

УДК 552.32

К СРАВНИТЕЛЬНОЙ ПЕТРОЛОГИИ ИНТРУЗИВОВ СЕВЕРНОЙ И ЮЖНОЙ ЗОН КАМЧАТСКОЙ НИКЕЛЕНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ. ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

© 2014 О.Б. Селянгин

Научно-исследовательский Геотехнологический центр ДВО РАН
Петропавловск-Камчатский, 683002, e-mail: obs@kscnet.ru

Излагается первая часть геолого-петрологического исследования интрузивов никеленосной кортландит – ортопироксенит – габброноритовой формации Срединно-Камчатского метаморфического массива. Освещаются состав, внутренняя структура структурное положение интрузивов, сложенных расслоенными кумулатами высокомагнезиальной водной магмы бонинитоподобного типа, обсуждаются основные факторы петрогенеза.

Ключевые слова: никеленосная магма, интрузивы, кумулаты, фракционирование, метамагматизм.

ВВЕДЕНИЕ

Интрузивы никеленосной кортландит – пироксенит – габбро- норитовой формации Камчатки (дукукский комплекс) приурочены к северному и южному флангам выступа метаморфических пород в структуре камчатского сектора активной окраины Азиатского континента – горст-антиклинория Срединно-Камчатского массива (СКМ) в южной половине полуострова, простирающегося в меридиональном направлении на 200 км при ширине до 40 км. Его территория выделяется в качестве Камчатской никеленосной провинции (КНП) (Полетаев, 1999, Трухин и др., 2008), а разобщенные поля проявления интрузивов рудоносного комплекса на указанных фланговых участках – соответственно в качестве ее северной и южной рудоносных зон (рис. 1). Обзор меняющихся представлений о природе массива, с обсуждением места и роли никеленосного магматизма в его истории, дан нами ранее (Селянгин, 2009).

В настоящей работе освещаются результаты изучения химизма, минералогии и петрографии рудоносного комплекса указанных зон как часть общего геолого-петрологического исследования никеленосной формации СКМ. Основное внимание при этом уделялось соответствующим признакам процессов магматической и поздне-(мета-) магматической стадий формирования их пород, изучавшимся по наиболее свежим образ-

цам и главным породообразующим минералам. Изучение рудных и постмагматических силикатных минералов в задачу работы не входило.

СОСТАВ, ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА И СТРУКТУРНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ИНТРУЗИВОВ КНП

Петрологически исследованы типичные, наиболее представительные в рудо- и петрогенетическом отношении интрузивы никеленосной формации. В северной зоне КНП это рудоносные тела Шанучского рудного поля: интрузивы Восточно-Геофизический и собственно месторождения Шануч (рис. 1), или «рудного тела 1», близкие к нему малые интрузивы и их фрагменты – «рудных тел 2, 4, 4-1» (маркировка ЗАО НПК «Геотехнология», 2005 г.) (рис. 2, 3), а также родственные им безрудные дайко- и силлообразные интрузивы. Магматиты южной зоны представлены породами изученной северо-западной трети крупнейшего в КНП интрузива Кувалорог (рис. 4).

Надо сказать, что уже сам этот выбор объектов исследований, орпделенный условиями договорных работ с ЗАО НПК «Геотехнология» и охватывающий основное разнообразие магматических пород никеленосной формации, предопределил некоторое несовпадение изучаемых серий северной и южной зон КНП по наборам пород и соответственное раличие по

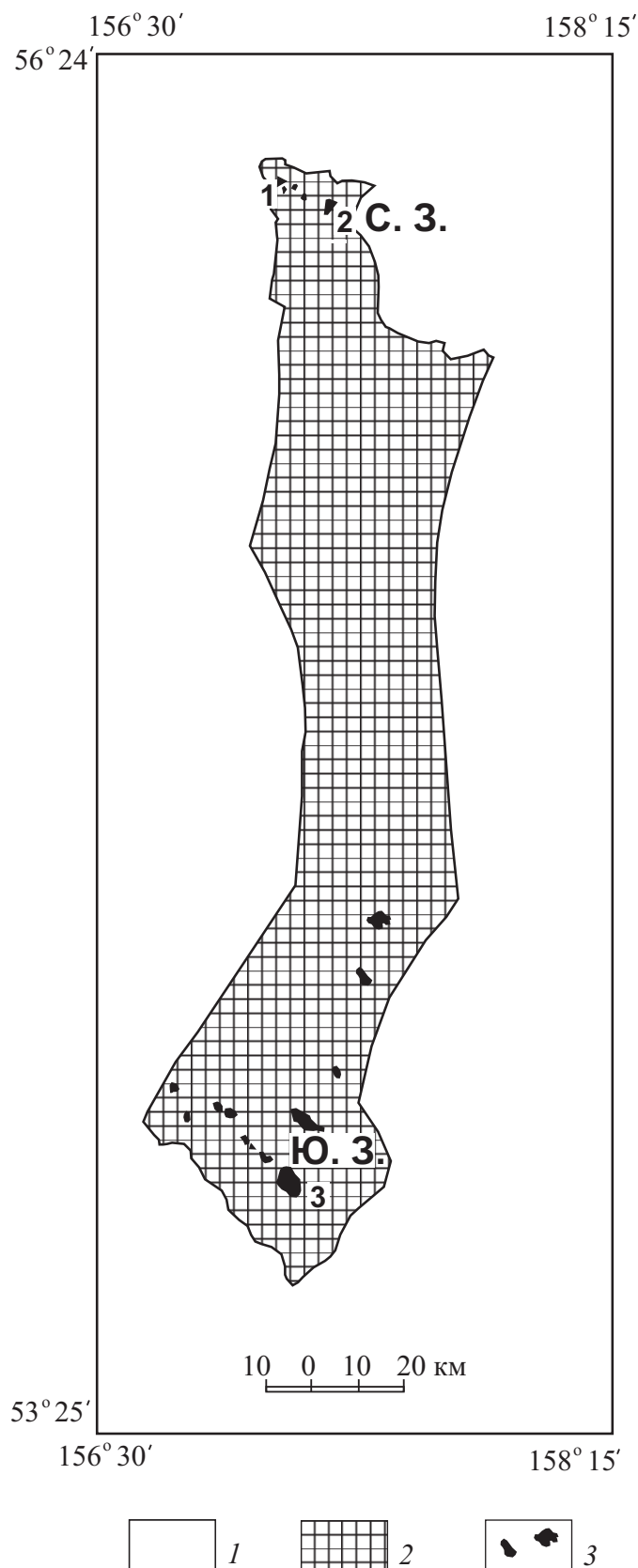


Рис. 1. Схема расположения рудных зон и интрузивов Камчатской никеленосной провинции: 1 – неметаморфизованные поздне меловые-кайнозойские отложения; 2 – преимущественно докайнозойские метаморфические толщи Срединно-Камчатского массива по (Государственная..., 2006) с генерализацией очертаний выступа; 3 – интрузивы никеленосной формации (дукукский комплекс). С.3. – северная (Шанучское рудное поле) и Ю.3. – южная зоны никеленосной провинции. Некоторые из детально изученных тел: 1 – интрузив месторождения Шануч, 2 – Восточно-Геофизический интрузив, 3 – интрузив Кувалорог.

