

## ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И МАГМАТИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ПОЗДНЕМЕЛОВЫХ – РАННЕПАЛЕОЦЕНОВЫХ МАГМАТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ КАМЧАТКИ

© 2009 г. Д. В. Коваленко\*, А. В. Колосков\*\*, Н. В. Цуканов\*\*\*, П. И. Федоров\*\*\*\*

\*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН  
119017 Москва, Старомонетный пер., 35; e-mail: Dmitry@iget.ru

\*\*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН 683006 Петропавловск-Камчатский, бульв. Пийна, 9

\*\*\*Институт океанологии РАН  
117997 Москва, Нахимовский просп. 36

\*\*\*\*Геологический институт РАН  
119017 Москва, Пыжевский, 7

Поступила в редакцию 18.09.2007 г.

Проведены геохимические и изотопные исследования позднемиловых-раннепалеоценовых магматических пород северной Камчатки. Установлено: 1) В структуре Камчатки присутствуют магматические комплексы пород, сформированные в различных геодинамических зонах позднемиловой-раннепалеоценовой надсубдукционной системы – от вулканического фронта до задугового рифтогенного бассейна. 2) Надсубдукционные мантийные магмы выплавлялись из деплетированных по изотопному составу Nd и в разной степени деплетированных или обогащенных HFSE гранатовых или шпинелевых лерцолитов верхней мантии, характеризующихся разными величинами соотношений Th/La, Th/Ta, Zr/Nb, Nb/U при активном участии надсубдукционных флюидов. 3) Надсубдукционные мантийные расплавы не были контаминированы коровым материалом, обогащенным радиоактивным Nd. Признаки незначительной контаминации выявлены только в лавах о. Карагинского.

### ВВЕДЕНИЕ

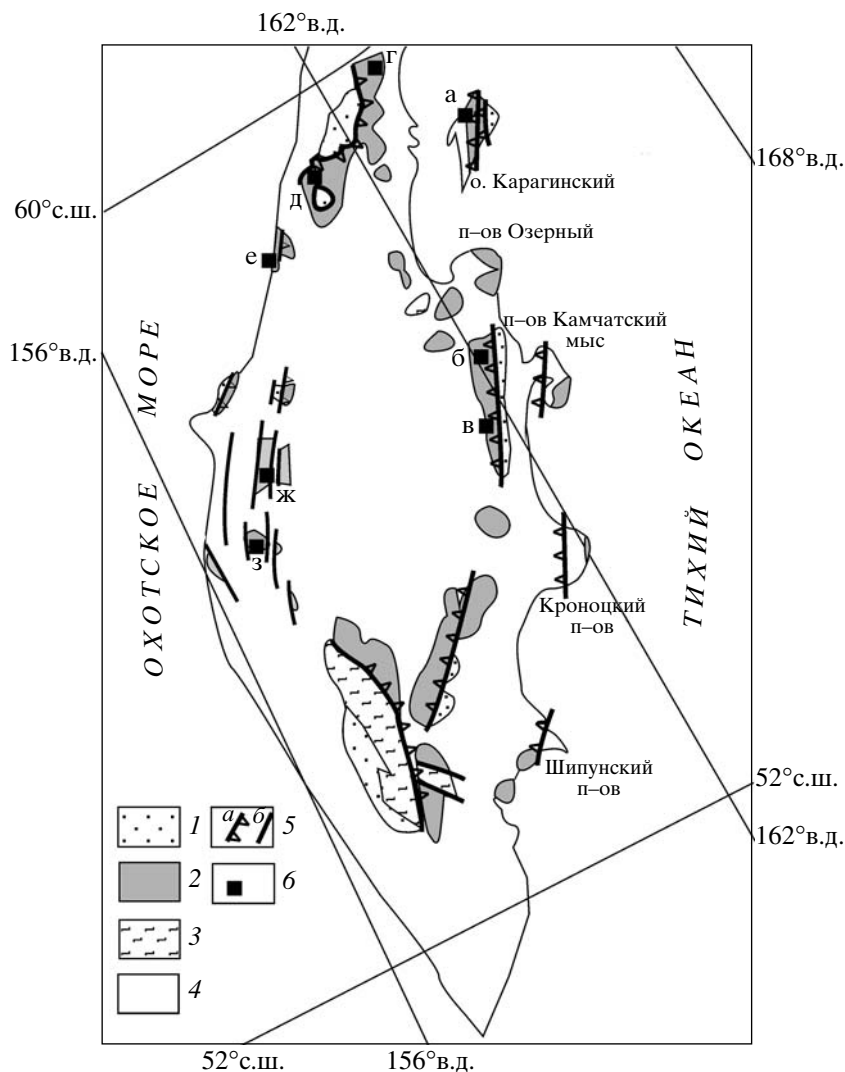
Исследование магматизма различных геодинамических обстановок Земли – одна из главных геологических проблем. В настоящее время наиболее детально изучен магматизм современных геодинамических обстановок. В современных геодинамических обстановках характеристики магматизма могут быть связаны только с постоянными геодинамическими параметрами – скоростями перемещения литосферных плит, скоростями спрединга или субдукции и других. Изучая эволюцию магматизма различных геодинамических обстановок за достаточно долгий период времени, мы можем исследовать изменчивость его характеристик в зависимости от изменения геодинамических параметров, определяющих ту или иную обстановку.

Исследования, результаты которых приведены в данной работе, направлены на изучение эволюции магматизма зоны перехода океан-континент на примере Камчатки. В геологической структуре полуострова участвуют меловые и кайнозойские магматические комплексы. В настоящее время наиболее полно исследован геохимический и изотопный состав кайнозойских толщ – от раннеэоценовых [1, 2] до современных [3–6], распространенных на западной, центральной и восточной Камчатке. Меловой

магматизм исследован значительно слабее. Лишь для единичных районов центральной и западной Камчатки (Валагинский хребет и Малкинский выступ [7, 8]) были выяснены геохимические и изотопные составы мантийных источников меловых магм. Для остальных районов Камчатки и юга Корякии в основном была проведена геохимическая классификация пород и установлены геодинамические условия их формирования [9–13]. В данной статье мы приводим новые результаты геохимических и изотопных исследований меловых-раннепалеоценовых толщ северной части Камчатки, на основании которых делаются выводы о возможном составе исходных расплавов и предлагаются варианты геодинамической интерпретации.

### ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ПОЗДНЕМЕЛОВЫХ – РАННЕПАЛЕОЦЕНОВЫХ МАГМАТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ КАМЧАТКИ

Позднемиловые-раннепалеоценовые комплексы пород широко распространены на Камчатке и участвуют в большинстве структурных зон, выделенных в этом районе [13–15]. На востоке Камчатки (Восточно-Камчатская структурная зона) позд-

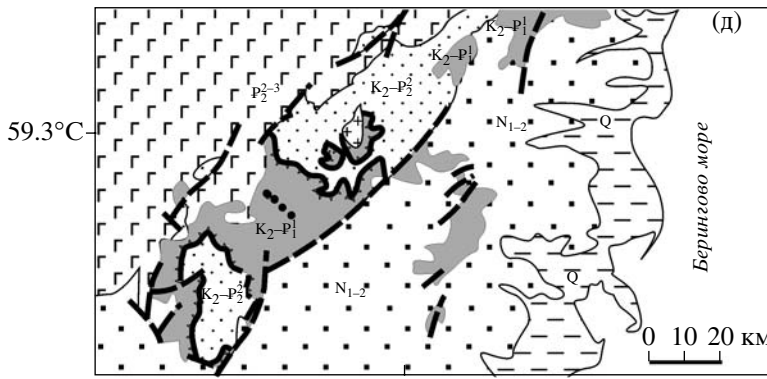
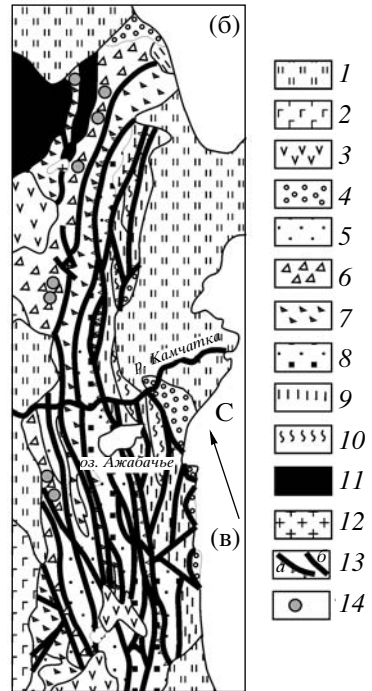
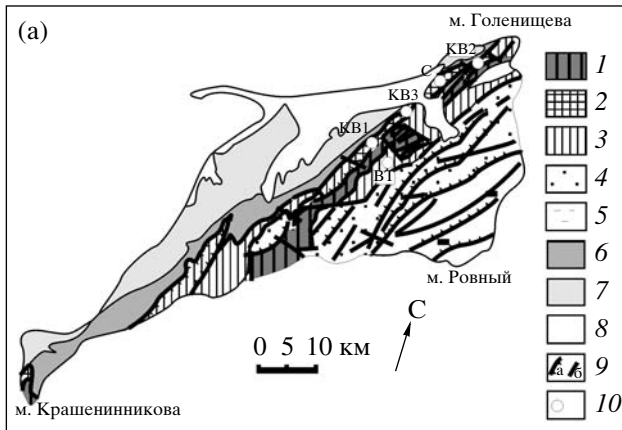


**Рис. 1.** Районы, в которых проводились геохимические и изотопные исследования. Условные обозначения: 1. Поздне-меловые-раннекайнозойские флишевые толщи; 2. Позднемеловые-раннепалеоценовые кремнистые, кремнисто-вулканогенные и вулканогенно-осадочные комплексы пород; 3. Комплекс метаморфических пород домелового фундамента; 4. Кайнозойские толщи; 5. Надвиги (а) и субвертикальные разломы (б); 6. Районы исследований: а – о. Карагинский, б, в – хребет Кумроч, г – бассейн р. Белой, д – бассейн р. Левая Лесная, е – Паланский район, ж – район горы Ируней, з – бассейн р. Тихой.

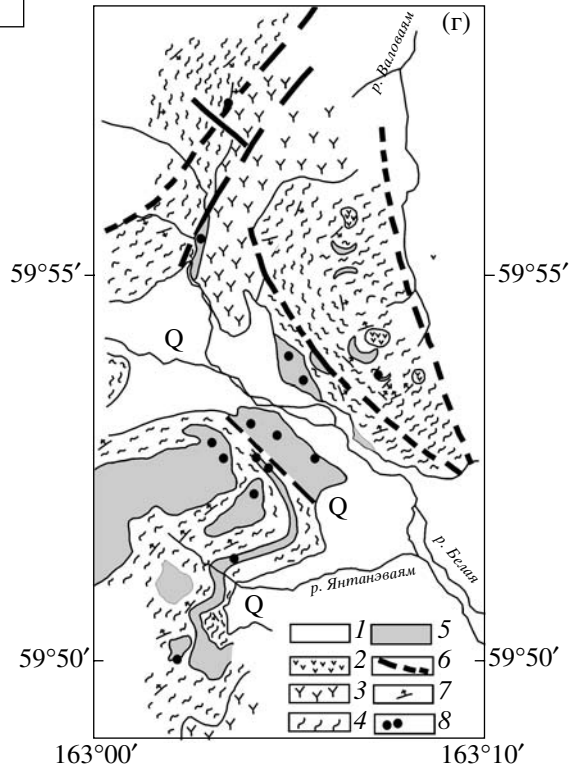
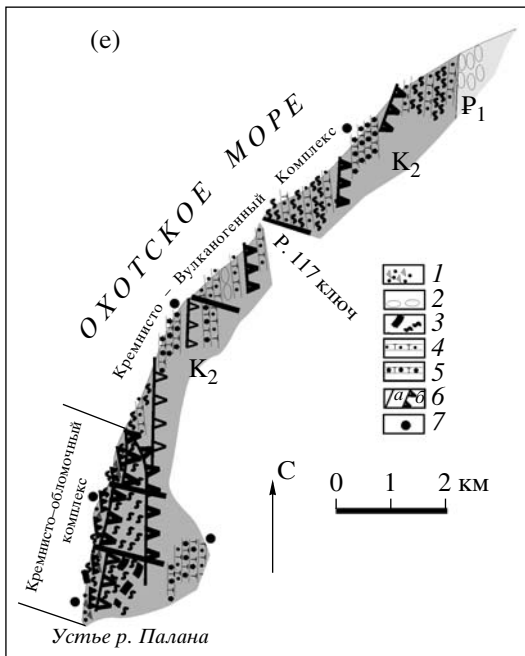
немеловые-раннепалеоценовые толщи залегают в покровно-складчатой структуре восточной вергентности. Западнее (Центрально-Камчатская зона), комплексы позднемеловых-раннепалеоценовых вулканогенных, кремнисто-вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород в виде пакета тектонических пластин и чешуи надвинуты в западном направлении на позднемеловые-кайнозойские флишевые толщи или на метаморфизованные толщи Малкинского выступа [14]. На западной Камчатке (Западно-Камчатская зона) деформированные блоки меловых-раннепалеоценовых пород обнажаются среди кайнозойских осадочных и вулканогенных толщ в структуре западной вергентности [14, 15] (рис. 1). Важно отметить, что толщи Восточно-Кам-

чатской и Центрально-Камчатской зон испытали покровно-складчатые деформации приблизительно одновременно в раннем эоцене, а Западно-Камчатской зоны – на границе мела и кайнозоя [14, 15].

Образцы для геохимических и изотопных исследований отбирались в ходе многолетних полевых работ авторов на о. Карагинский и хребте Кумроч (Восточно-Камчатская зона), в бассейнах рек Белой и Левого Лесной (Центрально-Камчатская зона) и в Паланском районе (Западно-Камчатская зона) (рис. 1). Кроме того, в работе используются аналитические данные по району г.Ируней и бассейну р.Тихой (Западно-Камчатская зона), взятые из работы [16].



163°00' 163°10'



**Восточно-Камчатская зона**

**О. Карагинский.** В покровно-складчатой структуре острова, характеризующейся восточной вергентностью, участвуют позднемеловые – раннепалеоценовые офиолитовый, кремнисто-вулканогенный и вулканогенно-обломочный комплексы пород, а также кайнозойские флишоидный комплекс и комплекс осадочного меланжа [11].

Образцы для геохимических исследований отбирались из нескольких разрезов кремнисто-вулканогенного комплекса из северной части острова, одного разреза нижней части вулканогенно-обломочного комплекса (бассейн р. Кэтонитонваям) и из силлов, внедренных в обломочную толщу вулканогенно-обломочного комплекса (г. Хыньхлонай) (рис. 2а). Ниже приведено краткое описание исследованных толщ.

*Кремнисто-вулканогенный комплекс* включает подушечные лавы миндалекаменных или массивных базальтов, реже – андезитов, вулканические брекчии, туфы, туфогравелиты, переслаивающиеся с отдельными пачками и линзами кремнистых пород, часто включающими призматические слои раковин иноцерармов. Мощности непрерывных разрезов достигают 700 м. Возраст пород кремнисто-вулканогенного комплекса в северной части острова по радиоляриям определяется как кампан-мастрихтский, по иноцерармам – как позднемеловой. В центральной части острова из пород комплекса были выделены радиолярии альб-турона [11].

*Вулканогенно-обломочный комплекс* в нижней части представлен пачками туфобрекчий с обломками лав от базальтов до андезидацитов, агломератов, лапиллиевых туфов, которые иногда включают базальтовые потоки с подушечной отдельностью. В верхней части комплекса преобладают тонко-, среднеобломочные туфопесчаники и туфалевролиты. Возраст нижней части комплекса предполагается как маастрихт-датский на основании анализа форм бентосных фораминифер, а К/Аг датировки обломков базальтов из туфобрекчий показывают 69–65 млн. лет. Верхняя амагматичная часть комплекса датируется как палеоцен-эоценовая [11].

Силлы андезибазальтов, андезитов и дацитов, вероятно, маастрихт-датского или палеоценового возраста фиксируются в толщах кремнисто-вулканогенного и вулканогенно-обломочного комплексов.

