередных порций магмы, они способствовали этому подъему за счет увеличения ее плавучести (Walker, 1989).

Видимо, для образования крупных многопорционных интрузивов типа Кувалорога надо предполагать предварительное накопление магмы на существенно более глубоких уровнях (возможно, в основании коры) и периодический прорыв каждый раз новых питающих даек. Они могли быть более мощными, чем у малых тел, и за время более медленного подъема магмы через них она в большинстве случаев успевала подвергнуться контаминации и частичной дифференциации — как это, например, проявлено в рудных пикритовых дайках Нового Квебека (Mungall, 2007). Тем не менее, могли, вероятно, быть и отдельные случаи более стремительных прорывов небольших порций рудной магмы — если справедливо предположение о происхождении обсуждавшегося рудопроявления Рассоха из смешанной магмы.

Пополнения интрузивов крупными порциями магмы, частично дифференцированной на глубине, могли завершаться их малыми дополнительными импульсами, с которыми в камеру добавлялись (проталкивались) небольшие доли магмы, отстававшей от основной порции, — с последними следами оруденения и уже с более железистым оливином.

Подобный стиль формирования крупных интрузивов КНП мог стать причиной их меньшей перспективности на оруденение.

Автор признателен своим коллегам В.Е. Кунгуровой, Е.М. Газзаевой и В.В. Ананьеву за помощь в выполнении этой работы, рецензентам за труд ознакомления с ней и высказанные полезные замечания.

Список литературы [References]

Волюнец О.Н., Шилин Н.Л. О новом для Камчатки типе рудопроявлений // ДАН. 1965. Т. 61. № 6.

С. 1412–1415. [Volynets O.N., Shilin N.L. On a type of ore manifestation, new for Kamchatka // Doklady Earth Sciences. 1965. V. 61. № 6. P. 1412–1415 (in Russian)].

Зимин С.С. Формация никеленосных роговообманковых базитов Дальнего Востока. Новосибирск. Наука, 1973. 134 с. [Zimin S.S. Formation of nickeliferous amphibole basic rocks of Far Eastern Region / Novosibirsk. Nauka. 1973. 134 p. (in Russian)].

Налдретт А.Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометалльных руд. Санкт-Петербург. СПбГУ. 2003. 487 с. [Naldrett A.J. Magmatic Sulfide Deposit of Nickel-Copper and Platinum-metal ores. St. Petersburg. St. Petersburg University. 2003. 487 p. (in Russian)].

Селянгин О.Б. Петрология никеленосных базитов Шанучского рудного поля // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2003. № 2. С. 33–35. [Selyangin O.B. Petrology of the nickel-bearing basic rocks of the Shanuch ore field // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2003. № 2. P. 33–55 (in Russian)].

Селянгин О.Б. О тектонической позиции никеленосных интрузивов Срединно-Камчатского массива // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2009. № 1. Вып. №13. С. 123–138. [Selyangin O.B. Tectonic position of nickeliferous intrusions of Sredinno-Kamchatky massif // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2009. № 1(13). P. 123–138 (in Russian)].

Селянгин О.Б. К сравнительной петрологии интрузивов северной и южной зон Камчатской никеленосной провинции. Часть первая // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2014а. № 1. Вып. 23. С. 168–184. [Selyangin O.B. Comparative petrology of intrusions in the northern and southern zones of the Kamchatka nickel-bearing province. Part one // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2014a. № 1(23). P. 168–185 (in Russian)].

Селянгин О.Б. К сравнительной петрологии интрузивов северной и южной зон Камчатской никеленосной провинции. Часть вторая // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2014б. № 2. Вып. 24. С. 95–115. [Selyangin O.B. Comparative petrology of intrusions in the northern and southern zones of the Kamchatka nickeliferous province. Part two // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2014b. № 2(24). P. 95–115 (in Russian)].