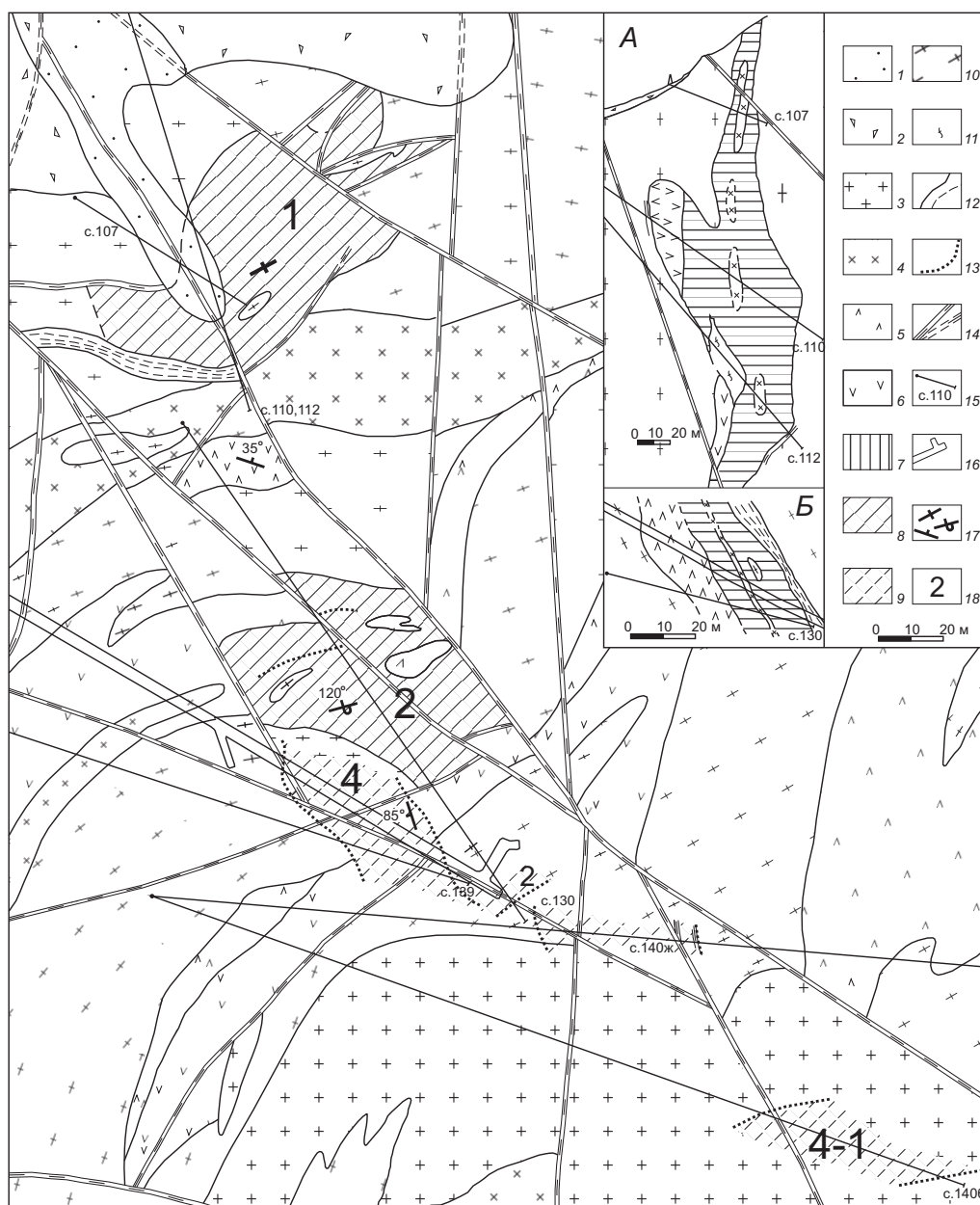


Рис. 2. Геологическая карта западной части Шанучского рудного поля (участок месторождения Шануч). Составлена по данным ЗАО НПК «Геотехнология» на 2005 г.: 1 – аллювий; 2 – делювиальные отложения; 3 – тоналиты, гранодиориты, двуслюдяные плагиограниты кольского комплекса (эоцен); 4-9 – породы рудоносных и безрудных интрузивов дукукского комплекса (эоцен): 4 – диориты, гранодиориты, 5 – лейкогаббро, 6 – меладiorиты; 7, 8 – нерасчлененные породы: 7 – выходящих на поверхность расслоенных рудоносных интрузивов («рудных тел») 1 (месторождение Шануч) и 2: апопироксенитовые плагиоклаз-амфиболовые талькиты, слюдяные и бесслюдяные амфиболиты, биотит-амфиболовые меладiorиты, габбро-диориты, лейкогаббро, кварцевые диориты, гранодиориты, гранофиры, 8 – то же для слепых тел, вскрытых скважинами и горными выработками. На врезках А и Б – генерализованные разрезы интрузивов рудных тел 1 и 4: 9 – их существенно мафические части, сложенные перечисленными в п. 7 мафическими и ультрамафическими породами; породы салических частей разрезов – соответственно обозначениям 4-6 для карты; 10 – гнейсо-граниты крутогоровского комплекса, поздний мел; 11 – их частично плавленные разности у контактов некоторых базитовых интрузивов; 12 – геологические границы, установленные и предполагаемые; 13 – проекции на дневную поверхность границ обнажающихся и слепых интрузивов рудоносного комплекса, пересеченных скважинами и горными выработками на глубине (тел 2, 4, 4-1 и «интрузива скважины 140-ж»); 14 – разломы: установленные, погребенные и предполагаемые; 15 – буровые скважины и их номера; 16 – штольня; 17 – залегание рудоносных интрузивов: по измерениям наклона расслоенности их пород в керне скважин (интрузив 1), в штольне (интрузив 4) и по выявленному бурением смещению их границ на глубине (интрузив 2), падения вертикальное, наклонное и опрокинутое более, чем на 90°; 18 – номера интрузивов («рудных тел»).

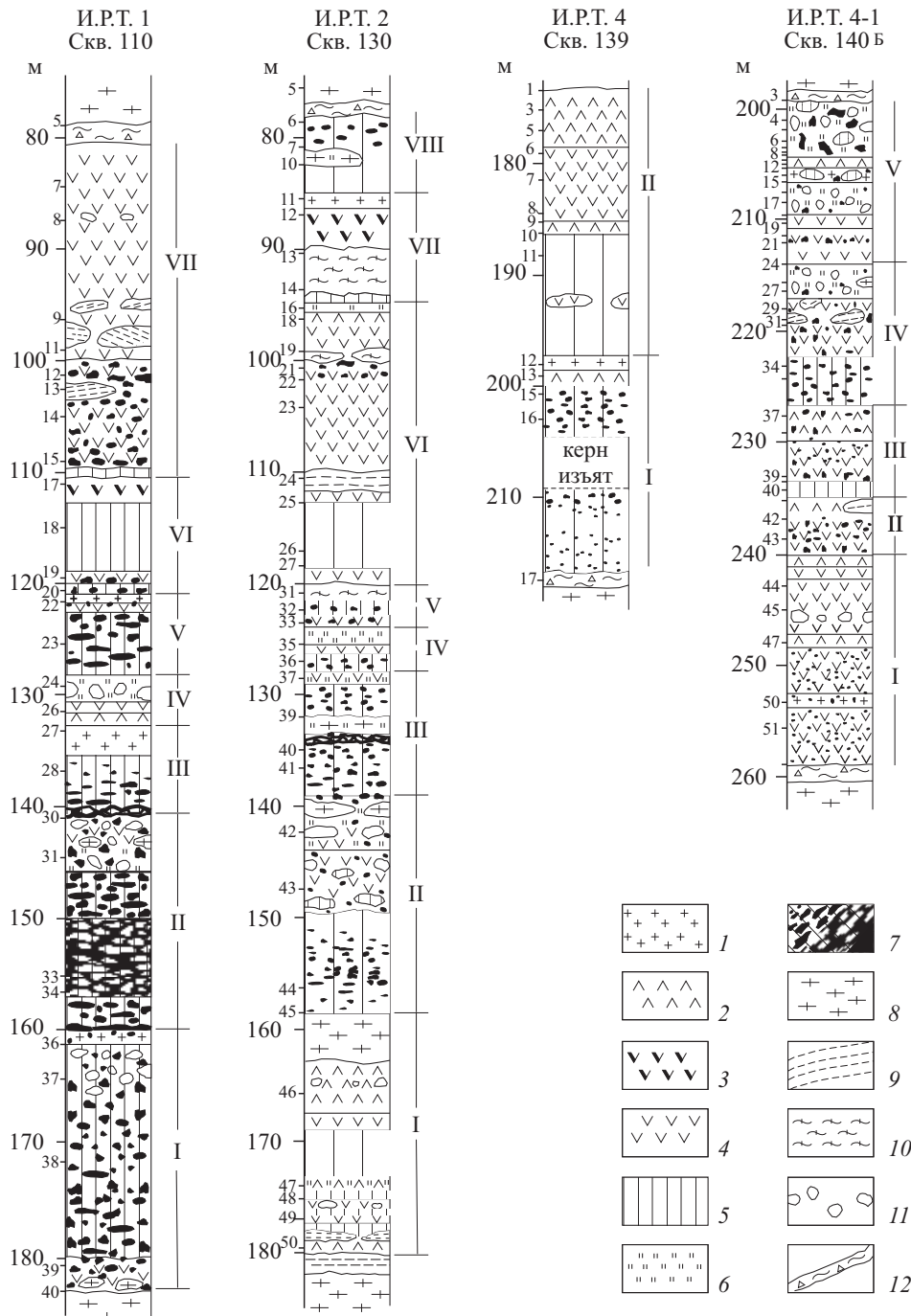


Рис. 3. Разрезы «рудных тел» (интрузивов рудных тел – И.Р.Т.) и их фрагментов) в районе месторождения Шануч. Составлены автором по керну разведочных скважин ЗАО НПК «Геотехнология» (2005 г.): 1 – кварцевые диориты, гранодиориты, плагиограниты; 2 – лейкократовые котектические биотит-амфиболовые габбро 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 – гранофир: интерстициальный в подплавленных ксенолитах кристаллических сланцев и гнейсо-гранитов, в мезостазисе меладiorитов и апопироксенитовых амфиболитов, в сплошных массах смешанной рудно-силикатной эмульсии с «гальками»-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, с кианитом, гранатом и ставролитом порода ксенолитов из колпаковской серии (?) фундамента СКМ; 11 – включения-реликты резорбированного кварца; 12 – брекчия зон разломов. И.Р.Т.-1 – интрузив, вмещающий месторождение. Шануч Римские цифры маркируют выделяемые маккоритмы расслоенности интрузивов. Крупные цифры слева от колонок – отметки глубин скважин на участках пересечения рудоносных интрузивов, мелкие – номера образцов.