**Хребет Кумроч.** По данным В.П. Зинкевича с коллегами [13] в восточной части хребта Кумроч распространены толщи флишоидного ветловского ( $P_1^2$ ) и кремнисто-базальтового комплексов ( $K_2-P_1$ ), залегающих в структуре восточной и юго-восточной вергентности. В осевой части хребта развиты тектонические чешуи, сложенные породами, входящими в состав ветловского ( $P_1^2$ ), терригенного дроздовского  $P_1$  и хапицкого (вулканогенно-осадочная  $K_2-P_1$ ) и олистостромовая толщи

**Рис. 2.** Схемы геологического строения исследованных районов.

(а) *Остров Карагинский* [11]: 1–7 – структурно-вещественные комплексы: 1 – офиолитовый комплекс ( $K_2$  al-cr), 2 – кремнисто-вулканогенный ( $K_2$  cr-m), 3 – вулканогенно-терригенный ( $K_2$  m-d), 4 – флишоидный ( $P_{2-3}$ ), 5 – субдук-

ционный меланжа ( $P_{1-2}$ ), 6 – вулканогенно-осадочный ( $P_2-N_1^1$ ), 7 – молассовый ( $N_1^2-N_2$ ), 8 – четвертичные отложения; 9 – разрывные нарушения: а – надвиги, б – субвертикальные разломы; 10 – районы отбора геохимических проб.

(б, в) *Хребет Кумроч* [13]: 1 – рыхлые четвертичные отложения; 2 – плейстоценовые эффузивы; 3 – плиоценовые эффузивы; 4 – верхнепалеоцен-миоценовые терригенные отложения; 5 – терригенный дроздовский комплекс ( $P_1$ );

6, 7 – вулканогенно-осадочный хапицкий комплекс ( $K_2-P_1^1$ ); 6 – преобладают грубообломочные туфы и эффузивы, 7 – преобладают мелкообломочные туфы; 8–10 – флишоидный ветловский комплекс ( $P_1^2$ ): 8 – флишоидные песчаники, алевролиты, аргиллиты; 9 – кремнистые аргиллиты, 10 – блоки кремней и базальтов; 11 – базит-гипербазитовые массивы; 12 – неогеновые гранитоиды; 13 – разрывные нарушения: а – надвиги, б – субвертикальные разломы; 14 – районы отбора геохимических проб.

(г) *Бассейн р. Белой*: 1 – четвертичные, преимущественно аллювиальные отложения; 2 – пироксен-плагиоклазовые базальты нижнечетвертичного возраста; 3 – пироксен-плагиоклазовые базальты, их туфы и туфобрекчии волоквынейтонской свиты миоценового возраста; 4 – аргиллиты, алевролиты, туфо-аргиллиты, кремни, призматические слои ирунейской свиты верхнего мела; 5 – силлы, пластовые тела трахиандезитов, шошонитов, габбро порфиритов верхнего мела-палеогена, 6 – тектонические нарушения; 7 – элементы залегания пород, 8 – места отбора геохимических проб.

(д) *Бассейн р. Левая Лесная* [40]: 1 – четвертичные отложения; 2 – Центрально-Камчатский вулканический пояс ( $N_{1-2}$ ); 3 – Западно-Камчатский вулканический пояс ( $P_2^{2-3}$ ); 4, 5 – выходы верхнемеловых-палеогеновых комплексов: 4 – ирунейская свита ( $K_2-P_1^1$ ), 5 – лесновская серия ( $K_2-P_2^2$ ); 6 – Шаманкинский массив гранитов ( $P_2^2$ ); 7 – Лесновский надвиг; 8 – предполагаемые разломы; 9 – места геохимического опробования.

(е) *Паланский район*: 1 – олистострома; 2 – конгломераты; 3 – иноцерармовые слои (а) и кремни (б); 4 – туфопесчаники; 5 – туфо- и лавабрекчии; 6 – субвертикальные разломы (а) и надвиги (б); 7 – места отбора геохимических проб.

( $K_2-P_1^1$ ) комплексов. Чешуи разделены крутопадающими разломами с падением плоскостей сместителей к запад-северо-западу. На западе хребта появляются пологозалегающие тектонические пластины, сложенные породами *хапицкого* комплекса и *серпентинитовым меланжем*. Детальное описание толщ приведено в монографии [13].

Образцы для геохимических и изотопных исследований отбирались из вулканогенно-осадочной толщи хапицкого комплекса (рис. 2б, 2в). Ее строение близко к строению вулканогенно-обломочного комплекса о. Карагинского. В нижней части толщи преобладают лавы базальтов, андезитов, редко – андезидацитов, туфо-, лавабрекчии, туфоконгломераты, туфогравелиты, туфопесчаники, туфоалевролиты и туфопелиты [13]. Верхняя часть толщи в основном сложена разнотекстурированными туфами, туффитами, иногда кремнями, редко встречаются единичные потоки базальтов. Возраст толщи оценен по радиоляриям и бентосным фораминиферам как позднекампан-маастрихтский [17, 13].

### Центрально-Камчатская зона

Геологическую структуру Центрально-Камчатской зоны на севере Камчатки формируют пакеты тектонических пластин и чешуй вулканогенных, кремнисто-вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород ирунейской свиты, надвинутых в виде Ирунейского тектонического покрова с востока на флишевые толщи лесновской серии [14].

Автохтонные толщи лесновской серии ( $K_2-P$ ) представлены пачками переслаивающихся кварц-полевошпатовых песчаников, алевролитов и аргиллитов, содержащих в ряде мест тела базальтов. В аллохтонных комплексах ( $K_2-P_1^1$ ) выделяются три тектонически разобщенные толщи: яшмово-базальтовая, кремнисто-диабазовая и эффузивно-обломочная [18]. Яшмово-базальтовая толща распространена в основном во фронте Ирунейского покрова и образована потоками подушечных афировых базальтов и пачками красных яшм и кремней. В яшмах кремнисто-базальтового комплекса обнаружены радиолярии позднего кампан-раннего маастрихта [12].

Породы кремнисто-диабазовой толщи сложены тонкослоистыми кремнями, туфосилицитами, туфами, содержащими потоки и силлы массивных пироксен-содержащих, реже амфибол-содержащих и афанитовых базальтов и диабазов. Из кремней были выделены сантон-кампанские радиолярии [12].

В эффузивно-обломочной толще преобладают туфы, туффиты и эффузивы среднего и кислого состава, среди которых распространены конформные интрузивные тела (по составу варьирующие от пироксенитов и габбро до диоритов и гранодиоритов).

Образцы для геохимических исследований отбирались из базальтовых потоков яшмово-базальтовой толщи (**бассейн р. Левая Лесная**) и из лавовых потоков и силлов эффузивно-обломочной толщи (**бассейн р. Белой**) (рис. 2г и 2д).

### Западно-Камчатская зона

На западной Камчатке позднемиоценовые толщи известны в районе поселка Палана, в районе горы Ируней и в бассейне реки Тихой (рис. 1).

**Паланский район.** В районе поселка Палана (рис. 2е) позднемиоценовые толщи объединены в кремнисто-вулканогенный и кремнисто-обломочный комплексы пород [19]. *Кремнисто-вулканогенный комплекс* включает пачки, сложенные переслаивающимися кремнями, туфосилицитами, туфогенными песчаниками, кремнистыми вулканомиктовыми алевролитами и аргиллитами и туфобрекчиями базальтов, андезибазальтов и андезитов. Из кремнистых пород толщи были выделены радиолярии кампан-маастрихтского возраста [20]. Для обломков туфобрекчий имеются определения абсолютного возраста (K/Ar, валовые пробы) –  $72.5 \pm 3.5$  и  $72 \pm 3.5$  млн. лет [20]. В составе *кремнисто-обломочного комплекса* выделяются тектонические пластины и чешуи, сложенные олистостромовыми, кремнистыми и вулканогенными пачками, представленными туффитами, туфопесчаниками, лаво- и туфобрекчиями. Для кремней и яшм получены многочисленные определения возраста по радиоляриям и планктонным фораминиферам [19] – от коньяка до Маастрихта. Из кремнистых прослоев в матриксе олистостромовых выделены радиолярии позднекампан-маастрихтского возраста [20]. Толщи кремнисто-вулканогенного и кремнисто-обломочного комплексов смяты в изоклинальные складки и залегают в виде пластин и чешуй в системе надвигов западной вергентности. Палеоценовые толщи неоавтохтона субгоризонтально с угловым несогласием залегают на породах кремнисто-вулканогенного и кремнисто-обломочного комплексов [21].

Образцы для геохимических и изотопных исследований были отобраны из пачек туфобрекчий кремнисто-вулканогенного комплекса и из кремнисто-обломочного комплекса – из обломков лав в олистостромовых пачках и из толщ туфо-, лавабрекчий, слагающих отдельные тектонические чешуи.

**Район горы Ируней, бассейн р. Тихой.** В районе горы Ируней (рис. 1) позднемиоценовые толщи включают пачки лапиллиевых грубообломочных туфов базальтов, андезитов и риодацитов, тонкообломочных тефроидных песчаников, маломощные горизонты и линзы кремней. В нижней части толщи зафиксированы силлы и дайки базальт-андезит-дацитового состава. Возраст толщи, оцененный по радиоляриям соответствует кампану-маастрихту

[16]. К/Аг датировки двух силлов диабазов и одного силла дацитов дают возраста  $72 \pm 5$ ,  $59 \pm 3.5$  и  $67 \pm 4$  млн. лет.

В бассейне р. Тихой наблюдается близкая последовательность пород. Нижняя вулканогенная часть толщи сложена многочисленными силлами диабазов и лав базальтов, разделенных редкими пачками кремнистых пород. Верхняя часть толщи представлена спекшимися туфами разного состава, песчаниками гауваккового состава и горизонтами конгломератов. Возраст вулканогенной части толщи по радиоляриям определен как сантон-кампанский [16], К/Аг датировки двух силлов диабазов показывают  $60.5 \pm 1.5$  и  $65 \pm 4$  млн. лет.

Толщи в районе горы Ируней и бассейна р. Тихой залегают в моноклиальной структуре с углами падения слоев от 10 до 80 градусов.

Образцы для геохимических и изотопных исследований были отобраны из силлов, даек и лав базальтов и дацитов и кислых пепловых туфов [16].

#### КРАТКОЕ ПЕТРОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПОРОД

**На острове Карагинском** [11] базальты и андезиты *кремнисто-вулканогенного комплекса* характеризуются порфировой структурой и включают вкрапленники плагиоклаза (лабрадор-андезин), моноклинного пироксена (диопсида-авгита), реже оливина. Количество порфировых вкрапленников колеблется от 5 до 40% от объема породы. Структура основной массы интерсертальная, спилитовая, микродолеритовая. Вторичные изменения выражаются в альбитизации и сосюритизации плагиоклаза, хлоритизации вулканического стекла, замещении оливина боулингит-магматитовым агрегатом. Андезиты *вулканогенно-обломочного комплекса* в основном массивные, в большинстве случаев порфировые. Вкрапленники (до 50% объема породы) представлены плагиоклазом (андезин), авгитом. Структура основной массы гиалопилитовая, интерсертальная, в большом количестве присутствует пылевидный рудный минерал. Вторичные изменения выражены в пелитизации плагиоклаза, хлоритизации и карбонатизации стекла [11].

**На хребте Кумроч** [13] базальты и андезиты *халкинского комплекса* – в основном порфировые (вкрапленники занимают до 50% от объема породы). Среди базальтов по минеральному составу вкрапленников выделяются клинопироксеновые, плагиоклазовые, пироксен-плагиоклазовые, оливин-пироксен-плагиоклазовые и оливин-плагиоклазовые разности. В андезитах вкрапленники представлены плагиоклазом и клинопироксеном, иногда роговой обманкой (до 15%). Основная масса пород характеризуется интерсертальной и гиалопилитовой, редко – толеитовой структурой. В большинстве случаев плагиоклаз цеолитизирован (ча-

сто полностью), развиты также анальцим, глинистые минералы, реже – карбонат, зерна эпидота, лейкоксена, пренита, хлорита, кристаллы плагиоклаза иногда альбитизированы. Оливин полностью замещен хлорит-серпентином или карбонатом, иногда – глинистыми минералами, иддингситом, цеолитом, лейкоксеном, гидроокислами железа, рудным минералом. По стеклу развиваются бурозеленые глинистые минералы, часто наблюдаются также зернышки лейкоксена, иногда карбонат, пумпеллиит, пренит. Часть пород имеет миндалекаменную текстуру.

На Камчатском перешейке в **бассейне реки Белой** магматические породы *эффузивно-обломочной толщи* представлены непрерывно дифференцированной серией от базальтов до риолитов. Вне зависимости от состава все породы характеризуются порфировыми структурами с большим количеством вкрапленников (до 25%). Темноцветные минералы представлены клинопироксеном (диопсид-авгит), в андезидах появляется роговая обманка, иногда кварц и калиевый полевой шпат, в кислых разностях – биотит. Базальтоиды характеризуются интерсертальной и гиалопелитовой структурой основной массы, кислые породы – микрозернистой и фельзитовой. Вторичные изменения выражаются в альбитизации и сосюритизации плагиоклаза и хлоритизации вулканического стекла. В работах [22, 23] позднемиоценовые-раннепалеогеновые магматические толщи бассейна р. Белой совместно с близкими по возрасту и составу вулканитами Малых Курил и о-ва Хоккайдо рассматриваются как единая щелочная провинция.

В **бассейне реки Левая Лесная** базальты *яшмово-базальтовой толщи* в основном представлены афировыми разностями. Единичные вкрапленники представлены плагиоклазом, редко – оливином и клинопироксеном. Основная масса сферолитовая, гиалопилитовая, пилотакситовая. Породы спилитизированы, плагиоклаз замещен альбитом, развиты агрегаты пренита и пумпеллиита. Оливин замещен серпентинитом. По стеклу развит хлорит.

В **Паланском районе** обломки вулканитов в брекчиях *кремнисто-вулканогенного и кремнисто-обломочного комплексов* представлены в различной степени измененными пироксен-плагиоклазовыми порфировыми базальтами, андезибазальтами и андезитами. Вкрапленники представлены основным или средним плагиоклазом, ортопироксеном, зональным клинопироксеном, рудным минералом (магнетитом или титаномангнетитом). В андезитах встречаются мелкие чешуйки бесцветной неплеохроирующей слюды. Породы характеризуются интерсертальной и гиалопилитовой структурой основной массы. Вторичные изменения выражаются в альбитизации и сосюритизации плагиоклаза и хлоритизации вулканического стекла.