Селянгин О.Б. Контаминация магмы, особенности петрогенезиса и распределение рудного вещества в породах никеленосной формации Срединно-Камчатского массива (часть первая) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2018а. № 2. Вып. 38. С. 22–33. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2018-2-38-22-33>. [Selyangin O.B. Magma contamination, petrogenesis features and distribution of ore substance in the rocks of nickeliferous formation of Sredinny-Kamchatka massif. Part 1 // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2018a. № 2(38). P. 22–33 (in Russian)].

- Селянгин О.Б.* Контаминация магмы, особенности петрогенезиса и распределение рудного вещества в породах никеленосной формации Срединно-Камчатского массива (часть вторая) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2018б. № 3. Вып. 39. С. 9–25. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2018-3-39-9-25> [*Selyangin O.B.* Magma contamination, petrogenesis features and distribution of ore substance in the rocks of nickeliferous formation of Sredinny-Kamchatka massif. Part 2 // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2018b. № 3(39). P. 9–25 (in Russian)].
- Ферштатер Г.Б., Бородин Н.С.* Петрология магматических гранитоидов. Москва. Наука. 1975. 288 с. [*Fershtater G.B., Borodina N.S.* Petrology of the magmatic granitic rocks / Moscow. Nauka. 1975. 288 p. (in Russian)].
- Luth W.G., Jahns R.H., Tuttle O.F. et al.* The granite system at pressure of 4 to 10 kilobars // JGR. 1964. V. 69. Iss. 4. P. 759–773.
- Mungall J.E.* Crustal Contamination of Picritic Magmas During Transport Through Dikes: the Expo Intrusive Suite, Cape Smith Fold Belt, New Quebec // Journal of Petrology. 2007. V. 18. Iss. 5. P. 1021–1039. <https://doi.org/10.1093/petrology/egm009>.
- Naldrett A.J., Keats H., Sparkes K. et al.* Geology of the Voisey's Bay Ni-Cu-Co deposit, Labrador, Canada // Mining Geology Journal. 1995. V. 5. Iss. 2. P. 169–179.
- Tuttle O. F., Bowen N.L.* Origin of granite in the light of experiments studies in the system NaAlSi₃O₈–KAlSi₃O₈–SiO₂–H₂O // Geological Society of America (Memoir). 1958. V. 74. 153 p.
- Walker G.P.L.* Gravitational (density) controls on volcanism. magma chambers and intrusions // Australian Journal of Earth Science. 1989. V. 36. Iss. 2. P. 149–165.

MAGMA CONTAMINATION, PETROGENESIS FEATURES AND DISTRIBUTION OF ORE ELEMENT IN THE ROCKS OF NICKELIFEROUS FORMATION IN THE SREDINNY-KAMCHATKA MASSIF (Part 3)

O.B. Selyangin^{1, 2}

¹*Institute of Volcanology and Seismology, FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006
e-mail: selyang@kscnet.ru*

²*Research Geotechnological Center, FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683002*

This is the final article that describes various for petro- and oreogenesis consequences of the contamination of nickel-bearing magma with siliceous material (quartzites), which led to the replacement of ultrabasic ore-hosting rocks (cortlandites) with ultramafic (amphibole orthopyroxenites). Besides, the paper describes the products of metamagmatic variations of pyroxene ore cumulates in biotite-amphibole rocks imported by water-potassium fluid. The author shows the unconventional results of fluid influence on similar cumulates with relics of quartzite xenoliths accompanied by the formation of ore granophyric autobreccias, as well as ore-bearing derivatives from the process of magma mixing (auto-contamination). We introduce an intraformational classification of copper-nickel ores by their associations with host rocks of different composition and origin — from juvenile magmatic ultrabasites, contaminated and ultramafites and melanodiorites to hybrid granitoids. The dynamics of the formation of intrusive ore-magmatic systems and the plausible reason of differences in the ore content of large and small intrusions are discussed.

Keywords: contamination, xenoliths relics, fluid, autobreccia, mixture, ore-magma systems.