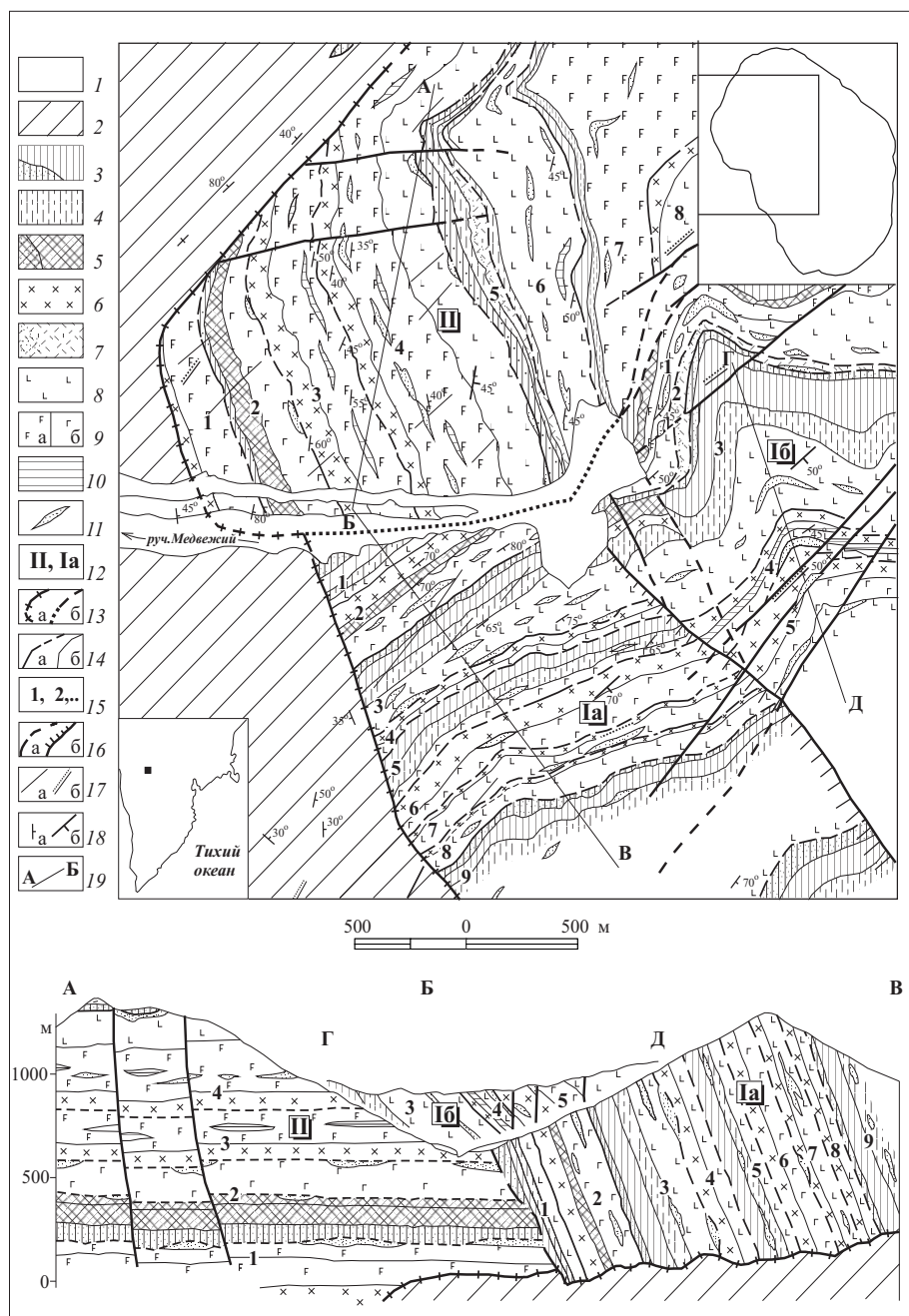


Рис. 4. Схематическая геологическая карта северо-западной части интрузива Кувалорог (Селянгин, 2007, с изменениями). 1 – рыхлые четвертичные отложения; 2 – метатерригенные отложения хейванской свиты (поздний мел); 3 – амфиболовые ортопироксениты (с точечным крапом – оливиновые и оливин-содержащие); 4 – меланориты; 5 – амфиболовые вебстериты (с крапом – оливин-содержащие) и ортопироксеновые горнблендиты; 6 – меланогаббронориты; 7 – слюдяные горнблендиты (крап – оливин-содержащие разно-сти); 8 – нориты; 9: а – амфиболовые и ортопироксен-амфиболовые габбро и габбронориты, б – двупироксеновые габбронориты; 10 – горнблендиты; 11 – линзующиеся ксенолиты-отслоения вмещающих пород хейванской свиты, контактово-метаморфизованные. Прочие обозначения: 12 – фазы внедрения интрузива (цифры) и блоки его пород (буквы) с разным наклоном расслоенности; 13 – сорванные катаклазированные контакты интрузива с вмещающими породами (а), граница предполагаемых фаз внедрения интрузива (б), погребенная (точки) и предполагаемая (пунктир); 14 – границы макроритмов расслоенности интрузива (а), границы между слоями в макроритмах (б); 15 – нумерация макроритмов расслоенности по порядку напластования в каждой(-м) из фаз и блоков; 16 – разломы (а), установленные и предполагаемые (пунктир), предполагаемое положение шарнирного сброса (б), разделяющего блоки интрузива 1а и 1б; 17 – дайки (а) амфибол-плагиофировых андезитов (неоген), кварцевые жилы (б); 18 – элементы залегания вмещающих пород и расслоенности пород интрузива: а – замеренные, б – принятые в качестве средних для выделенных фаз и блоков; 19 – линии разрезов. На врезках: внизу – положение района исследований, вверху – общий контур интрузива и изученная часть его выхода.

химизму и минералогии. Начальные ультраосновные члены серий – рудоносные и безрудные кортландиты, полноценно представленные в Восточно-Геофизическом интрузиве в северной зоне, – не проявлены в серии изученной части интрузива Кувалорог, где ранее за них принимались амфиболовые оливиновые ортопироксениты. Сравнительно с Шанучским полем здесь в меньшей мере развиты и дериваты-эвмагматиты среднего – кислого состава. Изученная часть интрузива Кувалорог, являющегося, тем не менее, петро- и прототипическим для большинства интрузивов КНП по разнообразию проявленных в нем путей дифференциации магмы, по свежести его пород и сохранности в них информативных признаков промежуточных стадий петрогенетических процессов, представляет, таким образом, редуцированную у начала и конца основную, среднюю часть общего спектра магматитов никеленозной формации. Его крайние члены – начальные ультраосновные и позднейшие кислые дифференциаты – в целом полнее представлены в серии северной зоны КНП. Однако, по данным геолого-съёмочных работ и тематических исследований (Щека, Чубаров, 1987), и кортландиты, и в разной степени измененные пироксенит-габбродиоритовые дериваты магмы рудоносного комплекса проявлены в других местах южной зоны, в ряде малых интрузивных тел и их фрагментов.

С другой стороны, непредвиденной удачей указанного выбора объектов исследования оказалось выявление влияния размеров интрузивов (не ожидавшееся столь существенным для тел мезоабиссальной-абиссальной фаций глубинности) на характер и полноту протекавших в них петрогенетических процессов. Забегая вперед, можно сказать, что существенная часть отличий изученных серий пород севера и юга КНП оказалась следствием их принадлежности разноразмерным интрузивам: крупному интрузиву Кувалорог на юге и одним лишь малым интрузивам, развитым в северной зоне, но представительным для таковых и на юге.

Рудоносные и безрудные интрузивы формации сложены в основном расслоенными кумулатными и отчасти собственно магматическими (эвмагматиты) производными высокомагнезиальной кремнеземистой водной магмы марианит-бонинитоподобного типа (Селянгин, 2003, 2006), с характерной для нее последовательностью выделения и кумуляции ранних «сухих» силикатных минералов (с небольшой долей хромистой шпинели): $Ol \rightarrow Orx \rightarrow Orx + Srx...$, но при широком развитии выделявшихся вслед за ними магматических интеркумуляусных, а в поздних дифференциатах и кумулульных (ликвидусных) амфиболов и слюды. Полный

ряд преобладающих в никеленозной формации кумулатных пород – то есть существенно кристаллических фракционатов магмы, не имевших жидких магматических эквивалентов и, в общем случае, неспособных формировать собственные внедрения – включает кортландиты, амфиболовые ортопироксениты, вебстериты (при замещении их клинопироксена амфиболом переходящие в ортопироксеновые горнблендиты), промежуточные мелано- и конечные лейконориты и габбронориты, а также метамагматически преобразованные биотит-амфиболовые разности пород указанной габброидной части серии, развитые преимущественно в малых интрузивных телах обеих зон и образующие в них ряды от меладiorитов и мезократовых габбро-диоритов до биотит-амфиболовых габбро. Породы-эвмагматиты завершавших дифференциацию габброидно-гранитоидных трендов по составу близки или аналогичны отделявшимся от позднейших кумулатов, комплементарным им расплавам. В небольших долях они присутствуют в телах, сложенных кумулатами, но в основном образуют отщепленные от них дайки, силлы и штоки, внедрившиеся в кровлю материнских интрузивов и на более высокие уровни в коре.

Локализация интрузивов на флангах существенно сиалического массива и видимые проявления внутрикамерной ассимиляции вмещающих пород указывают, что образование исходной для формации магмы такого своеобразного состава могло быть результатом более ранней общей контаминации мантийной пикритоидной протовыплавки веществом коры на путях ее подъема, – с чем, возможно, связано и насыщение отдельных ее порций сульфидами. Внедрения происходили в позднепалеоценовое – раннеэоценовое время (Конников и др., 2006; Сидоров, Степанов, 2006). Вместе с метаморфитами этого возраста и эоценовыми интрузивами гранитоидного (ранее – позднемелового кольского) комплекса (Hourigan et al., 2003) никеленозные ультрабазит-базиты маркируют проявление в СКМ раннекайнозойского цикла тектоно-магматической активности (Луцицкая, Соловьев, 2012; Селянгин, 2009), соответствующего, возможно, сопряженным событиям: началу раскрытия Северной Атлантики (сопровождавшемуся, очевидно, импульсом закрытия Тихого океана) и ларамийской фазе складчатости.

Интрузивы внедрялись в позднесинметаморфическую и предкинематическую (по отношению к этапу воздымания) стадию развития СКМ, в еще прогретые гнейсы на краях его складчатого ядра и, главным образом, в метаосадочные породы чехла массива у его северной и южной – юго-восточной границ, «сшивая» все эти толщи. В отличие от сбросовых западной и восточной

границ массива, северная и южная границы имеют существенно пликативный, флексурный характер: в процессе глыбового поднятия ядра СКМ в эоцене-олигоцене толщи его чехла на этих участках претерпели гравитационные оползание и складчатость, а содержащиеся в них интрузивы никеленосного комплекса — перемещения с отрывом от своих «корней», нередко с фрагментацией и далеким разобшением фрагментов, и опрокидывание до 70-90° и более соответственно в северных и южных румбах (Селянгин, 2006, 2007). Интрузивы северной зоны внедрены в биотит-полевошпат-кварцевые, со ставролитом, гранатом, нередко с графитом и пиритом кристаллические сланцы ранне?-поздне меловой камчатской серии, а на участке месторождения Шануч — в прорывающие их поздне меловые (по определениям ГИН РАН — 77.0 ± 1.2 — 81.0 ± 1.2 млн. лет) гнейсо-граниты плитообразного, по-видимому, внедрения, — в зоне их согласного контакта. Интрузив Кувалорог вмещает толща слабее метаморфизованных и интегрально менее плотных, чем сланцы камчатской серии, филлитов и метапесчаников хейванской свиты (поздний мел, (Геологическая..., 2006). Это, по-видимому, сказалось в большей докамерной дифференциации пополнявших его порций магмы и в соответствующей редуцированности серий его кумулатов со стороны их ультрабазитовых разностей, а также в характере внутрикамерной контаминации магмы. Следствием перемещенности и дислоцированности интрузивов обеих зон являются их преимущественно сорванные, катаклазированные контакты с вмещающими породами.