Таблица 1. Представительные анализы магматических пород северной части Камчатки

Компонент	Остров Карагинский										
	Кремнисто-вулканогенный комплекс				Вулканогенно-обломочный комплекс					Силлы	
	162/87	165/87	151/87	155/87	175/87	171/87	170/87	172/87	178/87	249/87	247/87
SiO <sub>2</sub>	56.8	47.7	50.6	47.4	61.6	59.2	64.69	62.96	61.16	66.05	66.36
TiO <sub>2</sub>	0.64	0.7	0.79	0.52	0.71	0.84	0.4	0.52	0.49	0.3	0.3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.77	17.02	16.54	14.74	16.19	17.02	16.17	16.11	15.91	16.99	17.52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	9.81	11.36	11.04	10.14	6.48	7.06	4.68	6.01	5.13	3.35	4.26
MnO	0.13	0.14	0.16	0.18	0.08	0.11	0.07	0.1	0.1	0.05	0.07
MgO	5.23	7.76	7.13	9.68	2.36	3.12	2.09	1.85	3.25	1.07	1.13
CaO	6.97	8.22	5.38	11.38	5.2	6.11	3.37	6.08	2.97	0.71	0.8
Na <sub>2</sub> O	2.67	3.05	5.11	2.12	4.31	4.5	5.89	3.67	3.73	7.88	7.27
K <sub>2</sub> O	0.57	0.85	0.1	0.6	1.43	0.78	1.17	1.3	4.39	0.48	0.16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.47	0.15	0.15	0.06	0.11	0.1	0.13	0.11	0.12	0.08	0.07
ppp	1.39	2.54	2.57	2.66	1.01	0.71	0.84	0.79	2.24	2.54	1.59
Cr	115.26	17.58	25.49	325.53	24.55	34.87	19.52	42.25	38.61	34	7.4
Ni	50.43	36.87	27.98	99.5	20.9	21.1	17.4	19.2	43.7	12.03	4.8
Co	27.13	44.2	41.3	49.02	11.5	17.4	10.8	9.5	14.07	7.2	6.2
Sc	28.4	39.3	40.8	56.2	23.04	25.45	10.9	17.5	15.02	9.1	5.9
V	334.05	416.5	363.8	321.9	196.7	287.49	135.3	175.47	124.93	54.8	41.7
Li	19.72	19.5	21.78	12.78	11.76	11.09	13.11	14.6	22.2	4.5	7.5
Cs	0.22	0.81	0.03	0.23	1.36	0.9	0.8	1.2	1.02	0.67	0.46
Rb	8.8	3.7	1.15	6.29	36.75	18.45	15.4	31.4	61.2	6.15	5.9
Ba	428.9	1584.7	97.25	545.8	1037.7	657.8	1404.45	949.8	690.1	117.7	75.64
Sr	516.6	846.36	661.5	673.49	486.5	462.7	469.38	413.89	289.25	241.8	251.58
Th	0.83	0.9	0.83	0.62	1.44	1	2.03	3.55	6.68	0.63	0.73
U	0.39	0.59	0.38	0.24	0.7	0.51	1.03	0.75	1.64	0.3	0.43
Be	0.49	0.46	0.47	0.41	0.91	1.07	0.92	0.76	1.28	0.45	0.64
Nb	0.68	0.77	1.06	0.45	1.22	1.64	3.39	1.98	5.3	2.47	3.63
Ta	0.05	0.05	0.08	0.03	0.08	0.11	0.16	0.13	0.36	0.17	0.25
Pb	6.14	5.47	3.6	3	7.17	11.04	10.42	16.87	11.15	2.41	4.22
Hf	1.5	1.75	1.98	1.24	2.1	2.48	2.67	2.28	2.53	1.77	2.47
Zr	53.4	62.33	69.91	40.39	77.38	85.9	103.24	89.24	93.3	67.45	93.96
Y	29.32	22.52	23.71	16.63	21.78	22.48	15.69	18.53	23.93	12.14	14.35
La	15.37	9.55	6.36	5.11	6.14	6	7.2	9.01	25.9	3.78	4.64
Ce	35.6	23.09	17.2	12.76	14.7	14.75	17.6	19.5	39.6	8.36	10.36
Pr	4.9	3.39	2.58	1.96	2.07	2.18	2.35	2.5	5.77	1.13	1.38
Nd	22.7	15.9	12.28	9.7	9.76	10.43	10.39	10.6	22.32	5.09	6.1
Sm	5.11	3.9	3.21	2.63	2.65	3	2.53	2.58	4.48	1.34	1.58
Eu	1.45	1.21	1.02	0.8	0.76	1.01	0.68	0.74	1.29	0.47	0.56
Gd	4.91	3.76	3.57	2.79	3.16	3.43	2.64	2.74	4.38	1.53	1.85
Tb	0.71	0.56	0.57	0.42	0.52	0.6	0.44	0.44	0.6	0.25	0.3
Dy	4.27	3.52	3.72	2.72	3.42	3.95	2.85	2.83	3.57	1.71	2.16
Ho	0.92	0.74	0.8	0.56	0.75	0.85	0.62	0.6	0.74	0.38	0.49
Er	2.57	2.06	2.31	1.59	2.12	2.47	1.83	1.75	2.08	1.18	1.53
Tm	0.37	0.31	0.35	0.24	0.31	0.36	0.28	0.26	0.31	0.19	0.24
Yb	2.33	2.01	2.28	1.53	2.08	2.32	1.83	1.67	1.87	1.33	1.74
Lu	0.36	0.31	0.35	0.24	0.32	0.35	0.28	0.26	0.31	0.23	0.29

Таблица 1. Продолжение

Компонент	Хребет Кумроч											
	Известково-щелочные лавы и шошониты									Шошониты		
	Ш-150	Л-280	Л-298	126/84	117/3-84	374/1-84	614	616	1542	4041-18	4040-6	4041-10
SiO <sub>2</sub>	53.9	49.8	45.49	49.62	48.46	53.14	51.49	58.61	59.46	47.88	48.39	49.72
TiO <sub>2</sub>	0.83	0.9	0.9	0.44	0.86	0.94	0.79	0.73	0.72	0.7	0.67	0.93
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.02	17.26	17.54	12.26	17.61	17.65	16.38	16.22	15.77	18.42	17.75	17.34
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	8.77	9.97	9.13	7.46	11.95	8.36	9.64	7.08	7.6	9.37	9.22	9.14
MnO	0.16	0.15	0.18	0.14	0.17	0.13	0.17	0.1	0.19	0.2	0.25	0.21
MgO	2.65	5.15	9.14	9.24	4.81	6.53	3.84	3.1	3.96	5.93	6.92	8.31
CaO	6.27	7.19	8.94	12.33	10.04	6.87	6.86	3.5	4.24	5.97	7.27	5.8
Na <sub>2</sub> O	3.72	3.84	2.08	1.34	2.1	2.44	5	5.26	4.33	3.31	2.62	2.97
K <sub>2</sub> O	2.99	1.52	1.02	3.46	0.5	0.94	2.36	2.24	1.57	3.27	2.42	2.07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.33	0.28	0.30	0.34	0.13	0.33	0.34	0.32	0.31	0.27	0.26	0.31
ppp	2.34	3.91	5.29	3.42	3.68	2.8	2.9	2.5	1.6	4.85	3.89	3.35
Cr	16.79	49.97	238.35	314.58	1.33	16.01	24.77	5.97	6.27	28.26	5.94	4.14
Ni	13.08	36.13	136.45	92.18	1.87	32.94	18.37	2.07	3.08	11.44	7.00	5.91
Co	20.59	26	33.05	43.44	30.39	22.57	33.91	13.39	14.51	29.11	30.72	22.96
Sc	20.42	25.22	26.74	47.49	31.21	31.15	19.92	19.89	13.04	22.82	22.64	30.53
V	203.5	307.56	244.45	236.88	285.45	295.69	269.65	138.91	104.15	264.45	279.16	332.39
Li	7.69	8.12	13.6	16.96	9.93	24.77	7.44	6.21	5.26	12.67	9.85	7.81
Cs	0.78	1.62	0.16	0.07	0.19	0.96	0.72	0.63	0.97	1.54	0.2	0.1
Rb	33.71	19.2	12.14	12.8	6.04	39.77	28.96	24.89	20.21	46.49	22.42	31.61
Ba	3011.97	1246.9	2120.9	128.41	251.31	217.69	1138.71	1872.4	3120.11	505.73	1020.9	1250.1
Sr	1310.71	448.34	353.68	213.66	306.71	540.73	649.39	521.67	501.78	481.93	1029.7	862.93
Th	3.31	3.45	1.82	11	1.55	0.39	3.06	3.31	2.66	2.29	1.2	0.79
U	1.23	0.95	0.82	0.53	0.49	0.3	1.07	1.43	1.27	0.80	0.36	1.36
Be	1.02	0.91	0.71	0.72	0.51	1.56	0.8	0.92	0.88	1.05	0.46	0.23
Nb	2.33	1.49	2.46	0.59	1.02	0.63	1.67	1.91	1.85	1.84	0.81	1.03
Ta	0.16	0.1	0.17	0.04	0.09	0.06	0.17	0.16	0.15	0.12	0.06	0.09
Pb	14.55	5.24	3.04	1.18	5.45	9.16	25.87	18.01	18.99	9.42	3.35	2.61
Hf	3.92	1.95	1.89	1	1.45	1.27	2.8	3.37	2.89	1.98	1.4	1.52
Zr	140.6	71.75	68	30.94	45.54	34.97	77.13	101.4	94.08	70.28	41.33	45.64
Y	31.12	21.7	20.31	12.64	20.44	12.78	24.7	30.38	33.22	19.52	19.52	20.61
La	15.75	12.48	9.62	7.23	6.46	5.91	12.34	10.94	9.73	13.42	7.74	6.68
Ce	36.59	28.19	23.33	19.21	16.66	12.67	30.76	25.77	23.79	33.01	19.67	19.7
Pr	4.99	3.68	3.14	2.76	2.14	1.71	3.88	3.86	3.47	4.29	2.9	2.99
Nd	22.27	16.36	13.94	13.61	10.28	8.22	18.57	17.63	17.06	19.47	13.57	14.84
Sm	5.37	4	3.5	3.45	3.38	2.75	4.63	5.78	4.72	4.89	4.1	4.14
Eu	1.2	1.09	0.98	0.86	1.03	0.96	1.64	1.67	1.55	1.6	1.41	1.46
Gd	5.03	3.65	3.48	3.02	3.42	2.27	4.84	5.92	5.14	4.53	3.92	4.13
Tb	0.75	0.54	0.55	0.49	0.62	0.39	0.8	0.94	0.91	0.65	0.68	0.7
Dy	4.8	3.35	3.42	2.34	3.68	2.13	4.27	5.34	5.55	3.48	3.87	4
Ho	1.02	0.69	0.74	0.45	0.86	0.46	1.07	1.14	1.22	0.78	0.81	0.88
Er	2.88	1.99	2.16	1.28	2.55	1.48	3.13	3.94	3.64	2.47	2.22	2.74
Tm	0.42	0.29	0.32	0.19	0.39	0.2	0.38	0.56	0.57	0.34	0.31	0.36
Yb	2.87	1.91	2.11	1.23	2.23	1.48	2.72	3.42	3.34	1.83	1.98	2.59
Lu	0.43	0.29	0.32	0.18	0.42	0.3	0.45	0.55	0.52	0.33	0.31	0.29



Таблица 1. Продолжение

Компонент	Хр. Кумроч		Бассейн р. Белой									
	Шошониты											
	2631	4041/9	1940	1841	1888	1868/1	1934	1926/2	1900	1920	1941	1525
SiO <sub>2</sub>	51.25	52.74	57.04	61.68	50.08	66.34	51.34	57.58	57.06	63.42	51.91	52.1
TiO <sub>2</sub>	1.01	0.69	0.82	0.86	0.97	0.7	0.69	0.69	0.7	1.05	1.14	1.19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17	16.35	16.42	15.4	18.71	14.38	21.13	16.6	16.81	13.11	16.85	17.3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	9.47	9.88	7.85	6.77	8.79	6.02	8.47	7.93	7.65	7.86	8.41	12.5
MnO	0.23	0.15	0.14	0.11	0.18	0.1	0.18	0.29	0.22	0.103	0.138	0.18
MgO	4.53	4.75	3.83	2.5	3.94	1.55	3.29	3.86	4.35	3.01	6.07	6.3
CaO	6.67	5.92	3.05	2.06	9.75	2.31	8.55	2.8	2.54	1.27	7.58	6.2
Na <sub>2</sub> O	4.48	3.33	4.95	6.05	3.38	4.55	2.87	4.69	4.16	5.82	3.92	2.5
K <sub>2</sub> O	3	3.59	3.55	2.3	2.15	2.3	1.07	2.88	3.82	0.08	0.7	0.93
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.24	0.54	0.38	0.34	0.46	0.2	0.16	0.13	0.02	0.296	0.262	0.25
ППП	2.1	2.2	1.7	1.9	1.8	1.5	2.3	2.5	2.6	3.87	2.94	0.7
Cr	26.45	18.48	8.60	6.59	17.54	7.32	3.09	5.45	5.02	6.77	112.9	38.95
Ni	17.1	10.99	4.35	4.99	15	5.86	3.28	2.86	5.66	3.37	67.99	9.37
Co	24.98	22.31	18.79	10.69	26.43	9.78	15.75	18.12	17.9	16.88	30.73	29.08
Sc	21.59	20.19	14.28	11.86	18.85	9.63	13.64	12.47	13.38	21.29	15.16	25.08
V	279	318.38	141.67	36.75	254.64	26.25	114.9	143.91	128.33	87.21	111.64	270.69
Li	3.18	6.82	17.11	5.42	10.94	7.41	22.25	12.85	11.87	14.10	13.54	13.3
Cs	0.33	0.22	0.53	0.02	0.61	0.23	1.76	0.5	0.81	0.98	0.57	0.32
Rb	41.81	43.21	51.35	20.44	31.34	22.99	10.21	35.12	36.42	1.01	7.72	13.45
Ba	1202.69	2163.51	974.55	527.99	1216.45	531.56	458.28	593.12	577.57	134.76	198.57	268.63
Sr	1241.59	893.3	403.49	122.34	1060.1	205.08	556.32	220.84	160.98	118.39	434.75	333.67
Th	0.41	1.63	2.88	3.48	3.04	1.46	0.07	2.57	2.44	0.96	0.98	0.99
U	0.29	0.65	1.23	1.27	1.41	0.62	0.04	1.02	1.00	0.58	0.43	0.36
Be	0.69	0.86	1.74	1.70	2.02	1.10	0.20	2.23	1.96	0.95	1.50	0.74
Nb	1.65	0.77	4.33	4.26	2.99	4.51	0.71	4.07	4.42	5.23	4.19	2.06
Ta	0.14	0.06	0.30	0.33	0.18	0.29	0.06	0.28	0.33	0.41	0.34	0.2
Pb	3.04	4.72	2.21	1.08	9.84	2.67	2	1.88	1.68	3.22	3.88	2.07
Hf	2.51	1.88	4.66	6.04	3.68	3.97	0.77	4.76	4.69	5.35	3.92	2.65
Zr	74.42	54.85	173.07	203.86	125.78	141.85	24.84	163.64	179.97	172.09	156.34	74.12
Y	31.47	23.13	26.87	44.94	22.71	31.31	14.72	25.26	29.31	53.20	19.45	26.52
La	5	13.76	20.5	21.59	17.84	14.6	2.82	18.7	20.24	9.09	8.35	10.48
Ce	14.3	34.56	48.31	60.39	44.91	31.96	8.83	43.98	48.39	25.87	23.59	27.45
Pr	2.24	4.88	6.52	8.12	6.43	5	1.33	6.17	6.22	4.17	3.15	3.44
Nd	11.62	22.91	28.98	40.15	27.66	20.72	6.83	25.87	27.7	21.38	14.33	17.9
Sm	3.82	5.97	6.67	9.5	6.47	5.71	2.48	6.18	6.89	7.12	3.69	4.4
Eu	1.5	1.7	1.68	2.17	2	1.26	1	1.49	1.61	1.75	1.31	1.58
Gd	4.72	5.52	5.59	8.94	5.47	5.5	2.42	5.66	5.52	7.61	3.88	5.07
Tb	0.93	0.83	0.87	1.55	0.79	0.83	0.48	0.86	0.91	1.6	0.66	0.92
Dy	5.38	4.22	4.64	7.59	4.05	5.17	2.84	4.6	4.93	9.13	4.05	4.53
Ho	1.35	0.97	0.9	1.57	0.82	1.02	0.57	0.89	0.9	2	0.9	1.07
Er	3.98	2.66	2.88	4.54	2.32	2.49	1.84	2.47	2.78	6.23	2.11	3.15
Tm	0.6	0.39	0.42	0.6	0.31	0.44	0.24	0.38	0.42	0.92	0.33	0.45
Yb	3.66	2.46	2.63	4.99	2.26	3.29	1.59	2.84	2.93	6.16	2.17	2.41
Lu	0.57	0.41	0.41	0.7	0.35	0.45	0.26	0.4	0.44	1.04	0.34	0.46

Таблица 1. Продолжение

Компонент	Бассейн р. Белой		Паланский район									
			Известково-щелочные лавы							шошониты		
	1438	1486	292/01	295/01	300/01-А	300/01-Б	216/01	216/01-А	304/01	80/99	100/99	102/99
SiO <sub>2</sub>	51.1	57.1	60.04	49.99	50.34	46.28	48.22	45.97	48.83	49.72	50.92	47.46
TiO <sub>2</sub>	0.88	0.8	0.37	0.54	0.42	0.73	0.92	0.71	0.82	0.9	0.72	0.8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.4	17.3	15.42	18.22	17.73	14.45	18.56	17.16	17.17	14.17	13.66	12.59
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	12.7	8.5	7.05	10.14	8.25	11.27	8.64	8.15	9.66	11.32	10.62	11.84
MnO	0.2	0.13	0.18	0.2	0.21	0.36	0.19	0.16	0.19	0.18	0.19	0.2
MgO	6.3	2.8	1.81	3.3	3.78	6.78	4.99	7.19	4.73	6.93	5.8	8.5
CaO	6.5	6.1	7.72	8.84	9.02	10.39	10.24	6.13	5.52	9.58	9.23	12.38
Na <sub>2</sub> O	2.7	3.9	2.37	3.65	3.66	3.97	2.79	4.91	4.93	1.85	2.14	0.99
K <sub>2</sub> O	1.1	2.24	1.1	1.14	1.83	0.6	1.7	0.82	2.04	2.67	4.19	2.28
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.3	0.28	0.16	0.25	0.34	0.41	0.27	0.18	0.29	0.31	0.42	0.41
ppp	0.3	0.7	3.61	3.61	4.29	4.58	3.29	8.21	5.58	2.38	2.07	2.54
Cr	51.78	65.00	18.65	44.11	58.62	83.82	30.97	86.66	25.4	149.68	93.67	156.57
Ni	9.32	7.89	20.02	36.61	34.63	37.64	33.88	55.3	33.01	52.79	33.72	45.76
Co	24.55	20.23	26.01	27.47	24.52	30.81	30.29	31.59	29.39	34.47	33.01	40.08
Sc	24.94	22.27	21.47	35.95	38.07	29.83	26.47	27.42	16.63	1.322	7.213	1.33
V	273.3	177.67	177.24	334.35	300.45	311.66	290.64	236.14	263.63	340.45	315.58	338.55
Li	15.34	11.52	18.05	16.68	11.79	9.49	16.86	22.06	23.15	10.27	13.37	23.53
Cs	1.73	1.57	0.316	0.421	0.740	0.198	0.167	0.508	0.88	0.19	0.83	0.09
Rb	22.88	42.03	10.56	13.93	30.44	6.71	17.22	7.68	31.16	15.9	74.86	11.78
Ba	569.56	474.62	1820.71	1637.27	3155.05	1426.41	396.12	142.86	945.15	405.78	1100.2	725.08
Sr	674.49	443.71	333.17	357.52	253.35	613.23	626.18	313.94	335.88	473.73	481.93	728.08
Th	2.44	1.95	0.52	0.62	0.47	0.71	0.51	0.47	0.71	0.27	0.45	0.39
U	0.97	0.84	0.06	0.31	0.22	0.25	0.29	0.23	0.37	0.17	0.41	0.34
Be	0.92	0.82	0.64	0.73	0.6	0.46	0.56	0.48	0.87	0.59	0.94	0.72
Nb	3.39	3.38	1.26	1.48	1.11	1.74	1.34	1.43	2.29	1.36	1.23	1.44
Ta	0.29	0.25	0.13	0.12	0.1	0.13	0.12	0.12	0.15	0.63	0.3	0.11
Pb	5.01	3.7	2.36	3.87	1.64	2.78	2.5	1.94	3	2.46	4.73	6.82
Hf	4.32	3.81	1.34	1.45	1.23	1.37	1.48	1.22	1.91	1.39	1.16	1.24
Zr	126.85	122.21	49.09	51.87	39.85	42.82	50.84	41.45	71.25	43.56	34.42	37.18
Y	29.83	26.28	9.02	16.87	15.24	19.95	15.11	13.68	18.35	15.66	15.03	14.99
La	15.02	13.52	6.6	9.03	7.21	8.48	6.27	5.29	8.21	4	4.46	4.37
Ce	39.21	33.2	14.33	22.64	17.64	18.83	16.17	13.28	20.78	11.29	11.9	11.69
Pr	5.4	4.42	2.08	2.98	2.33	2.52	2.49	2.01	3.05	1.75	1.83	1.83
Nd	25.72	19.9	8.65	12.63	10.17	11.83	12.16	9.88	14.35	9.12	9.23	9.37
Sm	6.4	5.26	1.86	2.9	2.29	3.16	3.03	2.51	3.53	2.67	2.73	2.77
Eu	1.97	1.67	0.37	0.66	0.41	0.81	1.08	0.89	1.05	0.87	0.92	0.87
Gd	6.73	4.68	1.66	2.76	2.39	3.4	2.84	2.52	3.34	2.91	2.89	2.94
Tb	1.07	0.86	0.25	0.42	0.36	0.53	0.43	0.37	0.51	0.46	0.44	0.45
Dy	5.71	4.5	1.51	2.59	2.3	3.22	2.52	2.23	3.1	2.79	2.67	2.73
Ho	1.27	1.12	0.31	0.54	0.49	0.65	0.51	0.45	0.61	0.59	0.53	0.54
Er	3.98	2.86	0.87	1.52	1.35	1.78	1.35	1.21	1.7	1.58	1.41	1.47
Tm	0.56	0.39	0.13	0.3	0.19	0.26	0.19	0.18	0.25	0.24	0.21	0.21
Yb	3.73	2.47	0.83	1.51	1.24	1.57	1.18	1.09	1.57	1.48	1.34	1.35
Lu	0.54	0.41	0.13	0.23	0.19	0.23	0.17	0.16	0.24	0.22	0.2	0.19

Таблица 1. Окончание

Компо- нент	Паланский р-н		Бассейн р. Левая Лесная							
	шошониты		10/99	18/99	48/99	51/99	55/99	45//99	52//99	57//99
	224/4-99	224/6-99								
SiO <sub>2</sub>	50.1	56.1	44.4	45.5	48.32	48.75	48.72	45.47	45.68	46.89
TiO <sub>2</sub>	0.7	0.7	2.27	3.09	1.77	1.16	2.12	3.08	1.07	2.67
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.2	17.3	13.7	14.4	14.4	16.8	13.25	13.49	15.32	14.07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	10.7	8.1	15.83	16.38	12.59	10.29	14.04	16.53	10.06	14.87
MnO	0.19	0.18	0.26	0.7	0.17	0.15	0.24	0.23	0.18	0.24
MgO	7.9	3.3	5.25	8.59	6.41	4.91	6.66	5.43	5.95	6.05
CaO	12.1	8.2	6.68	2.85	8.94	9.51	7.54	8.3	14.08	7.05
Na <sub>2</sub> O	1.08	2.5	3.75	2.65	3.72	4.3	2.78	3.49	2.75	3.41
K <sub>2</sub> O	2.7	2.1	0.88	0.27	0.41	0.73	0.19	0.52	0.14	0.35
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.38	0.3	0.19	0.27	0.16	0.14	0.17	0.28	0.08	0.25
ппп	1.3	1.2	7.08	5.53	48.32	3.15	4.41	3.49	4.86	4.3
Cr	103.89	27.94	78.4	4.52	86.41	213.71	63.35	79.35	298.37	81.59
Ni	56.12	41.1	36.82	11.03	42.01	57.25	32.97	68.38	175.25	33.78
Co	34.04	23.21	47.27	50	42.38	38.13	40.43	42.88	39.43	33
Sc	27.04	27.67	50.61	40.91	47.01	37.87	38.82	31.15	27.8	28.51
V	426.31	216.14	447.11	557.31	299.28	216.96	347.04	442.64	225.27	323.15
Li	не опр.	не опр.	30.89	72.75	20.34	16.45	19.35	не опр.	не опр.	не опр.
Cs	0.56	0.17	1.56	1.58	1.04	1.06	0.33	2.55	0.77	0.8
Rb	53.32	20.63	18.84	4.68	10.1	13.53	2.3	13.09	3.48	7.23
Ba	620.58	431.39	306.62	317.06	149.21	221.41	483.43	1134.9	99.56	274.86
Sr	936.43	892.67	181.99	123.55	149.73	195.11	112.95	117.07	132.85	104.7
Th	0.72	0.87	0.37	1.5	0.17	0.07	0.27	0.45	0.4	0.5
U	0.37	0.3	0.1	0.45	0.07	0.12	0.1	0.21	0.15	0.37
Be	0.71	0.88	0.81	1.52	0.52	0.34	0.67	1	0.47	0.88
Nb	1.29	1.9	5.94	25.57	3.18	1.07	4.03	4.92	4.81	4.78
Ta	0.09	0.14	0.42	1.82	0.31	0.11	0.33	0.41	0.09	0.35
Pb	4.44	4.15	1.68	11.81	1.4	1.77	3.93	2.18	2.55	2.47
Hf	1.15	1.68	4.48	3.9	3.57	2.01	4.48	5.21	1.47	4.22
Zr	39.83	63.15	154.94	144.94	124.95	62.25	133.64	213.02	55.81	178.09
Y	11.23	14.52	49.5	29.31	41.13	28.4	47.09	50.75	22.46	43.31
La	7.47	7.39	16.72	11.65	4.21	2.09	5.26	6.87	5.5	5.93
Ce	15.45	18.44	37.74	28.76	10.45	5.44	15.64	20.41	10.89	16.74
Pr	2.31	2.66	5.28	3.86	2.28	1.27	2.76	3.46	1.44	2.71
Nd	10.93	13.15	18.47	18.57	13.28	7.41	15.77	19.26	6.78	15.24
Sm	2.72	3.34	5.59	5.47	4.62	2.77	5.98	6.75	2.21	5.43
Eu	0.91	1.21	1.88	1.73	1.57	1.01	1.99	2.15	0.99	1.85
Gd	2.94	3.32	7.25	5.56	5.93	3.9	7.1	8.87	3.13	7.24
Tb	0.42	0.5	1.39	0.97	1.15	0.77	1.43	1.57	0.57	1.29
Dy	2.43	3.15	9.21	5.82	7.97	5.53	9.61	10.47	3.84	8.67
Ho	0.51	0.65	1.96	1.23	1.77	1.17	2.03	2.33	0.86	1.93
Er	1.33	1.75	5.21	3.31	4.46	2.93	5.5	6.65	2.42	5.43
Tm	0.2	0.26	0.83	0.47	0.77	0.5	0.8	0.99	0.36	0.84
Yb	1.26	1.77	5.25	3.48	4.79	3.5	6.13	6.38	2.39	5.44
Lu	0.18	0.25	0.76	0.47	0.6	0.5	0.86	0.93	0.35	0.76

Примечание. Концентрация петрогенных элементов в мас. %; а примесных – в ppm. Концентрации главных петрогенных элементов о. Карагинского определены методом «мокрой химии» в аналитической лаборатории ВИМС. Для образцов из остальных районов – методом РФА в лаборатории анализа минерального вещества ИГЕМ РАН и ГИН РАН.

Таблица 2. Представительные анализы меловых терригенных пород Камчатки и юга Корьякии

Ком- понент	Хребет Омгон (западная Камчатка)			Бассейн р. Рассошина (западная Камчатка)		Камчатский перешеек (лесновская серия)				Мыс Витгенштейна (Олюторский хребет)		
	3//98	10//98	22/98	135/98	148/98	270/01	272/01	274/01	98/01	106/93	120/93	170/93
SiO <sub>2</sub>	61.18	62.98	64.84	62.73	68.24	71.88	69.14	74.59	72.1	54.16	61.92	65.03
TiO <sub>2</sub>	0.89	0.72	0.78	0.46	0.61	0.62	0.54	0.53	0.4	0.63	0.71	0.69
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.38	15.27	15.68	11.09	12.64	13.78	13.33	12.04	14.7	13.18	14.21	14.92
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.69	5.78	6.28	4.27	5.46	3.72	3.52	4.39	3.4	5.15	6.28	5.94
MnO	0.06	0.09	0.05	0.13	0.1	0.03	0.07	0.03	0.04	0.23	0.1	0.08
MgO	2.69	1.92	2.05	1.46	1.77	1.34	1.14	1.32	1.12	1.7	2.31	2.17
CaO	0.89	2.7	0.43	8.09	2.52	0.44	2.55	0.1	1.11	10.29	2.95	1.84
Na <sub>2</sub> O	3.88	4.29	3.61	3.5	3.43	3.66	3.21	3.42	3.1	1.88	2.31	3.19
K <sub>2</sub> O	1.8	1.48	1.75	0.66	1.02	1.86	1.94	1.26	2.06	1.76	1.99	2.16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16	0.15	0.14	0.08	0.1	0.12	0.11	0.11	0.1	0.13	0.15	0.15
ppp	4.2	4.6	4.23	7.56	3.97	2.51	4.37	2.11	1.8	10.94	7.08	3.71
Cr	186.85	68.95	72.78	49.07	74.38	89.4	57.62	72.26	36.43	59.64	78.35	111.2
Ni	30.42	21.63	56.95	55.79	23.32	35.79	24.06	57.71	21.75	26.38	31.35	48.09
Co	17.26	14.13	13.94	10.64	12.16	7.78	8.37	8.96	4.87	10.25	9.84	13.44
V	115.66	110.04	108.88	60.34	81.14	67.91	56.08	62.69	39.52	77.64	101.31	129.79
Cs	1.43	1.25	2	0.51	0.82	2.96	2.26	2.09	3.14	2.65	4.1	2.51
Rb	47.62	36.98	50.22	17.01	26.02	65.35	54.08	43.53	65.12	56.78	74.44	60.45
Ba	573.54	494.03	352.63	198.77	278.15	387.71	327.39	328.83	391.13	355.21	382.87	439.83
Sr	306.02	266.76	159.18	218.29	183.47	135.33	178.41	88.03	402.94	232.33	171.81	196.86
Th	4.57	3.92	5.15	2.84	3.54	6.81	5.34	5.88	3.82	7.01	10.26	5.25
U	1.32	1.34	1.55	0.82	1.11	1.90	1.49	1.64	1.5	1.77	2.14	1.72
Be	1.4	1.45	1.56	0.66	1.01	1.64	1.55	1.21	1.37	1.78	9.07	1.37
Nb	6.58	6.78	8.15	3.70	5.1	8.88	6.42	7.68	4.21	8.21	9.42	6.69
Ta	0.36	0.34	0.46	0.15	0.26	0.69	0.41	0.5	0.36	0.52	0.65	0.45
Hf	3.95	4.08	4.66	2.63	3.41	8.54	4.16	5.09	3.03	4.89	5.43	4.77
Zr	164.61	167.9	186.9	107.81	137.77	342.32	157.32	197	116.21	177.38	192.79	172.31
Y	18.3	19.94	20.89	11.42	16.3	19.21	16.65	16.6	11.45	33.3	23.45	22.5
La	19.85	16.19	16.75	14.97	13.46	20.96	18.58	18.95	14.09	24.06	24.47	17.21
Ce	42.77	36.87	38.12	28.23	28.86	43.76	38.71	40.05	30.1	49.23	52.66	41.37
Pr	5.07	4.56	4.5	3	3.37	4.91	4.38	4.45	3.55	5.62	6.06	4.99
Nd	19.78	18.23	17.16	11.51	13.44	18.34	16.43	16.28	13.84	21.34	23.19	20.08
Sm	4.03	3.84	3.47	2.43	2.93	3.73	3.16	3.12	2.93	5.37	4.55	4.25
Eu	0.97	0.93	0.88	0.55	0.65	0.85	0.66	0.65	0.91	1.64	1.07	1.08
Gd	3.45	3.31	3.22	2.12	2.70	3.36	2.81	2.67	2.82	5.70	4	3.99
Tb	0.53	0.52	0.52	0.32	0.43	0.52	0.45	0.43	0.51	0.91	0.65	0.61
Dy	3.06	3.12	3.17	1.82	2.59	3.07	2.60	2.55	2.11	5.28	3.82	3.69
Ho	0.62	0.65	0.67	0.36	0.53	0.64	0.54	0.54	0.41	1.02	0.8	0.77
Er	1.72	1.85	1.95	1.04	1.53	1.85	1.58	1.6	1.21	2.56	2.28	2.18
Tm	0.26	0.27	0.31	0.17	0.24	0.29	0.24	0.25	0.21	0.37	0.36	0.35
Yb	1.68	1.79	2.01	1.09	1.57	1.98	1.64	1.63	0.89	2.34	2.35	2.24
Lu	0.25	0.27	0.30	0.17	0.24	0.31	0.24	0.26	0.15	0.33	0.35	0.34

Примечание. Концентрации главных петрогенных элементов определены методом РФА в лаборатории анализа минерального вещества ИГЕМ РАН.