Все интрузивы никеленосной формации в северной зоне КНП относятся к категории малых, размерами до сотен метров в максимальном измерении, а их фрагментов — от первых метров до десятков метров. В южной зоне, наряду с подобными же малыми телами, присутствуют и на 1-1.5 порядка более крупные интрузивы: Кувалорог (7 км), Дукук (5 км), а также сходные с ними малоисследованные интрузивы Пеницкий, Немтицкий и Кагнисин у юго-восточного края СКМ (Государственная..., 2006). Различие размеров интрузивных тел — через соответствующее различие скорости их остывания — оказало существенное влияние на совершенство фракционирования их магм, селективное осаждение минералов котектических ассоциаций, на внутрикамерную миграцию рудного вещества, а также непосредственно повлияло на относительные масштабы приконтактных и отмеченных поздне-(мета-)магматических преобразований их пород. Они определялись глубиной диффузионной «пропитки» кристаллизовавшихся интрузивов метаморфизирующим флюидом, для

малых тел оказавшейся практически полной, а в крупные проникавшей лишь локально в приконтактных зонах.

По формам и соотношениям с вмещающими породами интрузивы варьируют от в целом несогласных штокообразных (интрузивы Восточно-Геофизический и др. на севере КНП, Кувалорог на юге) до полу- и вполне согласных подиформных, силло- и лополитообразных (интрузив месторождения Шануч в северной зоне, Дукук на юге, и др.), в большинстве своем образованных кумулатами множественных, также штоко- и преимущественно силлообразных внедрений магмы, являются гармоничными (на время становления) и дисконформными.

Почти все интрузивы однофазовые, — за исключением двухфазового, по всей видимости, интрузива Кувалорог. В то же время по характеру заполнения камер и внутренней структуре интрузивы, сложенные кумулатами, являются, как отмечено, многопорционными и псевдо-, или макроритмически расслоенными (Уэйджер, Браун, 1970), с нормальной гравитационной расслоенностью каждого макроритма («циклической единицы») мощностью от десятков до сотен метров (рис. 2, 3, 4). Состав пород в наиболее полных из них меняется от ультрабазитовых и ультрамафических у основания до лейкоабброидных у кровли; неполные макроритмы могут начинаться более или завершаться менее дифференцированными разностями кумулатов. Соответствующие макроритмам порции-пополнения интрузивов глубинной магмой, с той или иной степенью ее докамерной эволюции, частично выталкивали в разной степени эволюционировавшие дифференциаты магмы-резидента каждой предшествующей порции на более высокие уровни в коре, а частично смешивались с ними, далее в свою очередь подвергаясь внутрикамерной контаминации и дифференциации, — осаждением (при наличии) несмесимого рудного расплава и формированием кумулатных толщ. Такой механизм становления интрузивов определялся соотношением плотностей относительно легкой водной мафической магмы, ее накапливавшихся тяжелых кумулатов и промежуточных по плотности вмещающих пород, игравших роль плотностного фильтра (Селянгин, 2007). Вместе с вариациями глубинности интрузивов (в абиссальном-мезоабиссальном диапазоне) и частоты их пополнений, с различиями составов ассимилируемых вмещающих пород и интенсивности флюидного привноса их компонентов этот механизм обусловил большое разнообразие серий пород-кумулятов разных интрузивов и отдельных их макроритмов — взаимно подобных или резко отличающихся, но образованных, по существу, из гибридных магм лишь им присущего состава.

С выявлением кумулатной природы большинства пород никеленосной формации, включающей возможность существования (и, конечно же, внедрений) магм соответствующего им состава, с установлением многопорционного характера заполнения магмой формировавшихся интрузивов и макроритмического типа их расчлененности, в рудоносных телах контролировавшей сингенетичное ей рудоотложение, указанные структурные данные кардинально меняют стратегию поисково-разведочных работ для КНП, в последние десятилетия ориентированную в основном на выявление эпигенетического оруденения во «внедрениях» ультрабазитов, якобы контролируемых пересечениями разломов.

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЗМА И ПЕТРОГРАФИИ НИКЕЛЕНОСНЫХ МАГМАТИТОВ СЕВЕРНОЙ И ЮЖНОЙ ЗОН КНП, ИХ ПЕТРОГЕНЕЗИС И ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ РАЗНООБРАЗИЯ

Состав исходной магмы формации неизвестен: в редко наблюдаемых участках зон закалки интрузивов не обнаружено образцов без следов ассимиляции вмещающих пород, аккумуляции ранних магматических минералов или руды и интенсивных вторичных изменений. Магма, равновесная наиболее магнезиальным из установленных в породах формации составам

оливина ($Fe_{0.84.5}$), при $KD_{ол.}^{MgO/FeO} = 0.30 - 0.31$

(Roeder, Emslie, 1981) содержала 12.6-12.8% MgO, а с учетом вероятности диффузионного усреднения в составах оливинов более магнезиальных ядер и железистых кайм — до ~ 13.5%. Достаточно ранняя кристаллизация амфибола в магнезиальной магме предполагает содержание в ней до 3 мас.% H₂O (Morra et al., 1997). Представительные составы основных разновидностей пород формации, их общие классификационные признаки и химические составы минералов большинства изученных интрузивов приведены в ряде предыдущих публикаций (Селянгин, 2003, 2006, 2007), поэтому в настоящей работе анализируются в их графическом отображении. Новые данные по составам минералов интрузива Кувалорог будут приведены во второй части этой работы.

Кумулатная природа большинства пород формации предполагает решение обратной задачи петрогенезиса: реконструкции непрерывного по своей природе пути дифференциации магмы по ее кристаллическим фракциям, теоретически должным представлять собой дискретный ряд пород, слагаемых одиночными (сверхкотектическими) минералами, а затем би-, три- и по-

лиминеральными парагенезисами-котектиками, последовательно сменяющимися в структурах расчлененности интрузивов. Однако обычное в природе несовершенство фракционирования, обусловленное рыхлостью упаковки минералов кумулуса (протокумулата) и захоронением в нем разных долей остаточного (порового, интеркумулясного) расплава, приводит к заметному «размыванию» дискретности и превращению рядов пород-кумулятов в почти непрерывные серии или сопрягающиеся отрезки таких серий. Тем не менее, на петрохимических диаграммах составы пород дискретного ряда кумулатов достаточно близко отражаются сгущениями фигуративных точек наиболее плотных фракционатов и их приуроченностью к резким изгибам вариационных линий, отвечающим смене кумулюсных минералов или присоединению новых минеральных фаз к выделявшимся ранее, с соответствующими резкими изменениями направлений дифференциации магмы.

Дисперсии составов кумулатов способствовало также различие плотностей и размеров минералов в котектических ассоциациях кумулуса. Вдвупироксеновой ассоциации, формировавшей вебстеритовые и следовавшие за ними рыхлые мелано-габброноритовые кумулаты интрузива Кувалорог, близкие по плотности и размерам орто- и клинопироксен не обнаруживают признаков сегрегации. Исключение, возможно, представляет лишь случай тонкоритмического расслоения основной массы порфиридных апобестеритовых горнблендитов в верхах первого макроритма расчлененности Восточно-Геофизического интрузива (Селянгин, 2006). Ни переобогащенных клинопироксеном разновидностей вебстеритов, ни, тем более, слоев чистых клинопироксенитов в интрузивах формации не встречено. Наблюдаемая в некоторых макроритмах интрузива Кувалорог (западная часть ритма 1 в блоке I6?) (рис. 4) быстрая смена вверх по разрезу смешанных оливин-двупироксеновых мелано-габброноритовых кумулатов меланоритовыми, с единичными реликтами клинопироксена в амфиболе, связана, вероятнее всего, не с разделением пироксеновых фаз, а с эпизодом контаминации магмы глиноземистым материалом и образованием вместо богатого известью пироксена дополнительных количеств ортопироксена и плагиоклаза.

Существенной сепарации подвергались полиминеральные ассоциации-котектики позднейших, лейкогабброидных кумулатов, изначально кристаллизовавшиеся с определенным фиксированным соотношением минералов, но из-за значительной разницы их плотностей испытывавших селективное осаждение, с вариациями составов образуемых кумулатных пород

вплоть до мономинеральных (горнблендиты). В отличие от строго линейных вариаций составов эволюционирующих магматических жидкостей, зависящих в основном от изменения интенсивных параметров системы, составы комплементарных им кумулатных пород подвержены значительной изменчивости под воздействием внешних факторов чисто механического свойства.

Ни в одном из изученных интрузивов весь диапазон составов пород никеленосной формации, охватывающий вышеотмеченные разности от ультраосновных-основных кумулатов до средних-кислых эвмагматитов, не проявлен полностью, и общая для формации сложно-дифференцированная серия анализируется как составная из частных серий разных тел и макроритмов их расслоенности, с разной последовательностью выделения минералов и соответственной продвинутостью дифференциации по разным трендам - перекрывающимся и продолжающимися один другого или закономерно расходящимся в пространстве составов. В целом дифференциация мафической водной магмы никеленосной формации до лейкогабброидных (а отчасти и до более кислых) составов определялась постоянно опережавшим кристаллизацию гидроксил-содержащих минералов выделением и фракционированием ее ранних безводных минеральных фаз — оливина, пироксенов и их позднейших котектических габброидных ассоциаций с плагиоклазом, амфиболом, ильменитом и апатитом (несмотря на отмеченное и описываемое ниже полное, но посткумулятивное, *in-situ*-ное замещение пироксенов амфиболами и слюдой в габброидных частях кумулатных серий малых интрузивов обеих зон КНП и на присутствие слоев минералогически подобных им слюдяных горнблендитов в интрузиве Кувалорог). Поэтому в качественном плане основное разнообразие и соотношение эволюционных трендов магматитов КНП могут быть показаны на схематической диаграмме плавкости (рис. 5) безводной системы оливин — клинопироксен — плагиоклаз — кварц (Кокс и др., 1982).

Ввиду заметного развития в интрузивах процессов ассимиляции вмещающих пород, в подавляющем большинстве кальций-дефицитных, в качестве наиболее примитивной (ближайшей к исходной) рассматривается магма с содержаниями магнезии и извести, достаточными для появления в ходе ее дифференциации не только высокомагнезиальных кумулатных пород — кортландитов и ортопироксенитов, но и следовавших за ними известковых двупироксеновых (с богатым кальцием клинопироксеном) пород — вебстеритов. Ассимиляция такой исходной магмой глинозем-кремнеземистого вещества,

или ранняя ее контаминация кислыми выплавками из вмещающих пород, или смешение с кислыми дифференциатами магмы предыдущих порций заполнения интрузива могли менее или более резко смещать ее состав из первичного фазового объема оливина в объем ортопироксена. В процессе дифференциации такой контаминированной магмы формирование серии кумулатов могло начинаться сразу с ортопироксенитов, — в том числе рудных, если поступающая порция магмы была рудоносной, и затем — после выделения определенной доли вебстеритов или минуя и их двупироксеновую котектику (например, тренд 2 на рис. 5) — завершаться образованием габброноритов. При поглощении магмой более глиноземистого вещества фракционирование ортопироксена также могло приводить ее к составу габброноритовой котектики через состав норита (тренд 3).

Контаминация веществом, богатым кремнеземом, происходила в магмах большинства макроритмов интрузива месторождения Шануч и ближайших к нему тел. Об этом, в частности, свидетельствует не ультраосновной кортландитовый, как в Восточно-Геофизическом интрузиве, а ортопироксенитовый состав их самых ранних кумулатных, в том числе рудовмещающих пород, в поздней и постмагматическую стадии преобразованных в (талък-)биотитовые амфиболиты, а также присутствие в них и особенно в разделяющих их слоях меладiorитов реликтов округленных растворением ксенолитов-«галек» поликристаллического кварца размерами от долей мм до 10–12 см. Частично ассимилируясь магмой, они погружались в толщу ее метамагматически преобразуемых кумулатов, где продолжали растворяться, генерируя около себя «галю» плагиогранитного расплава, кристаллизовавшегося затем в олигоклазовый гранофир. При их слиянии формировались участки основной массы (ойкокристаллической матрицы) гибридных ортопироксенитов (замещаемых агрегатом биотита, амфиболов и талъка) и их брекчиевых разностей, с высвобождением из обломков в гранофировый цемент брекчий капельно-струйчатых вкрапленных руды. Последняя, таким образом, сохраняла жидкое состояние до температуры водонасыщенного гранитного расплава.

Показательное отличие наблюдается в характере контаминации магматитов малых интрузивов (которые могли быть элементами магмопроводящих систем для былых крупных) и интрузива Кувалорог. Контаминация кремнеземистым веществом, широко проявившаяся в слоях мелано- и мезократовых кумулатов многих малых интрузивных тел, в их лейкогабброидных разностях наблюдается лишь изредка в виде шлиров (0.1–0.2 м) грубозернистых биотит-ам-

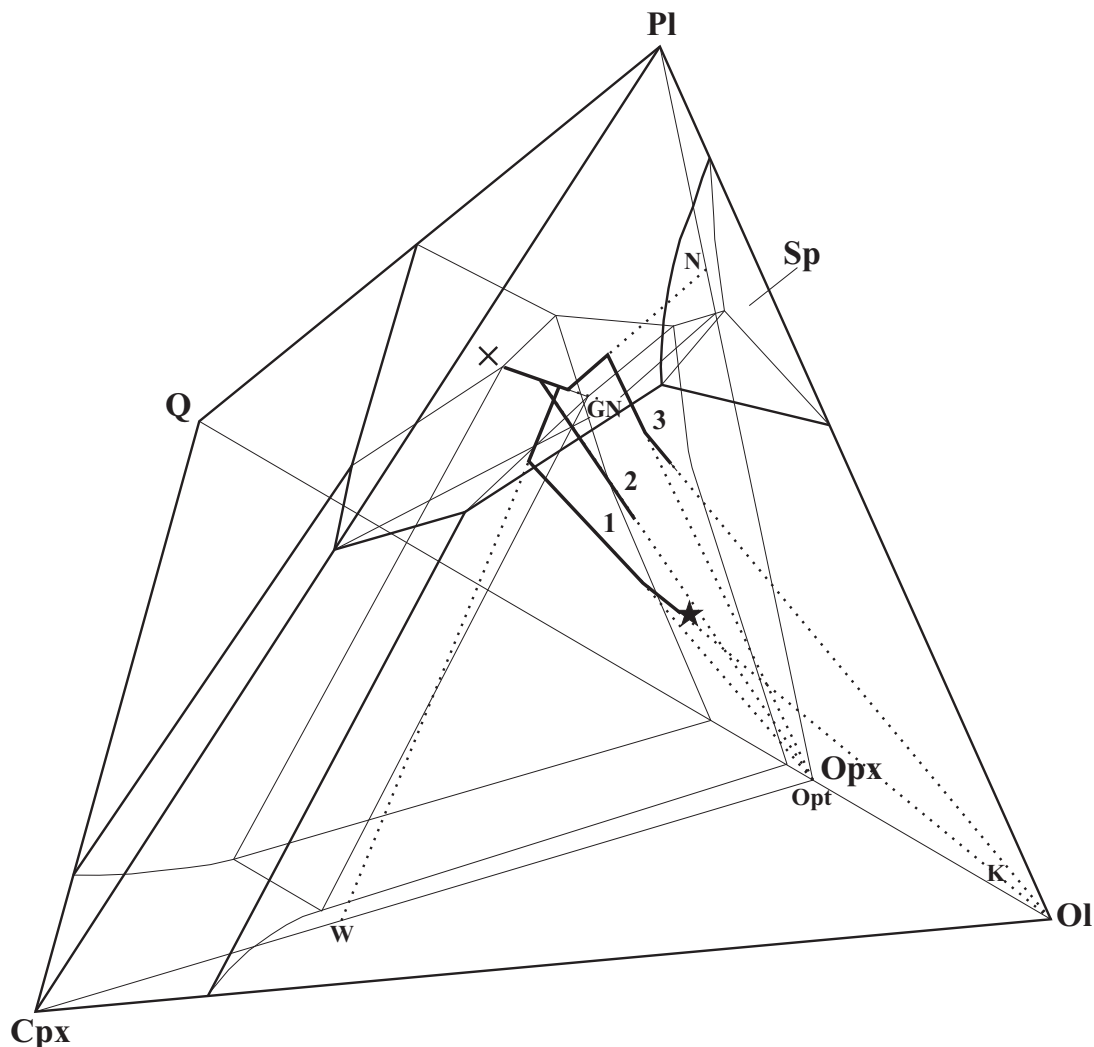


Рис. 5. Соотношение основных типов трендов дифференциации никеленосных магматитов СКМ на схематической диаграмме плавкости системы оливин (Ol) – клинопироксен (Срх) – плагиоклаз (Pl) – кварц (Q). Звездочкой показан возможный исходный состав магмы. Символы составов кумулатов: К – кортландит, Opt – ортопироксенит, W – вебстерит, N – норит, GN – габбронорит; косой крест – плагиогранит. 1-3 – тренды эволюции магм. См. пояснения в тексте.

фиболовых пегматитов вокруг ядер ксеногенного кварца. Напротив, в нижних, ультрамафических и меланогабброидных слоях макроритмов расчлененности Кувалорога кремнезем-глиноземистые контаминанты практически отсутствуют, но широко распространены в лейкогабброидах верхних частей их толщ, где представлены фрагментами контактово-метаморфизованных и парциально плавившихся сланцев вмещающей интрузив хейванской свиты (Селянгин, 2007). Их размеры варьируют от мелких, в первые см, обломков до линзообразных отторженцев-отслоений кровли интрузива мощностью до 12-15 м и протяженностью до сотен метров (рис. 4). При этих различиях, тем не менее, конечные в рядах кумулатов биотит-амфиболовые габбро малых тел и нориты многих макроритмов Кувалорога показывают сходную пересыщенность их магм глиноземом, с позднейшей кристаллизацией пироп-альмандинового граната в первых, граната

или зеленой шпинели-плеонаста во вторых.

Состав магмы, достаточно близкий к исходному для никеленосной формации, был приблизительно рассчитан как удовлетворяющий выделению соответствующего ряда кумулатов: $\text{SiO}_2 - 50.19$, $\text{TiO}_2 - 0.83$, $\text{Al}_2\text{O}_3 - 12.71$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 2.62$, $\text{FeO} - 7.15$, $\text{MnO} - 0.13$, $\text{MgO} - 13.57$, $\text{CaO} - 6.64$, $\text{Na}_2\text{O} - 1.76$, $\text{K}_2\text{O} - 1.32$, $\text{P}_2\text{O}_5 - 0.08$, $\text{H}_2\text{O} - 3.00$. Путь дифференциации указанной магмы (B-1) в закрытой системе, рассчитанный для более полной серии северной зоны КНП (таблица, рис. 6) – вместе с полным рядом пород-кумулятов, комплементарных магмам промежуточных составов и сложенных в основном ранними, типоморфными для них минералами: кортландитов (оливин), амфиболовых ортопироксенитов (бронзит), амфиболовых вебстеритов (гиперстен + диопсид) и габброноритов (гиперстен + диопсид + плагиоклаз + ильменит + апатит). Роль отмеченных привходящих факторов эволюции маг-

Таблица. Дифференциация вероятной исходной магмы никеленосной формации (В-1) при выделении минералов дискретного ряда кумулатов и привносе в габброиды окиси калия.