Таблица 3. Изотопный состав позднемеловых-раннепалеоценовых магматических пород Камчатки

№ образца	Порода	Возраст (млн. лет)	Содержание ppm		Изотопные отношения		T <sub>Nd</sub> (DM) (млн. лет)	ε <sub>Nd</sub> (T)
			Sm	Nd	<sup>147</sup> Sm/ <sup>144</sup> Nd	<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd		
<i>Остров Карагинский</i>								
162/87	андезит	80	5.293	25.963	0.123248	0.513030 ± 3	204.63	8.39
155/87	базальт	80	2.824	10.012	0.170492	0.513440 ± 9		15.91
151/87	базальт	80	4.020	15.070	0.161240	0.513107 ± 5	128.43	9.51
170/87	дацит	65	2.252	9.316	0.146116	0.512953 ± 7	447.97	6.56
178/87	андезит	65	5.267	25.695	0.123906	0.512943 ± 8	354.17	6.55
171/87	андезит	65	2.570	9.030	0.172073	0.513022 ± 12	474.25	7.69
247/87	дацит	65	1.506	6.136	0.148400	0.512862 ± 7	676.25	4.77
<i>Хребет Кумроч</i>								
Л-280	андезибазальт	80	3.815	16.263	0.141792	0.512981 ± 11	361.56	7.25
Л-298	базальт	80	4.450	18.693	0.143899	0.512953 ± 10	433.74	6.68
Ш-150	андезит	80	4.529	20.036	0.136650	0.513066 ± 11	168.8	8.96
4041/10	андезибазальт	80	3.820	13.684	0.168760	0.513113 ± 21	129.52	9.55
126/84	андезибазальт	80	3.265	12.796	0.154245	0.513008 ± 17	367.94	7.65
4041/18	базальт	80	4.220	17.472	0.145988	0.513035 ± 16	262.11	8.26
1542	андезит	80	4.296	15.378	0.168886	0.513109 ± 25	143.55	9.47
4040/6	базальт	80	3.541	12.873	0.166298	0.513025 ± 27	406.75	7.86
<i>Бассейн реки Белой</i>								
1888	базальт	70	3.363	29.169	0.131867	0.513041 ± 21	205.64	8.19
1926/2	андезит	70	6.736	30.057	0.135486	0.513018 ± 21	260.12	8.04
1868/1	дацит	70	5.869	24.708	0.143583	0.513048 ± 21	224.76	8.54
<i>Бассейн реки Левая Лесная</i>								
КБ-18/99	базальт	70	4.216	16.016	0.161384	0.512997 ± 15	450.29	7.32
КБ-55/99	базальт	70	4.407	12.760	0.208785	0.513130 ± 9	665.42	9.49
КБ-10/99	базальт	70	4.608	13.342	0.208785	0.513224 ± 14		11.32
КБ-48/99	базальт	70	2.447	6.944	0.213033	0.513117 ± 41	8904.53	9.20
<i>Паланский район</i>								
216/01	базальт	80	2.898	11.780	0.148716	0.513043 ± 8	254.3	8.39
224/4	базальт	80	2.741	9.528	0.173929	0.513056 ± 11	365.72	8.38
224/6	андезит	80	3.249	12.926	0.151968	0.513063 ± 7	218.16	8.74
100/99	андезибазальт	80	2.671	9.120	0.177043	0.513037 ± 16	476.08	7.98
80/99	андезибазальт	80	2.715	9.245	0.177490	0.513091 ± 11	253.85	9.03
102/99	базальт	80	2.692	9.171	0.177428	0.513040 ± 7	468.49	8.04
<i>Гора Ируней</i>								
170/1	дацит	80	4.893	23.894	0.123790	0.5130391 ± 61	190.56	8.56
136/1	базальт	80	2.797	9.264	0.182545	0.513034 ± 9	574.98	7.87
<i>Бассейн реки Тихой</i>								
Б-17	андезит	80	4.703	18.322	0.155177	0.512973 ± 11	465.15	6.96

Примечание. T<sub>Nd</sub>(DM) – модельный возраст источника.

**Таблица 4.** Результаты Sm/Nd изотопных исследований терригенных пород Камчатки и юга Корякии

№ образца	Порода	Возраст (млн. лет)	Содержание, ppm		Изотопные отношения		TNd(DM) (млн. лет)	$\epsilon_{Nd}(t)$
			Sm	Nd	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$		
<i>Хребет Омгон</i>								
22/98	песчаник	70	3.297	16.182	0.123165	$0.512560 \pm 21$	996	-0.9
10/98	песчаник	70	3.686	17.548	0.126964	$0.512594 \pm 20$	980	-0.2
<i>бассейн р. Рассошина</i>								
135/98	песчаник	70	2.238	10.313	0.131183	$0.512501 \pm 50$	1201	-2.1
148/98	песчаник	70	2.701	12.579	0.129822	$0.512580 \pm 31$	1028	-0.4
<i>Камчатский перешеек (лесновская свита)</i>								
98/01	песчаник	70	2.407	11.744	0.123773	$0.512636 \pm 11$	874.14	0.61
274/01	песчаник	70	2.408	10.744	0.135471	$0.512348 \pm 21$	1564	-5.1
270/01	песчаник	70	3.138	14.970	0.126721	$0.512328 \pm 16$	1442	-5.4
<i>Мыс Витгенштейна (Олюторский хребет)</i>								
106/93	песчаник	70	4.464	19.833	0.136047	$0.512346 \pm 29$	1578.97	-5.39

Примечание. см. табл. 2.

В бассейне реки Тихой и в районе горы Ируней магматические породы представлены плагиоклазовыми или плагиоклаз-клинопироксеновыми порфировыми базальтами и мелкопорфировыми дацитами и риолитами. В базальтах помимо плагиоклаза и клинопироксена во вкрапленниках иногда присутствуют калиевый полевой шпат и кварц [16]. В кислых породах редкие вкрапленники образованы альбитизированным плагиоклазом. Основная масса кислых пород сложена мелкокристаллическим агрегатом альбита, в небольшом количестве калиевого полевого шпата, магнетита, кварца. Породы претерпели зеленокаменное изменение, которое выразилось в образовании хлорита, пренита, соссурита и в альбитизации плагиоклаза [16].

#### АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДИКИ

Для исследования концентраций главных породообразующих элементов, элементов-примесей и изотопного состава Nd использовались наименее измененные образцы горных пород. Определение породообразующих окислов выполнено классическим методом "мокрой" химии в лабораториях ВИМС, а также в Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН и рентгено-флюоресцентным методом (RFA) в Институте геохимии СО РАН. Концентрации элементов-примесей определялись методом ICP-MS в Институте аналитического приборостроения РАН с относительной погрешностью 5–10%.

Измерения изотопного состава Nd проводились в Геологическом институте КНЦ РАН (Апатиты) на семиканальном масс-спектрометре Finnigan – MAT – 262 (RPQ) по методике, детально описанной в работах [24–26]. Погрешность воспроизводимости изотопного состава Nd стандарта La Jolla =

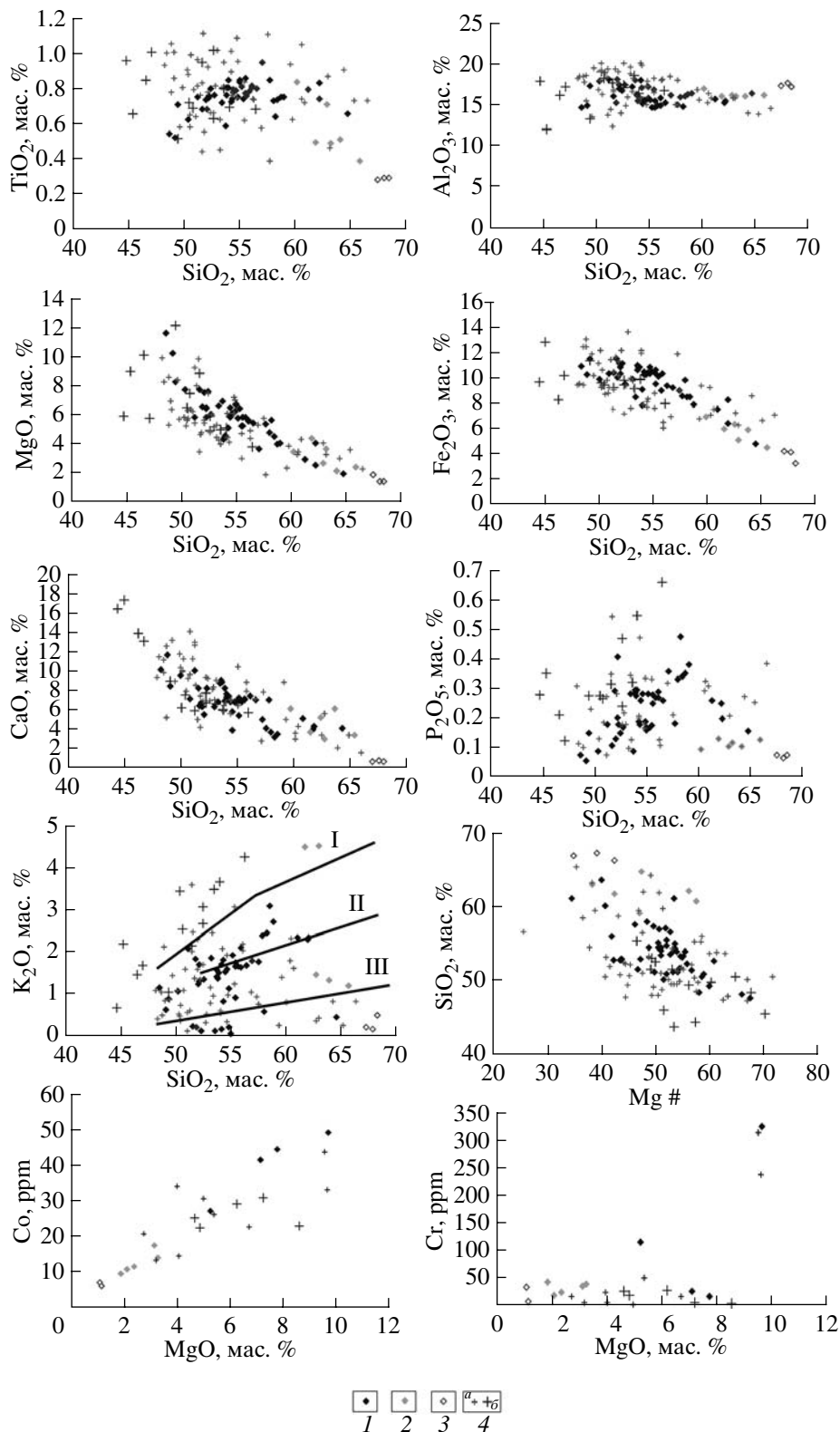
=  $0.511833 \pm 6$  ( $2\sigma$ ,  $N = 11$ ) не превысила 0.0024% ( $2\sigma$ ). Такая же погрешность получена при измерениях параллельных анализов нового японского стандарта JNd<sub>1</sub> =  $0.512072 \pm 2$  ( $2\sigma$ ,  $N = 44$ ). Ошибка в  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  отношениях принята при статистическом обсчете концентраций Sm и Nd в стандарте BCR-1 и составляет 0.2% ( $2\sigma$ ) – среднее значение из семи измерений. Холостое внутривлабораторное загрязнение по Nd равно 0.3 нг и по Sm равно 0.06 нг. Измеренные изотопные отношения Nd были нормализованы по отношению  $^{148}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.241570$ , а затем пересчитаны на отношение  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  в стандарте LaJolla = 0.511860. Константы распада – по [27].

Концентрации главных петрогенных элементов (определены методом RFA) и элементов-примесей (определены методом ICP-ms) образцов пород района г. Ируней и бассейна р. Тихой заимствованы из работы [16]. Изучение изотопного состава Nd этих же образцов пород проведено авторами данной работы по методике охарактеризованной выше.

Концентрации главных породообразующих элементов и элементов-примесей позднемеловых-раннепалеоценовых магматических пород Камчатки приведены в табл. 1. Концентрации породообразующих элементов и элементов-примесей осадочных пород Камчатки и юга Корякии, которые ниже используются для сравнения, приведены в табл. 2. Изотопный состав Nd магматических и осадочных пород Камчатки приведен в табл. 3 и 4.

#### КЛАССИФИКАЦИЯ ПОРОД ГЛАВНЫЕ ПЕТРОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

По концентрации  $\text{SiO}_2$  магматические породы о. Карагинского, хребта Кумроч, бассейна р. Белой



**Рис. 3.** Диаграммы Харкера для пород острова Карагинского и хребта Кумроч. 1–3 – составы пород острова Карагинский: кремнисто-вулканогенный комплекс (1), вулканогенно-обломочный (2), силлы (3); 4 – составы пород хребта Кумроч: неразделенные известково-щелочные и шшонитовые серии (4а), шшониты (4б). На диаграмме  $K_2O-SiO_2$ : I – шшониты, II – высоко-калиевые известково-щелочные серии, III – умереннокалиевые известково-щелочные серии, IV – низко-калиевые толеитовые серии.

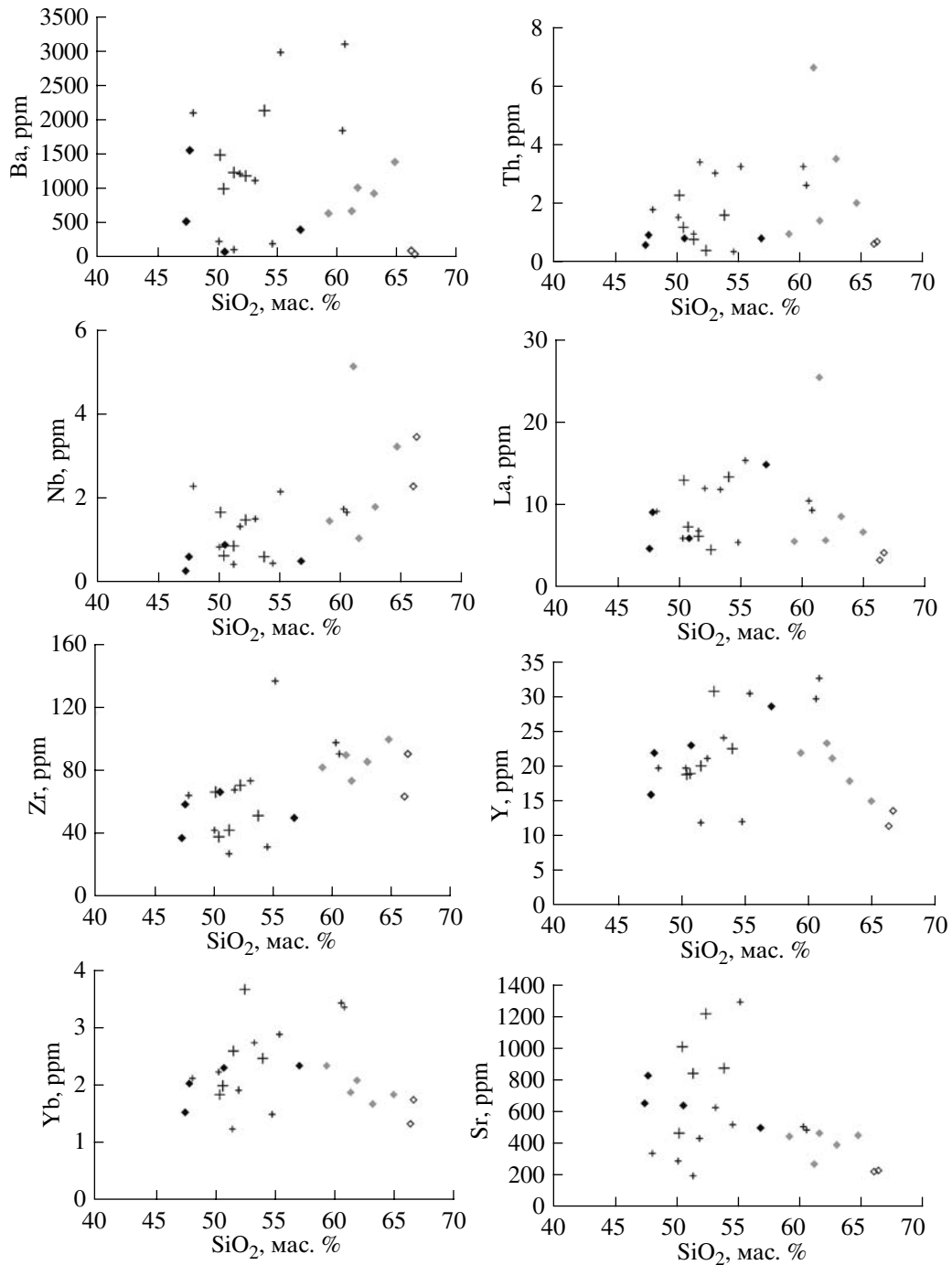


Рис. 3. Продолжение.