Компоненты	В-1	В-2	В-3	В-4 (G14-a)	139-13
SiO ₂	51.89	52.55	51.84	51.17	72.22
TiO ₂	0.96	1.06	1.39	1.64	0.24
Al ₂ O ₃	13.14	14.17	17.39	22.32	16.12
FeO	9.91	9.20	8.72	7.24	2.42
MnO	0.13	0.13	0.14	0.13	0.01
MgO	14.03	12.36	7.33	3.33	1.07
CaO	6.86	7.43	9.19	9.08	3.38
Na ₂ O	1.82	1.89	2.58	3.17	4.06
K ₂ O	1.17	1.13	1.23	1.59	0.41
P ₂ O ₅	0.08	0.08	0.18	0.33	0.07
Фазовый состав (мас.%) предшествующих магм с производными расплавами					
Ol	6.2	-	-	-	
Orx	-	21.8	13.5	19.5	
Srx	-	-	9.3	-	
Pl	-	-	-	64.1	
Il	-	-	-	3.1	
Ap	-	-	-	0.3	
K ₂ O	-	-	-	1.50	
L	В-2: 93.8	В-3: 78.2	В-4 (G14-a): 77.2	139-13: 11.6	
Σr ²	0.04	0.07	0.02	0.14	

Примечание: В-1 – В-3 – ряд приближенно рассчитанных составов исходной (В-1) и производных (В-2, В-3) мезомафических магм для северной зоны КНП (рис. 6), удовлетворяющий последовательному фракционированию существенно оливиновых (кортландитовых), ортопироксениновых и вебстеритовых кумулатов, В-4 (G14-a) – биотит-амфиболовое лейкогаббро – вероятный метамагматически измененный (см. текст) эквивалент промежуточной высокоглиноземистой магмы, выделявшей кумулаты норитового состава; 139-13 – плагиогранит, прослой в интрузиве рудного тела 4 (рис. 2, 3). Балансовый расчет выполнен по программе IGPET (M.J. Saig, 1995). Символы фаз: Ol – оливин, Orx – ортопироксен, Srx – клинопироксен, Pl – плагиоклаз, Il – ильменит, Ap – апатит, L – расплавы производных магм. Σ r² – сумма квадратов невязок содержаний компонентов в исходных и рассчитываемых составах пород.

мы (гибридизма, контаминации) иллюстрируют отрезки путей ее дифференциации в открытой системе, начинающиеся с линии ее смешения с кислыми, глинозем-кремнеземистыми или чисто кремнеземистыми (кварцитами) контаминантами. Основное разнообразие трендов эволюции кумулатных серий, генерализованных (за недостатком данных для существенно большего разнообразия метамагматически преобразованных пород) по каждому из интрузивов северной зоны КНП и индивидуальных (но принципиально подобных первым) трендов отдельных макроритмов Кувалорога, показано на рис. 7.

Составы никеленосных магматитов одинаковых трендов и стадий дифференциации в интрузивах южной и северной зон КНП – независимо от их размеров – близки по содержаниям большинства петрогенных компонентов (рис. 8). Тем не менее, породы крупнейшего для КНП интрузива в ее южной зоне – Кувалорога – отличаются вдвое более высокими содержаниями

TiO₂, P₂O₅ и повышенной известковистостью сравнительно с магматитами малых тел обеих зон провинции, которым, со своей стороны, свойственны несколько сниженная магнезиальность, повышенные содержания Al₂O₃, SiO₂ и значительно более высокая калиевость (во многих породах, однако, сниженная при их постмагматической хлоритизации). Последние качества обусловили существенное отличие серий малых интрузивов севера и юга КНП от серий изученной части интрузива Кувалорог по минеральному составу пород, гораздо более «водному» (богатому амфиболами и слюдой) в малых телах. При этом в начальных ультрамафических членах кумулатных серий обеих зон проявлена сходная степень развития магматического паргасит-гастингситового амфибола, – одного или с небольшой долей флогопита-биотита – при одинаковом же сохранении в них ортопироксена. Но если в большинстве пород крупного интрузива Кувалорог ортопироксен (а в некоторых его

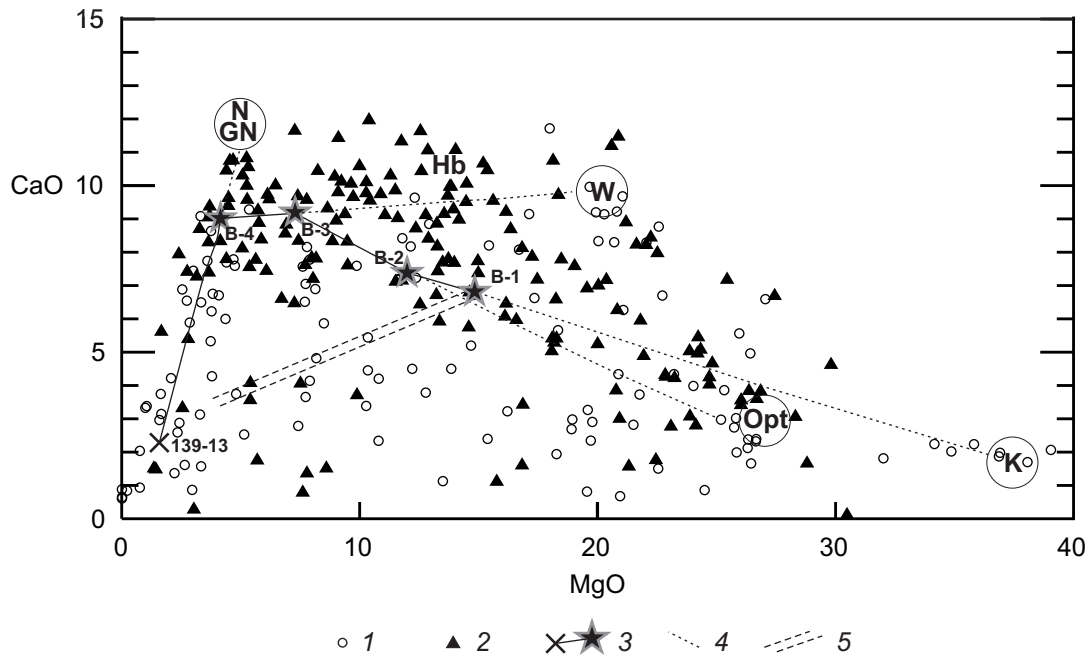
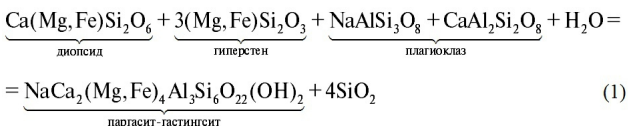
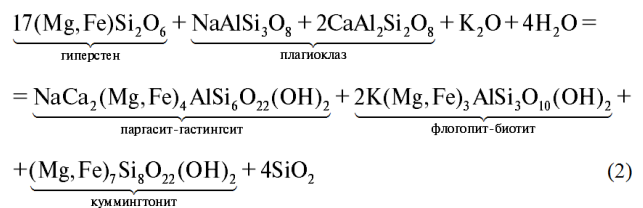


Рис. 6. Схема формирования серий никеленосных магматов КНП в координатах MgO – CaO: 1 – породы северной зоны КНП (Шанучское рудное поле); 2 – породы южной зоны (интрузив Кувалорог); 3 – предполагаемые исходный (В-1) и промежуточные (В-2 – В-4) составы магмы никеленосной формации (звездочки) на пути ее дифференциации (см. таблицу) до состава кварцевого диорита – плагиогранита (косой крестик); 4 – линии фракционирования минералов и их котектических ассоциаций, формирующих последовательности пород-кумулятов в системах расслоенности интрузивов, символы в кружках: К – кортландиты, Opt – амфиболовые ортопироксениты, W – вебстериты, N, GN – ильменитовые нориты, двупироксеновые и амфиболовые габбронориты. Hb – преимущественно гастингситовые горнблендиты, образующиеся при расслоении котектических амфиболовых габброноритов; 5 – линия смещения исходной магмы с кислыми контаминантами.

макморитмах и клинопироксен) сохранялись и далее, вплоть до наиболее продвинутых лейкогабброидных кумулатов, полностью замещаясь лишь в редких слюдяных горнблендитах, то в сериях малых тел с определенного промежуточного состава кумулатов (пироксенит-меланоритового и меланогабброноритового, с существенной, до 35-40%, долей уже достаточно глиноземистого интеркумуляусного расплава) и во всех более продвинутых разностях происходило полное замещение сравнительно высококремнеземистого одно- или двупироксенового протокумуляса ассоциацией резко недосыщенных SiO₂ паргасит-гастингсита и флогопита – биотита (± куммингтонит). Замещение происходило *in situ*, после фракционирования пироксенов, но до полного отвердевания кумулатов, при перитектических реакциях твердых фаз с интеркумуляусным расплавом, обогащавшимся привносимыми водой и калием и комплементарно раскислявшимся в результате реакций:



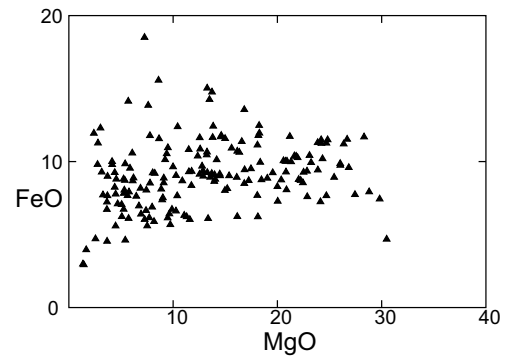
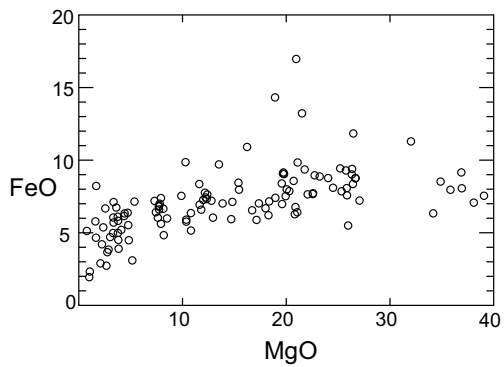
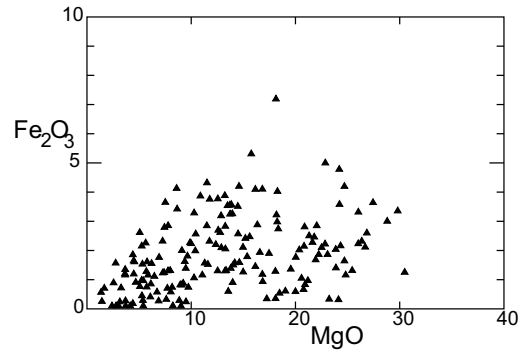
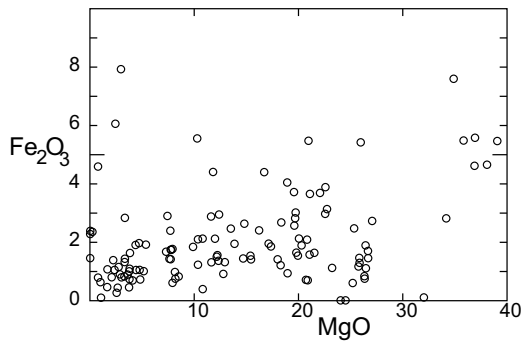
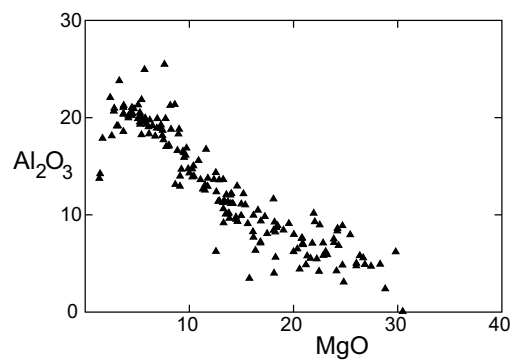
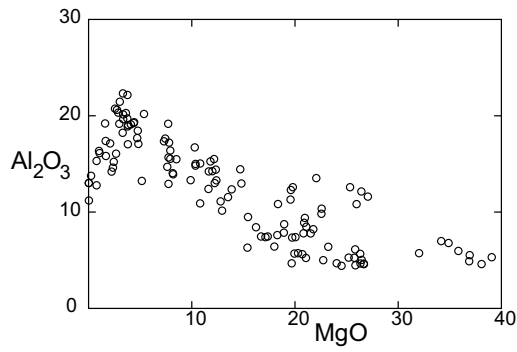
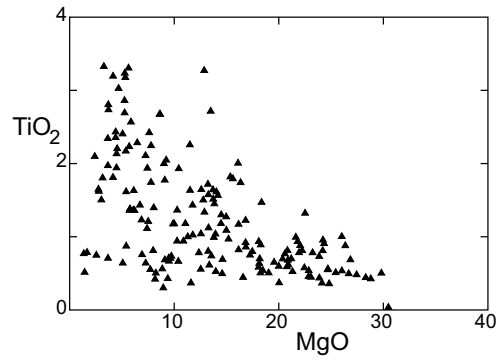
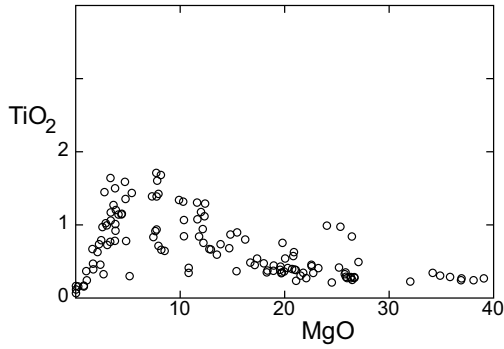
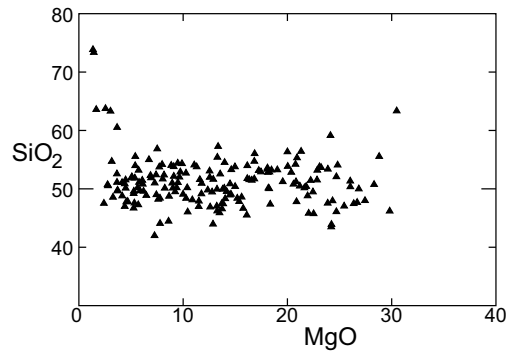
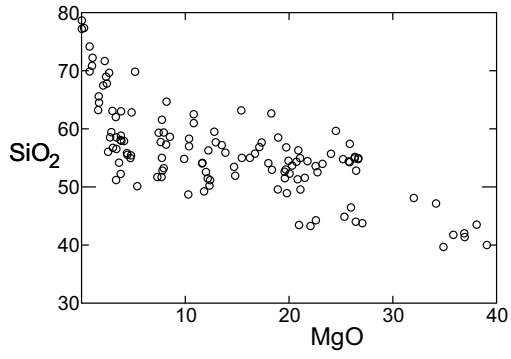
(1)



(2)

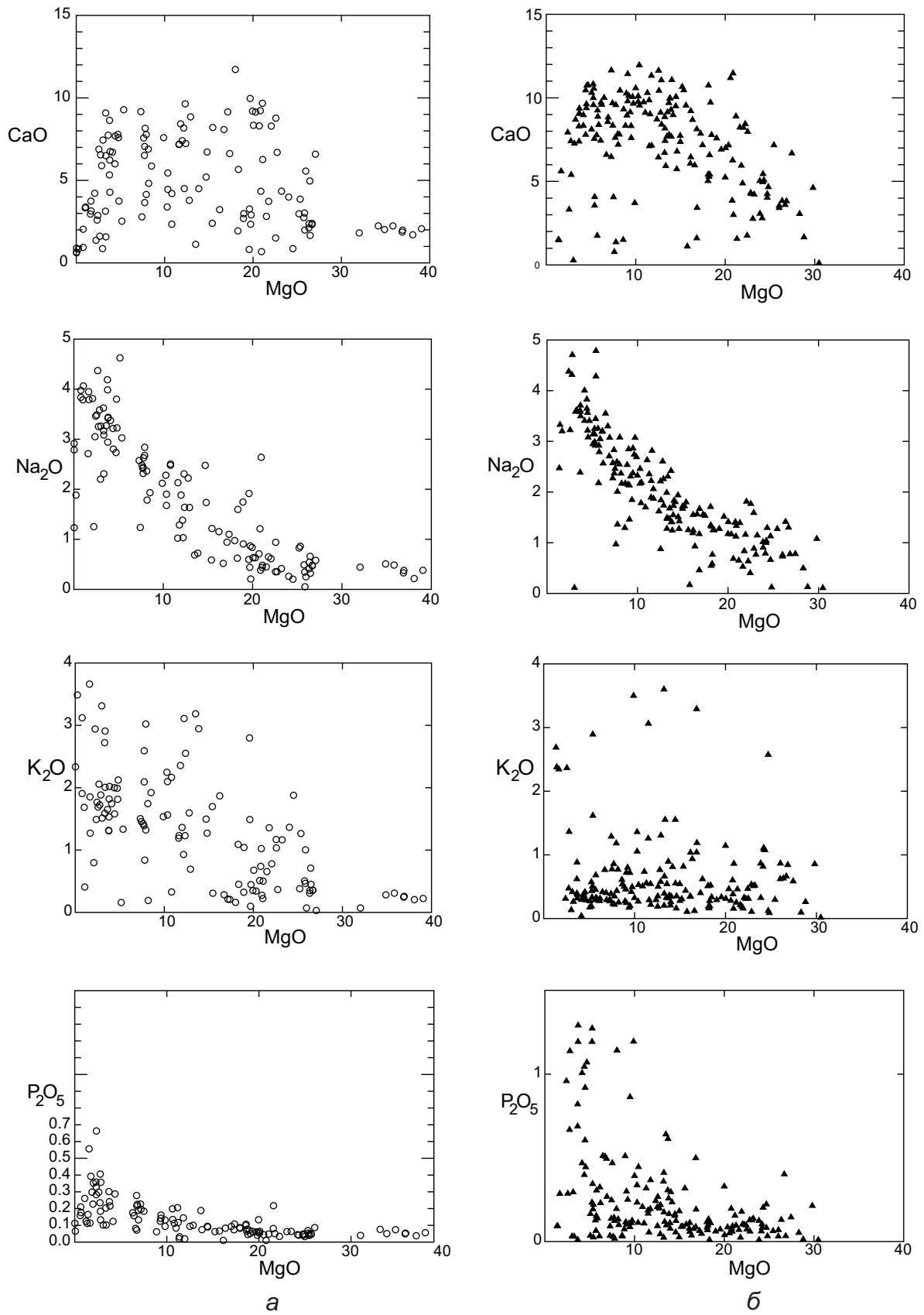
В определенном приближении можно говорить, что эти изменения имели квазиизохимический характер: за исключением существенного повышения калиевости и заметного – содержания Al₂O₃ и SiO₂, преобразованные породы в основном сохраняли близкие к исходным соотношения других компонентов и, главное, свою принадлежность общим трендам дифференциации за счет фракционирования пироксенов – с накоплением глинозема, но уменьшением, или постоянством, или умеренным возрастанием содержания в магме SiO₂ (в зависимости от достигнутого ранее), в то время как тренды (векторы) видимой внутренней, *in situ*-дифференциации каждой из таких пород приобретали направление к обогащению расплава кремнеземом, резко дискордантное общесериальным трендам (Селянгин, 2003). Эти соотношения видны по взаиморасположению трендов и полей составов указанных минералов на диаграмме рис. 7.