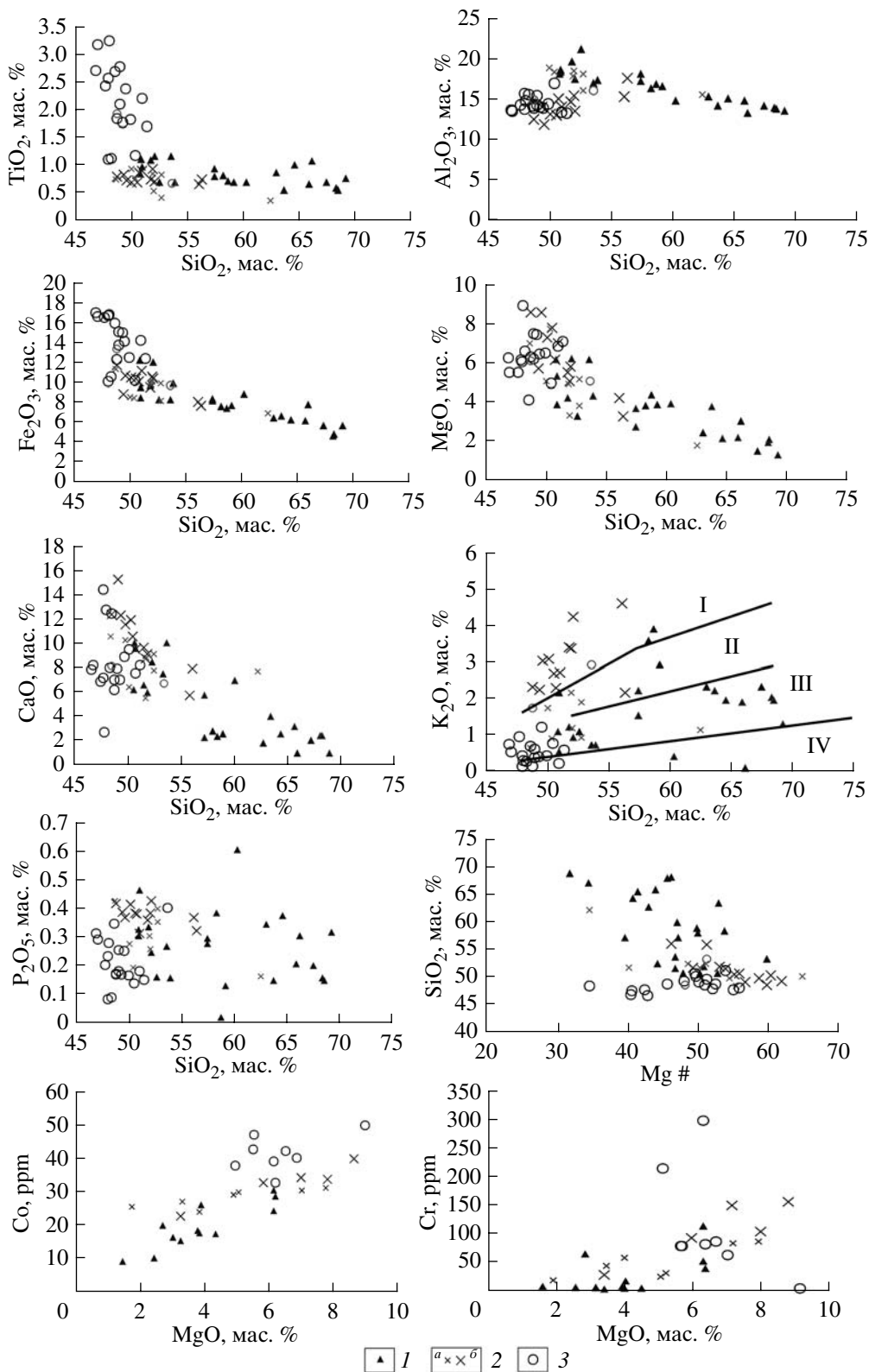
представляют собой непрерывный ряд от базальтов до дацитов (рис. 3 и 4). В Паланском районе составы пород ограничиваются рядом базальт-андезит, в районе горы Ируней и бассейне р. Тихой магматические толщи включают в основном базальты, андезит-базальты, дациты и риодациты [16], а магматические породы бассейна р. Левая Лесная (яшмо-базальтовая толща) представлены почти исключительно базальтами. Наименьшие концентрации

$\text{SiO}_2$  (44 мас. %) наблюдаются в пикритобазальте хребта Кумроч.

На диаграмме  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})-\text{SiO}_2$  [28] составы пород всех районов попадают в области нормальной и повышенной щелочности, часто лежат на границе этих полей.

На диаграммах Миасиро ( $\text{SiO}_2-\text{FeO}^*/\text{MgO}$  и  $\text{FeO}^*-\text{FeO}^*/\text{MgO}$ ) [29] тренды составов пород





**Рис. 4.** Диаграммы Харкера для пород бассейнов рек Белой и Левоы Лесной, Паланского района. 1 – составы пород бассейна р. Белой; 2 – составы пород Паланского района: известково-щелочные лавы (2а), шошониты (2б); 3 – составы пород бассейна р. Левоы Лесной. Остальные обозначения см. рис. 3.

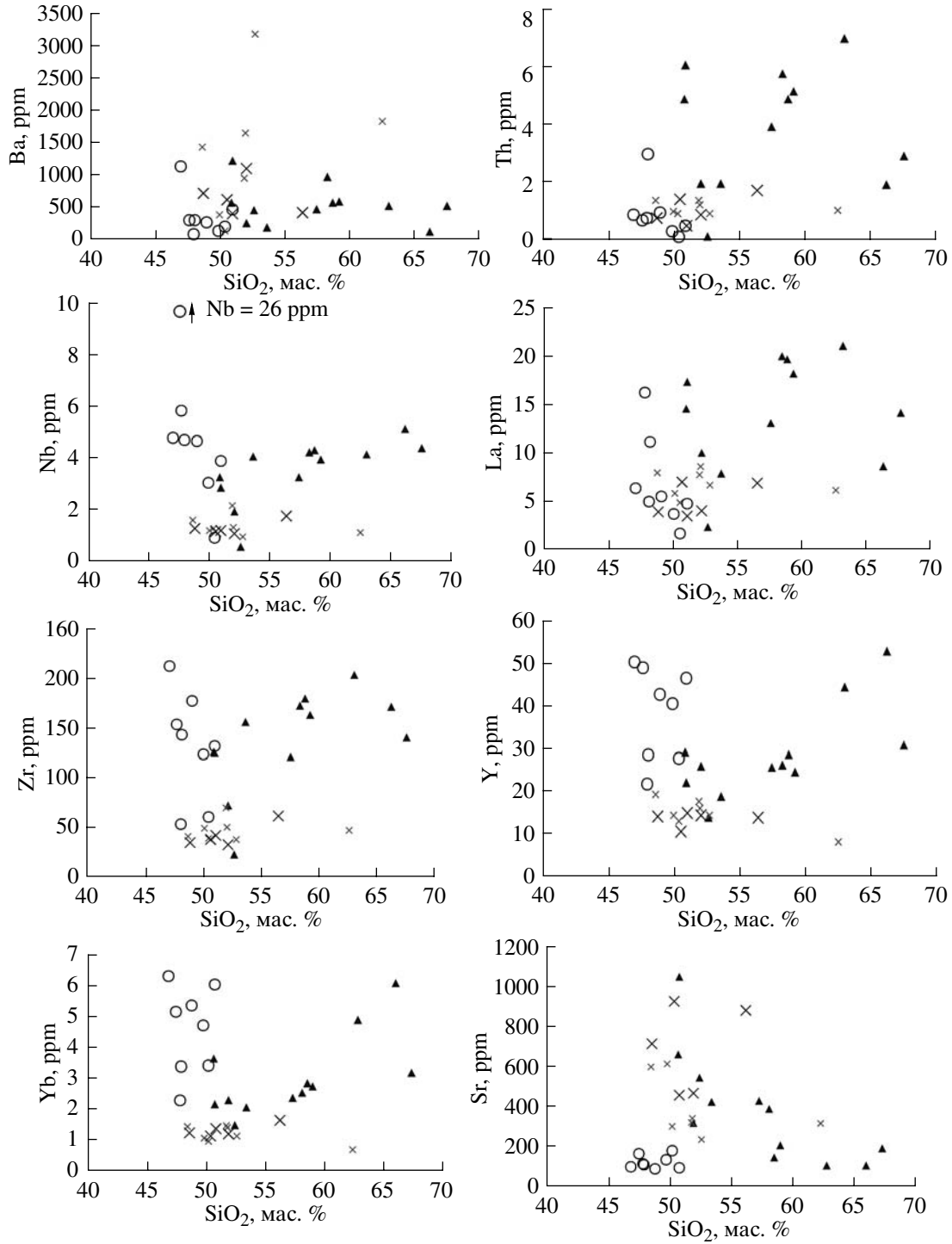


Рис. 4. Продолжение.

о. Карагинского, хребта Кумроч и бассейна р. Белой попадают в область известково-щелочных пород; составы лав Паланского района располагаются на границе толеитовой и известково-щелочной серий; слабо фракционированные базальты района г. Ируней и бассейна р. Тихой по составу попадают в поле толеитовых пород, а составы

более кислых разновидностей уходят в поле известково-щелочных серий; составы пород бассейна р. Левая Лесная попадают в поле толеитовых пород.

На диаграмме K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> [30] составы пород о. Карагинского распределены от областей низко-калиевых пород до шощонитов. Составы кремнисто-вул-

каногенного комплекса попадают как в область низко-калиевых, так и высоко-калиевых пород, составы лав вулканогенно-обломочного комплекса лежат на границе низко- и умеренно-калиевых пород и в шошонитовой области, а силлы попадают в область низко-калиевых пород (рис. 3 и 4). Составы пород хребта Кумроч распределены от областей низко-калиевых пород до шошонитов. Причем большинство магматических пород шошонитового состава участвуют в структуре хребта Кумроч в виде обособленных тектонических пластин или чешуи. Аналогичное распределение составов характерно для пород бассейна р. Белой. Составы пород Паланского района попадают в области умеренно- и высококалиевых известково-щелочных пород и шошонитов. Шошонитами сложены вулканические пачки кремнисто-вулканогенного комплекса, а известково-щелочными породами – толщи кремнисто-обломочного комплекса. Породы района г. Ируней и бассейна р. Тихой на диграмме  $K_2O-SiO_2$  попадают в поле умеренно- и высококалиевой известково-щелочной серии. Составы пород бассейна р. Левая Лесная в основном группируются в области низко- и умеренно-калиевых пород, единичные составы попадают в поля шошонитов.

На диаграммах Харкера (рис. 3) составы образцов магматических пород о. Карагинского показывают распределения типичные для известково-щелочных серий островных дуг [31, 32]. Содержания  $SiO_2$  варьируют от 48 до 68 мас. %, концентрации  $MgO$  – от 11 до 1 мас. %. Содержания  $TiO_2$  и  $P_2O_5$  в породах закономерно увеличиваются (титан – от 0.54 до 0.96 мас. %, фосфор – от 0.07 до 0.48 мас. %) в интервале  $SiO_2$  от 48 до 55–57 мас. %, а в более кислых породах уменьшаются. Содержание глинозема меняется от 15 до 18%, максимальные значения соответствуют концентрациям  $SiO_2$  около 53 мас. %. Концентрации железа, магния и кальция монотонно убывают с увеличением содержания кремнезема (рис. 3). Магнезиальность пород колеблется от 70 до 26.

В породах хребта Кумроч (рис. 3) концентрации  $SiO_2$  меняются от 44 до 66 мас. %,  $MgO$  – от 12 до 2 мас. %. Причем шошониты в целом более основные, чем известково-щелочные породы. Содержания  $TiO_2$  меняются от 0.45 до 1.06 мас. % в более примитивных породах и от 0.4 до 1.1 мас. % в более кислых разностях. Содержания алюминия, железа и кальция уменьшаются с ростом  $SiO_2$ , но разброс концентраций этих элементов достаточно широк при различных содержаниях  $SiO_2$ . Концентрации фосфора растут при увеличении концентраций  $SiO_2$  в породах до 55–57 мас. %, затем уменьшаются, причем в шошонитах концентрация фосфора выше, чем в породах известково-щелочной серии.

Содержания  $SiO_2$  в породах бассейна р. Белой (рис. 4) меняются от 50 до 70 мас. %. Концентрация магния уменьшается от 6 до 1.2 мас. % с ро-

стом концентрации кремнезема. Также закономерно уменьшаются содержания алюминия, железа и кальция. Содержания титана слабо меняются от 0.7–1.2 мас. % в основных породах и до 0.5–1.1 мас. % в кислых. Концентрация фосфора меняется в широких пределах от 0.03 до 0.6 мас. %. Магнезиальность меняется от 59 до 31.

Породы бассейна р. Левая Лесная (рис. 4) в основном представлены базальтами и андезибазальтами. Содержание титана в них изменяется от 3.3 до 0.6 мас. % и отрицательно коррелирует с концентрацией  $SiO_2$ . Такую же зависимость от кремнезема показывает железо. Концентрация магния меняется от 9 до 4 мас. %, кальция – от 15 до 3 мас. (%), фосфора – от 0.1 до 0.35 мас. %. Содержания алюминия колеблются около 15 мас. %. Магнезиальность меняется от 55 до 33.

В базальтах и андезитах Паланского района (рис. 4) концентрация титана колеблется около 0.75 мас. % в базальтах и немного уменьшается в андезитах. Содержания алюминия растут от 12 до 22 мас. % в ряду концентраций  $SiO_2$  от 48 до 52 мас. (%) и уменьшаются в более кислых породах. Концентрации железа, магния и кальция в породах убывают с увеличением содержания кремнезема в них. Концентрация фосфора меняется от 0.2 до 0.4 мас. %. Магнезиальность варьирует от 64 до 33. Составы шошонитов слабо отличаются от составов известково-щелочных пород.

В андезибазальтах района г. Ируней и бассейна р. Тихая концентрации всех элементов варьируют при близкой концентрации  $SiO_2 = 50-52$  мас. %: титан – от 0.9 до 1.55 мас. %, алюминия – от 14 до 17.5 мас. %, железа – от 12.3 до 16 мас. %, магния – от 4.2 до 7 мас. %, кальция – от 6 до 11 мас. %, натрия – от 1.5 до 5 мас. %, калия – от 0.1 до 2 мас. %, фосфора – от 0.15 до 0.45 мас. % [16]. В кислых разностях пород концентрации всех элементов уменьшаются при уменьшении возрастания содержания  $B_2O_3$  от 61 до 74 мас. %.

## ЭЛЕМЕНТЫ-ПРИМЕСИ

В породах о. Карагинского, хр. Кумроч, бассейна р. Белой, Паланского района, района г. Ируней и бассейна р. Тихой содержания хрома, никеля, кобальта и ванадия наиболее высокие в высокомагнезиальных породах и уменьшаются с уменьшением в них концентрации магния. В наиболее магнезиальных образцах о. Карагинского концентрации этих элементов – 330 ppm, 100 ppm, 45–50 ppm и 320–420 ppm, соответственно; хребта Кумроч – 230–320 ppm, 90–140 ppm, 20–40 ppm, 250–340 ppm; бассейна р. Белой – 50–100 ppm, 10–70 ppm, 25–30 ppm, 100–270 ppm; Паланского района – 100–150 ppm, 40–60 ppm, 30–40 ppm, 250–420 ppm; районе г. Ируней и бассейна р. Тихой – 40–100 ppm, 30–63 ppm, 25–47 ppm, 400–800 ppm. В лавах бассей-

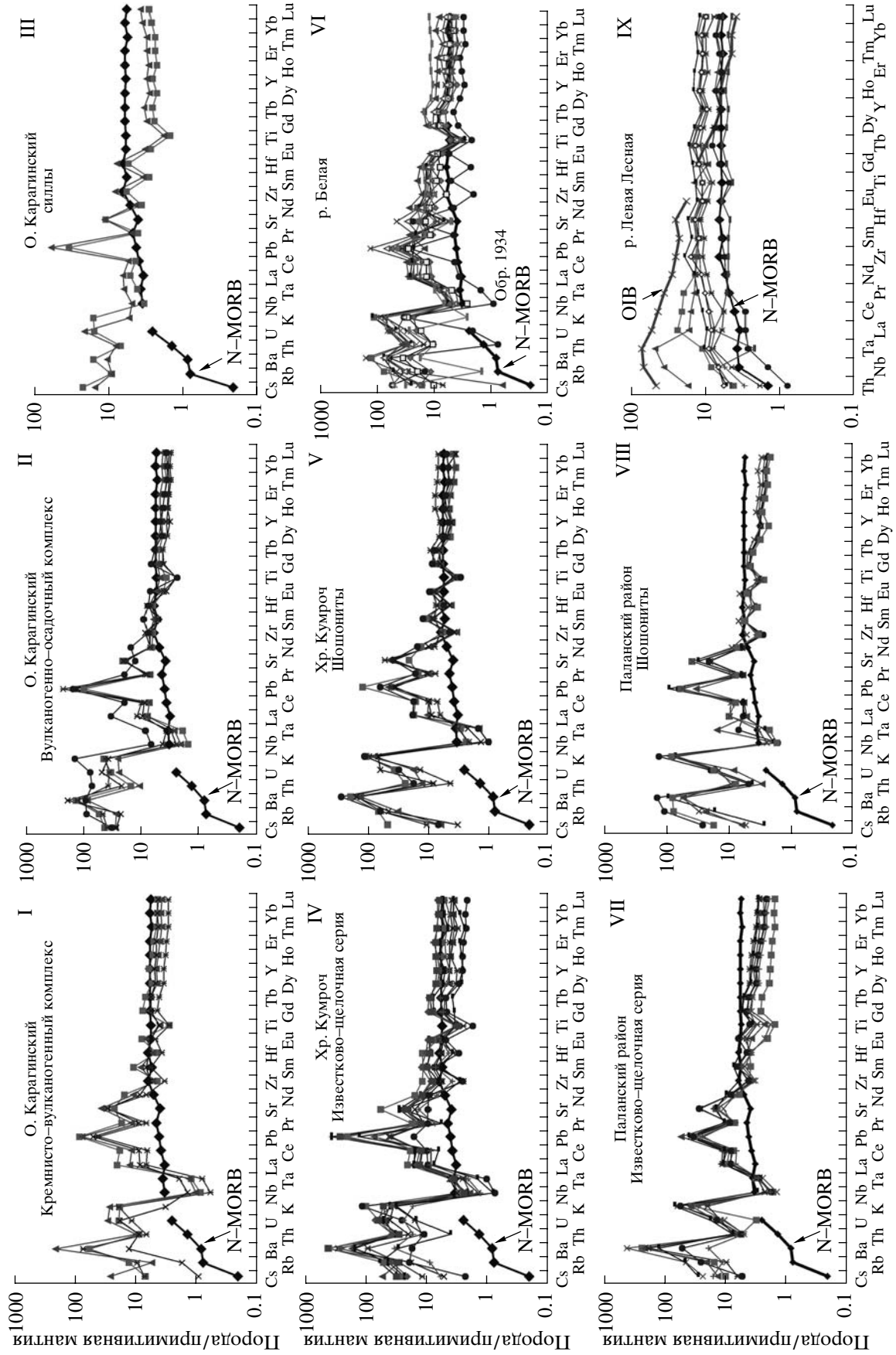


Рис. 5. Слайдер-диаграммы для пород всех исследованных районов. Составы MORB и OIB взяты из [33].

на р. Левая Лесная концентрации этих элементов колеблются: Cr – от 50 до 300 ppm, Ni – 20–180 ppm, Co – 30–50 ppm, V – 200–560 ppm (рис. 3 и 4).

Концентрация Ва меняется незакономерно в лавах кремнисто-вулканогенного комплекса о. Карагинского – 97–1500 ppm, в породах вулканогенно-осадочного комплекса – увеличивается с ростом концентрации SiO<sub>2</sub> от 660 ppm до 1400 ppm, в силлах – около 100 ppm. На хр. Кумроч содержание Ва увеличивается с ростом кремнекислотности пород и в известково-щелочных лавах достигает 3000 ppm, в шошонитах – 2000 ppm. В бассейне р. Белая концентрация этого элемента в породах слабо зависит от кремнекислотности и изменяется от 130 до 1200 ppm. В толщах бассейна р. Левая Лесная концентрация Ва меняется от 150 ppm до 1100 ppm, в Паланском районе – в известково-щелочных лавах – от 140 ppm до 3000 ppm, в шошонитах – до 1000 ppm, в силлах и дайках диабазов района г. Ируней и бассейна р. Тихой – 10–1200 ppm, в кислых породах – 110–720 ppm (рис. 3 и 4).

Концентрация тория на о. Карагинском практически постоянна в лавах кремнисто-вулканогенного комплекса и в кислых силлах (0.6–0.9 ppm) и сильно варьирует в породах вулканогенно-осадочного комплекса (1–6.7 ppm). На хр. Кумроч и в бассейне р. Белая она растет от 0.2 ppm до 3.5 ppm при увеличении кремнекислотности пород до 55–57 мас. %, в бассейне р. Левая Лесная концентрация убывает с увеличением кремнекислотности пород от 1.5 ppm до 0.1 ppm, в Паланском районе – слабо зависит от кремнекислотности и меняется от 0.2 ppm до 1.5 ppm, в основных породах района г. Ируней и бассейна р. Тихой – 0.39–1.2 ppm, в кислых породах – 1.5–3.9 ppm (рис. 3 и 4).

Концентрация Sr в породах о. Карагинского и бассейна р. Белая уменьшается с увеличением кремнекислотности пород от 800–1000 ppm до 100–200 ppm. На хребте Кумроч в слабо фракционированных породах она меняется от 200 ppm до 1300 ppm, в породах бассейна р. Левая Лесная колеблется от 100 до 200 ppm, в Паланском районе – от 250 ppm до 950 ppm, в основных и кислых породах района г. Ируней и бассейна р. Тихой – 100–500 ppm (рис. 3 и 4).

Концентрации высокозарядных элементов (HFSE) в породах о. Карагинского, хр. Кумроч, бассейна р. Белая растут с увеличением кремнекислотности пород – от 0.5–0.8 ppm до 4 ppm (Nb), от 20–30 ppm до 150–200 ppm (Zr). В Паланском районе концентрации этих элементов слабо меняются от 1 ppm до 2 ppm (Nb) и от 40 ppm до 70 ppm (Zr) с изменением кремнекислотности пород. В лавах бассейна р. Левая Лесная концентрации HFSE образуют крутой негативный корреляционный тренд с концентрацией SiO<sub>2</sub> и меняются от 6 ppm до 1 ppm (Nb) и от 220 ppm до 50 ppm (Zr). В породах района г. Ируней и бассейна р. Тихой концентрации этих

элементов увеличиваются от основных пород к кислым: Nb – 1.1–3.3 ppm в диабазах, 3–7 ppm в кислых породах, Zr – 42–103 ppm в диабазах, 100–205 ppm в кислых породах (рис. 3 и 4).

Концентрации Y и редкоземельных элементов (REE) в породах о. Карагинский растут с увеличением концентрации SiO<sub>2</sub> в них до 55–60%, в более кислых породах – уменьшаются. В наименее фракционированных породах концентрации этих элементов соответствуют 15 ppm (Y), 1.5 ppm (Yb), 5 ppm (La). В породах хр. Кумроч, бассейна р. Белая концентрации увеличиваются с увеличением кремнекислотности пород от 10–25 ppm (Y), 1.5–2.5 ppm (Yb), 3–8 ppm (La). В породах Паланского района концентрации слабо меняются при изменении кремнекислотности пород: 10–18 ppm (Y), 1–1.5 ppm (Yb), 4–9 ppm (La). В породах района г. Ируней и бассейна р. Тихой концентрации этих элементов незначительно увеличиваются от основных пород к кислым: Y – 21–46 ppm в диабазах, 27–45 ppm в кислых породах, Yb – 1.5–3.5 ppm в диабазах, 2.7–4.1 ppm в кислых породах, La – 4.8–12.5 ppm в диабазах, 9.6–16 ppm в кислых породах. Концентрации этих элементов в лавах бассейна р. Левая Лесная образуют негативные корреляции с кремнекислотностью (рис. 3 и 4).

На спайдер-диаграммах, нормализованных к примитивной мантии [33] (рис. 5), породы о. Карагинский, хребта Кумроч, Паланского района, района г. Ируней и бассейна р. Тихой и большинство образцов пород бассейна р. Белой демонстрируют особенности составов типичные для островодужных магм – они обогащены легкими литофильными элементами (LILE) и легкими редкими землями (LREE) относительно высокозарядных элементов (HFSE), средних (MREE) и тяжелых редких земель (HREE). Наиболее высокомагнезиальные лавы о. Карагинского, хр. Кумроч, Паланского района значительно деплетированы относительно N-MORB по всем HFSE, MREE и HREE. Концентрации этих элементов в более фракционированных породах увеличиваются до уровня MORB и выше. На большинстве спайдер-диаграмм отмечаются стронциевые максимумы и отсутствие Eu минимумов. Европиевые минимумы наблюдаются лишь в базальтах из олистолитов Паланского района. В породах бассейна р. Белая концентрации Nb и Ta не отличаются от N-MORB или выше их. Спайдер-диаграммы пород из бассейна р. Левая Лесная типичны для N- и E-MORB.

На диаграммах Nb-Zr-Y [34] и Hf-Th-Ta [35] базальты о. Карагинского, хребта Кумроч, бассейна р. Белая, района г. Ируней и бассейна р. Тихой и большинство базальтов Паланского района попадают в поля надсубдукционных пород. Два образца базальта Паланского района на диаграмме Hf-Th-Ta “отлетают” в поле внутриплитных толеитов из-за повышенных содержаний Ta и пониженных Th и один образец из бассейна р. Белой (обр. 1934) попа-

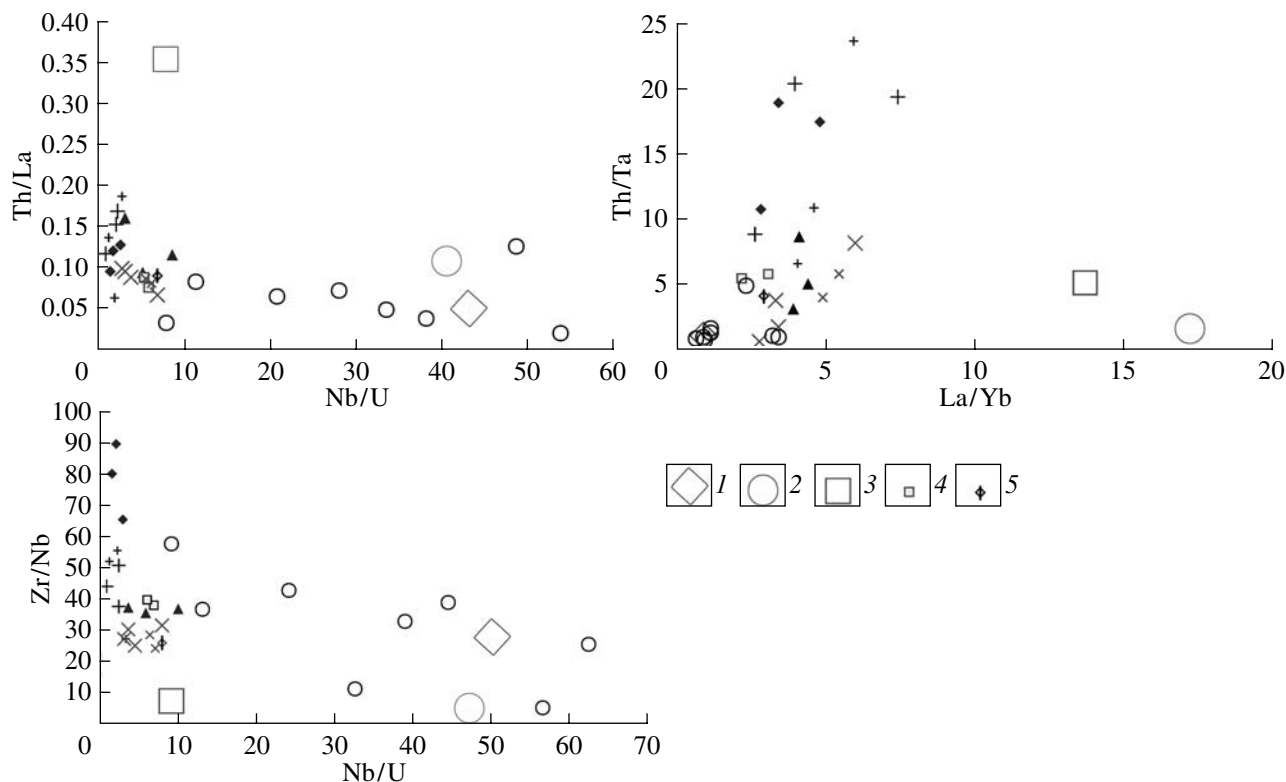


Рис. 6. Составы высокомагнезиальных позднемеловых-раннепалеоценовых магматических пород северной Камчатки. 1–3 – средние составы: MORB (1), OIB (2) и верхней континентальной коры (3) [33, 36]; 4 – составы пород в бассейне р. Тихой [16]; 5 – составы пород в районе г. Ируней [16]. Остальные обозначения см. рис. 3 и 4.

дает в поле N-MORB из-за anomalно низкой концентрации Th в нем. Базальты бассейна р. Левая Лесная, классифицированные по спайдер-диаграммам как N-MORB попадают в соответствующую поля и на диаграммах Nb–Zr–Y и Hf–Th–Ta. Образцы E-MORB на этих диаграммах попадают в поля надсубдукционных и внутриплитных пород.

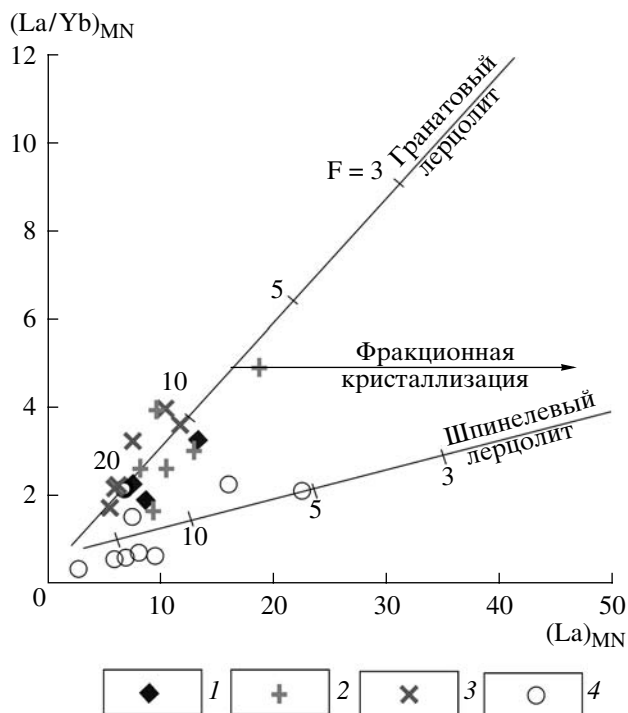
### ИЗОТОПИЯ Nd

По изотопному составу Nd исследованные породы разбиваются на две группы: первая – магматические породы о. Карагинского, во вторую попадают породы всех остальных районов. Изотопные составы пород о. Карагинского образуют положительные корреляции с содержанием магния в них и отрицательные с концентрацией SiO<sub>2</sub>. Величины  $\epsilon_{Nd}(t)$  в породах о. Карагинского изменяются от ультрадеплементированных значений (+15) при концентрациях SiO<sub>2</sub> = 47 мас. % и MgO = 10 мас. % до +5 при SiO<sub>2</sub> = 66 мас. % и MgO = 1.1 мас. %. Изотопные составы Nd пород остальных районов не зависят от концентраций SiO<sub>2</sub> и MgO, значения  $\epsilon_{Nd}(t)$  в них варьируют от +6.6 до +9.6 в интервале концентраций SiO<sub>2</sub> от 48 до 67 мас. % и MgO от 9.8 до 2 мас. % в надсубдукционных породах и от +7.3 до +11.3 в N- и

E-MORB бассейна р. Левая Лесная при вариациях SiO<sub>2</sub> от 48 до 51 мас. % и MgO от 9 до 5 мас. %.