К СРАВНИТЕЛЬНОЙ ПЕТРОЛОГИИ ИНТРУЗИВОВ



а

б



Окончание рис. 8

Рис. 8. Вариации содержаний породообразующих окислов в магматитах КНП: а – в породах ее северной зоны, б – в породах южной. Условные обозначения см. 1 и 2 на рис. 5.

«пропитки» метаморфизирующим флюидом, включает предположение об отражении в них какой-либо фундаментальной разницы условий магмогенеза на северном и южном флангах Срединно-Камчатского массива. Возможно, она обнаружится при дальнейших геохимических исследованиях.

С разницей размеров интрузивов обеих зон КНП связаны и другие отмеченные особенности их петрогенезиса. Так, повышенная известковистость части пород Кувалорога связана с более плотной упаковкой (с меньшей долей интеркумуляного расплава) пироксенов в его вебстеритах и, соответственно, большей сохранностью клинопироксена от метамагматического замещения менее кальциевой ассоциацией амфибола и биотита, практически полностью совершившегося в телах северной зоны. Существенно более высокие содержания титана и фосфора в габброидах Кувалорога связаны с большими возможностями селективного обогащения отдельных их слоев ильменитом, титанистым амфиболом и апатитом в медленнее формировавшихся толщах его габброноритовых кумулатов.

В наиболее общем виде зависимость свойств кумулатных пород от размеров интрузивов проявилась в корреляции их структурных и петрохимических признаков. На диаграммах $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{MgO} - \text{CaO}$ (рис. 6, 7) поля фигуративных точек пород обеих зон КНП со стороны наибольших содержаний глинозема и наименьших — магнезии ограничиваются группировками точек пород с составами от норитов-габброноритов (южная зона) или биотит-амфиболовых габбро (северная) до диоритов и гранитоидов. Они обладают сходными зернистыми структурами одновременной (котектической) кристаллизации (или наследовавшей эти структуры метамагматической рекристаллизации) фемических минералов и плагиоклаза, но с разной степенью отклонения количественных соотношений последних от исходных котектических. В ассоциации пород малых интрузивов (северная зона) такая граничная группировка имеет узко-линейный характер эволюционного (габбро-гранитного) тренда с практически ненарушенными, унаследованными соотношениями компонентов исходной пироксен-содержавшей котектики. Со стороны меньших содержаний глинозема и больших — магнезии к этому тренду вплотную примыкает поле точек мезо- и меланократовых пород с содержанием фемических минералов, избыточным над их котектикой с плагиоклазом и, соответственно, с пойкилитовой структурой.

В крупном массиве Кувалорог группировка подобных пород, с аналогичными структурами исходной котектической кристаллизации фемических минералов и плагиоклаза, имеет харак-

тер широкой полосы составов с границами по $\text{MgO} < 12$ и по $\text{Al}_2\text{O}_3 > 13 - 16$ мас. % (рис. 7 в, 7г), в которой лишь короткая краевая линия точек их наиболее лейкократовых разностей также представляет габбронорит-гранитоидный тренд (здесь не столь полно проявленный) с неискаженными количественными соотношениями минералов в котектике. Основной массив фигуративных точек прилегающей к нему полосы представляет более меланократовые породы, селективно обогащенные фемическими силикатными минералами (до образования голомеланократовых горнблендитов), ильменитом и апатитом, — то есть продукты мезо- и микроритмического расщепления исходных котектических ассоциаций указанного тренда, успевавшего осуществиться в медленнее остывавших крупных порциях магмы пополнений крупного интрузива. Соответственно расширению «в полосу» тренда габброидных котектоидов Кувалорога, примыкающее к ней поле пойкилитовых пород с количеством фемических минералов, избыточным против котектики с плагиоклазом, оказалось суженным и отодвинутым в область более магнезиальных ($> 12\% \text{MgO}$) и менее глиноземистых ($< 14\% \text{Al}_2\text{O}_3$) составов. Это «уплотнение» роя фигуративных точек мафит-ультрамафитовых кумулатов Кувалорога означает заметно более совершенное их фракционирование сравнительно с аналогами в малых интрузивах, то есть формирование в целом более плотных пироксеновых кумулатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог изложенной части работы, можно сказать, что интрузивы северной и южной зон КНП, приуроченных к флангам Срединно-Камчатского массива и разобщенных на 160-200 км, являются производными однотипных или одной, водной высокомагнезиальной и относительно кремнеземистой магм(ы) марианит-бонинитоподобного характера. Подавляющее большинство интрузивных тел обеих зон, реально, потенциально рудоносных или безрудных, сложено кумулатами этой магмы. Дискретный ряд последних иногда может включать сульфидную медно-никелевую руду, но в основном представлен силикатными породами, богатыми позднемагматическими слюдой и (или) амфиболами: кортландитами, ортопирокенитами, вебстеритами, мелано- и лейконоритами и габброноритами, равновесными редким плагиогранитным эвамагматитам.

В первоначальном виде подобные ряды пород сохраняются в более крупных (поперечниками в км) интрузивах, присутствующих только в южной зоне. В малых интрузивах (до сотен метров), свойственных северной зоне, но присутствующих и в южной, габброидная часть указанной серии

кумулятов подверглась поздне-(мета-)магматическому преобразованию в биотит-амфиболовые меладiorиты – лейкогаббро, с привнесом в интеркумуляусный расплав водно-калиевого флюида. При сравнительно малых изменениях макрокомпонентного химического состава кумулатов сходных стадий дифференциации это обусловило их существенную разницу по минеральному составу.

Основными процессами, обеспечившими наблюдаемое разнообразие пород КНП, были ликвидационная (для руд) и кристаллизационная дифференциация магмы, сопровождаемая ассимиляцией коровых пород, смешение разных порций магм, а также метамагматическое преобразование отвердевавших габброидных кумулатов с привнесом водно-калиевого флюида, проникавшего практически на всю мощность в малые интрузивы, но лишь в узкие краевые зоны крупных.

Корреляция описанных различий химического и минерального составов пород севера и юга КНП с размерами изученных интрузивных тел каждой зоны, а также внутрикамерный характер этих преобразований не позволяют относить их на счет каких-либо различий в глубинной обстановке выплавления и первичной эволюции исходной для них магмы.

Составы пороодообразующих минералов, место и роль их гидроксилсодержащих разновидностей в петрогенезисе формации и рудоотложения будут освещены во второй части настоящей работы.

Автор признателен Е.М. Газзаевой и А.Ф. Сашенковой за помощь в оформлении статьи.

Список литературы

- Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1: 1 000 000 (третье поколение). Лист N -57 – Петропавловск-Камчатский. Ред. А.Ф. Литвинов, Б.А. Марковский. Спб. ВСЕГЕИ. 2006.
- Кокс К., Белл Дж., Панкхерст Р. Интерпретация изверженных горных пород. М., Недра, 1982. 412 с.
- Конников Э. Г., Чубаров В.М., Травин А.В. и др. Время проявления никеленозной норит-кортландитовой формации на востоке Азиатского континента // Геохимия. 2006. № 3. С.1-7.
- Луцицкая М.В., Соловьев А.В. Раннеэоценовый магматизм Срединного хребта Камчатки: состав и геодинамические аспекты // Петрология. 2012. Т. 20. № 2. С. 1-42.
- Поletaев В.А. Сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения и рудопоявления перидотит-пироксенит-норитовой формации Центральной Камчатки. Платина России. Т. 3. М.: Геоинформмарк, 1999. С. 191-199.
- Селянгин О.Б. Петрология никеленозных базитов Шанучского рудного поля, Камчатка // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2003. № 2. С. 33-55.
- Селянгин О.Б. Кортландит – амфиболовый пироксенит – горнблендитовая серия расслоенного никеленозного интрузива Восточно-Геофизический, Шанучское рудное поле, Камчатка // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. № 2. Вып. 8. С. 9-29.
- Селянгин О.Б. Новые данные о строении и эволюции интрузива Кувалорог, Южная Камчатка // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. № 1. Вып. 9. С. 111-126.
- Селянгин О.Б. О тектонической позиции никеленозных интрузивов Срединно-Камчатского массива // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2009. № 1. Вып. 13. С. 123-138.
- 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.
- Трухин Ю.П., Степанов В.А., Сидоров М.Д. Камчатская никеленосная провинция // ДАН. 2008. Т. 148. № 6. С. 1607-1609.
- Уэйджер Л., Браун Г. Расслоенные изверженные породы. М.: Мир, 1970. 552 с.
- Щека С.А., Чубаров В.М. Никеленосные кортландиты Камчатки // Изв. АН СССР. Сер.геол. 1987. № 12. С. 50-61.
- Hourigan J., Brandon M., Soloviev A. et al. High-grade metamorphic core of an Eocene arc-continent collision zone, Sredinny Range, Kamchatka // Geological Society of America Program with Abstracts. 2003. V. 35. P. 139-140.
- Morra V., Secchi F., Melluso L. et al. High-Mg subduction-related Tertiary basalts in Sardinia, Italy // Lithos. 1997. V. 40. P. 69-91.
- Roeder P., Emslie R. Olivine-liquid equilibrium // Contrib. Mineral. Petrol 1970. V. 29. P. 275-289.

К СРАВНИТЕЛЬНОЙ ПЕТРОЛОГИИ ИНТРУЗИВОВ
**COMPARATIVE PETROLOGY OF INTRUSIONS IN THE NORTHERN AND
SOUTHERN ZONES OF THE KAMCHATKA NICKEL-BEARING PROVINCE**

O.B. Selyangin

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

The paper represents the first part of geologic-petrological study of intrusions in the nickel-bearing cortlandite-orthopyroxenite-gabbro-norite formation of the Sredinny-Kamchatsky metamorphic massif. It provides composition, inner structure, and structural position of intrusions composed of layered cumulates of high-Mg boninite-like «wet» magma. Major petrogenic factors are discussed.

Keywords: nickel-bearing magma, intrusions, cumulates, fractionation, metamagmatism.