### АНАЛИЗ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как было показано выше, распределения петрогенных элементов (низкая титанистость, высокая глиноземистость) и элементов-примесей (обогащение LILE и LREE относительно HFSE, MREE и HREE) в большинстве исследованных образцов позднемеловых-раннепалеоценовых магматических пород о. Карагинского, хр. Кумроч, бассейна р. Белой, Паланского района, района г. Ируней и бассейна р. Тихой свидетельствуют о том, что они были сформированы в надсубдукционной обстановке (рис. 5). Вулканические породы бассейна р. Левая Лесная по типу распределения главных петрогенных элементов (высокий Ti (рис. 4)) и элементов-примесей (рис. 4 и 5) являются N- и E-MORB, один образец (обр. 1934) из района р. Белой характеризуется как некоторыми признаками N-MORB (низкий Th), так и надсубдукционными чертами (деплемирование HFSE). По-видимому, смешанный генезис имеют и sillы острова Карагинский – в них отсутствуют выраженные Nb, Ta минимумы, очевидно деплемирование пород средними и тяжелыми редкими землями.

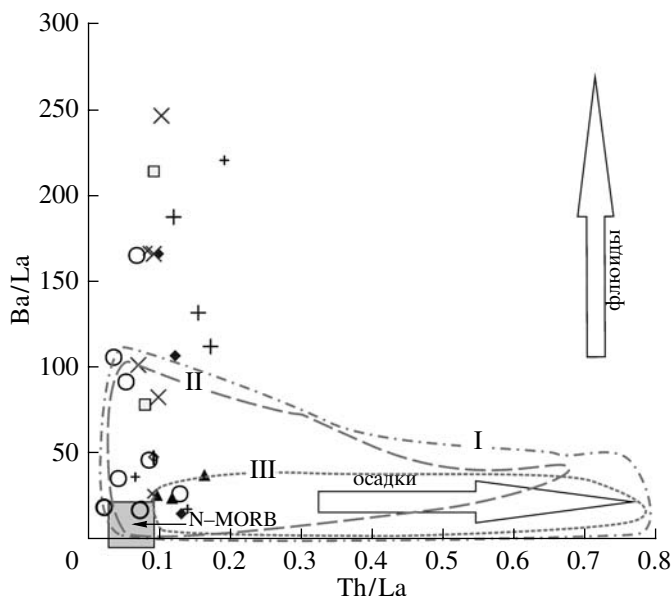


**Рис. 7.** Диаграмма  $(La/Yb)_{MN} - (La)_{MN}$  [37] для высокомагнезиальных позднеценовых-раннепалеоценовых магматических пород северной Камчатки. Величины  $La/Yb$  и  $La$  нормализованы к примитивной мантии. На диаграмме показаны линии batch парциального плавления гранатового лерцолита (оливин = 0.59, ортопироксен = 0.15, клинопироксен = 0.20 и гранат = 0.06) и шпинелевого лерцолита (оливин = 0.6, ортопироксен = 0.2, клинопироксен = 0.145 и шпинель = 0.055). Цифры на линиях плавления – процент парциального плавления ( $F$ ). Фракционная кристаллизация увеличивает величину  $(La)_{MN}$  при слабом изменении значений  $(La/Yb)_{MN}$  [37]. 1–4 – составы магматических пород: 1 – о. Карагинский, 2 – хр. Кумроч, 3 – Паланский район, 4 – бассейн р. Левая Лесная.

Для удобства сравнения характеристик изученных магматических комплексов Камчатки ниже мы проведем отдельный анализ предполагаемых типов мантийных источников пород, флюидного режима формирования расплавов, степени их контаминации коровым веществом.

### Мантийные источники

**О. Карагинский.** Для оценки типов мантийных источников магматических расплавов можно использовать относительно высокомагнезиальные породы кремнисто-вулканогенного комплекса. Наиболее высокомагнезиальный базальт ( $MgO = 9.68$  мас. %) характеризуется величиной  $\epsilon_{Nd}(t) = +15.9$ . Несколько менее магнезиальные базальты ( $MgO = 6$  мас. %) характеризуются более низкими величинами  $\epsilon_{Nd}(t) = +8.4$  и  $+9.5$ . Высокомагнезиальные лавы сильно деплетированы относительно

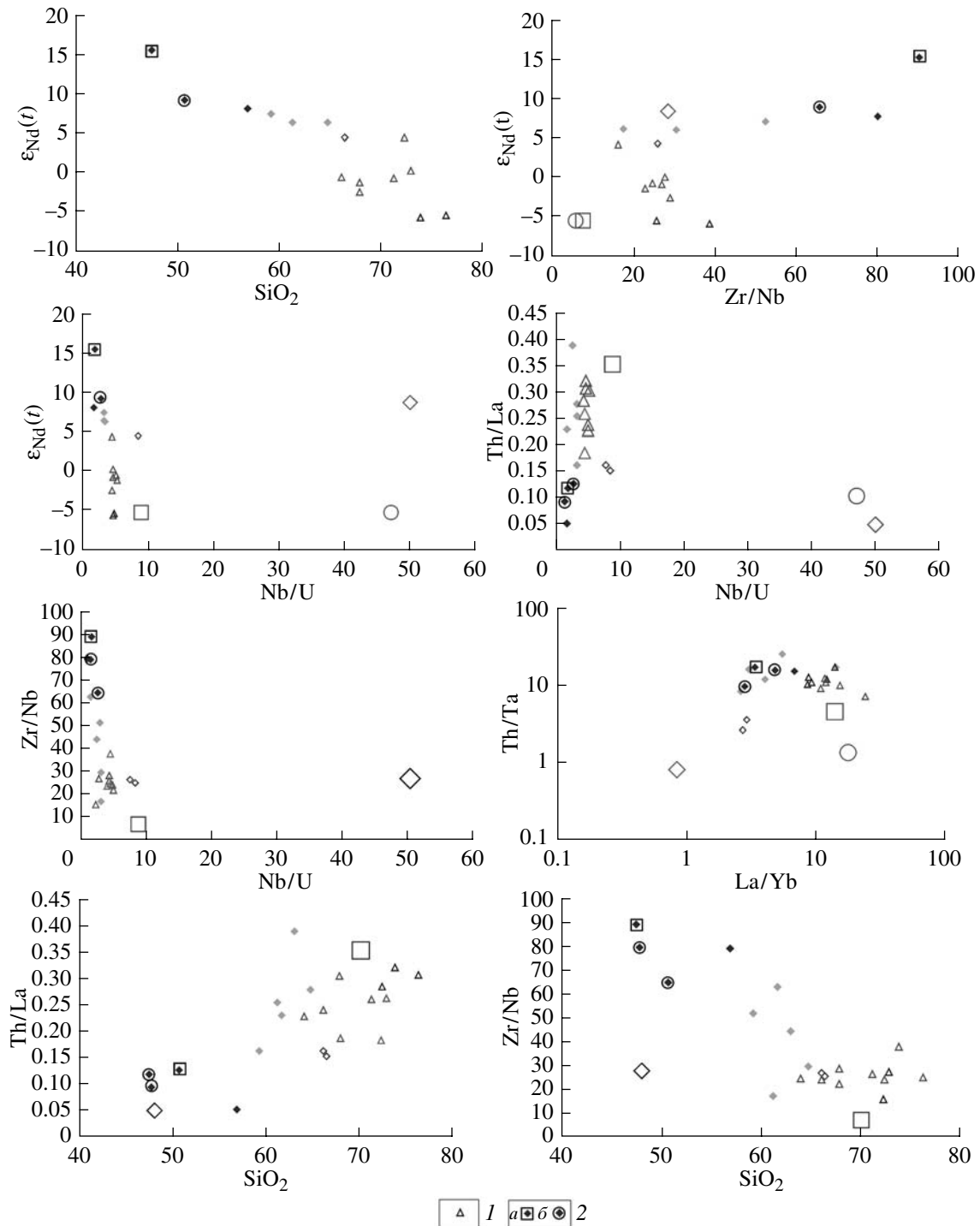


**Рис. 8.** Диаграмма  $Ba/La - Th/La$  [32] для позднеценовых – раннепалеоценовых высокомагнезиальных магматических пород Камчатки. I – поля составов континентальных островных дуг; II – поля составов океанических островных дуг; III – бониниты [32]. Остальные обозначения см. рис. 3, 4 и 6.

MORB высокозарядными элементами (HFSE) и тяжелыми редкими землями (HREE). Самые низкие концентрации этих элементов наблюдаются в наиболее магнезиальном базальте с самыми высокими положительными значениями  $\epsilon_{Nd}(t)$  (рис. 5). Высокомагнезиальные лавы кремнисто-вулканогенного комплекса характеризуются следующими значениями отношений несовместимых элементов:  $Th/La = 0.1-0.13$ ;  $Th/Ta = 10-18$ ;  $Zr/Nb = 66-90$ ;  $Nb/U = 1.3-2.8$ .

**Хр. Кумроч.** Величины  $\epsilon_{Nd}(t)$  близки в магматических породах известково-щелочной и шошонитовой серий. Наиболее высокомагнезиальные ( $MgO > 9\%$ ) базальты характеризуются величинами  $\epsilon_{Nd}(t) = +6.7 - +9.6$ . Для менее магнезиальных лав ( $MgO = 6-9\%$ ) характерны близкие значения  $\epsilon_{Nd}(t) = +7.9 - +8.3$ . Лавы сильно деплетированы относительно MORB HFSE и HREE. Величины отношений несовместимых элементов в них:  $Th/La = 0.7-0.19$  в известково-щелочных лавах и  $0.12-0.17$  в шошонитах;  $Th/Ta = 6.4-23$  в известково-щелочных лавах и  $8.6-19$  в шошонитах;  $Zr/Nb = 27-56$  в известково-щелочных лавах и  $38-51$  в шошонитах;  $Nb/U = 1.1-3$  в известково-щелочных породах и  $0.8-2.3$  в шошонитах.

**Бассейн р. Белой.** Самые магнезиальные образцы магматических пород характеризуются концентрацией  $MgO \approx 6\%$ . Их изотопный состав не исследовался, но величины  $\epsilon_{Nd}(t)$  в более фракционированных породах соответствуют  $+8 - +8.5$ . Концентрации HFSE и HREE в лавах с  $MgO \approx 6\%$  близки к концентрациям этих элементов в MORB или вы-



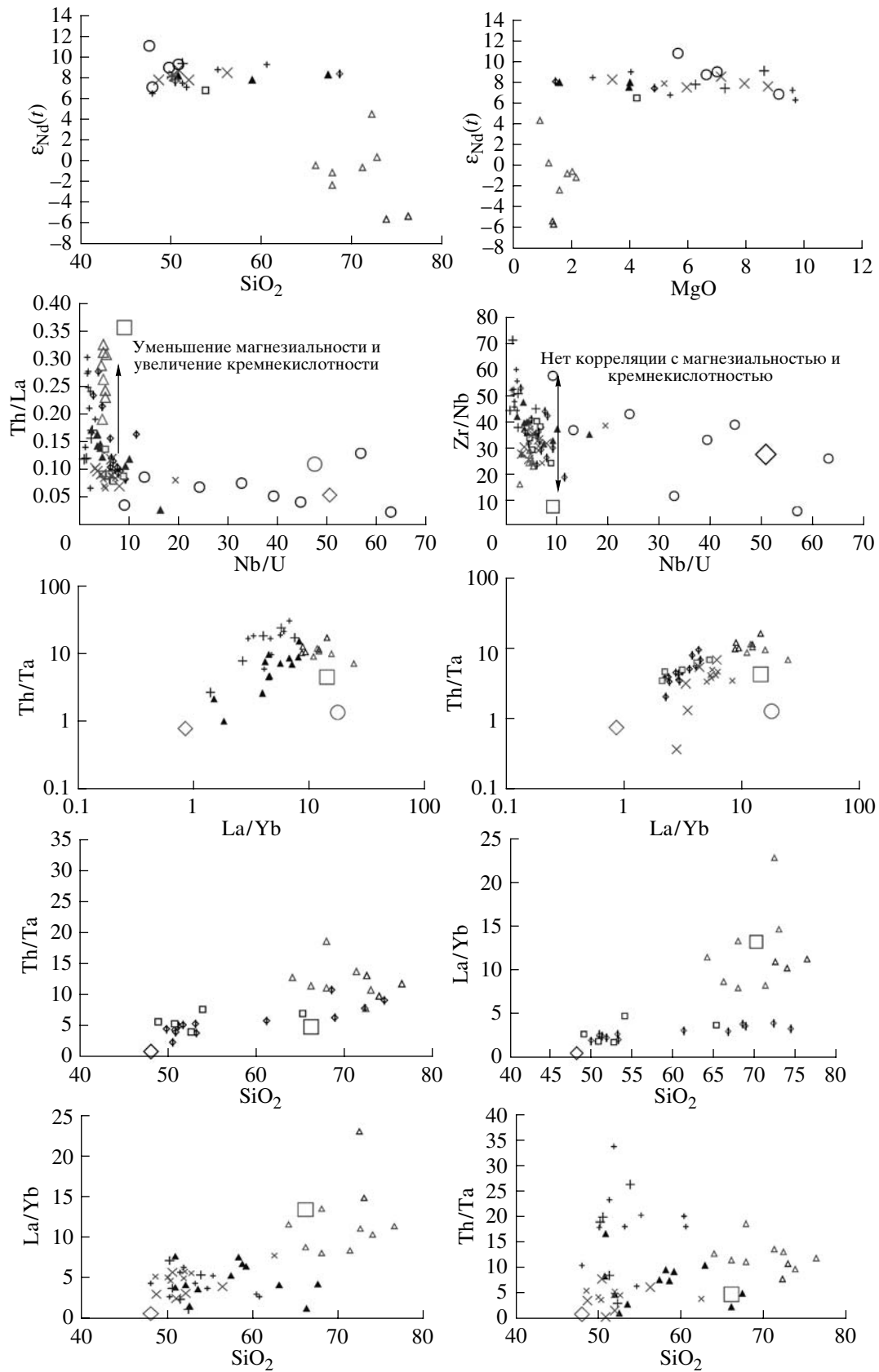
**Рис. 9.** Изотопные и геохимические зависимости составов магматических пород о. Карагинского. 1 – составы кварц-полевошпатовых песчаников, 2 – высокомагнезиальные породы: с концентрацией MgO > 9 мас. % (а) и от 6 до 9 мас. % (б). Остальные обозначения см. рис. 3, 4 и 6.

ше их. Лавы характеризуются значениями отношений Th/La = 0.9–0.16; Th/Ta = 2.9–8.3; Zr/Nb = 36–38; Nb/U = 3.5–9.9.

*Гора Ируней, бассейн р. Тихой.* Наиболее высокие концентрации MgO в магматических породах

районов соответствуют 5.5–7%. Величины  $\epsilon_{Nd}(t)$  не меняются в базальтах и дацитах и соответствуют +7 – +8.6. Концентрации HFSE и HREE в наиболее магнезиальных лавах близки к концентрациям этих элементов в MORB или ниже их. Лавы характери-





**Рис. 10.** Изотопные и геохимические зависимости составов магматических пород хр. Кумроч, бассейнов р. Белой, Левой Лесной, Паланского района, района г. Ируней и бассейна р. Тихой. Обозначения см. рис. 3, 4, 6 и 9.

зуются значениями отношений  $\text{Th/La} = 0.8\text{--}0.09$ ;  $\text{Th/Ta} = 3.9\text{--}5.6$ ;  $\text{Zr/Nb} = 26\text{--}40$ ;  $\text{Nb/U} = 5.9\text{--}7.7$ .

*Паланский район.* Для оценки характеристик мантийных источников взяты лавы с концентрацией  $\text{MgO} = 6\text{--}8.7\%$ . Величины  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  в них колеблются от +8 до +9. Концентрации HFSE и HREE в магнезиальных лавах – ниже уровня концентраций этих элементов в MORB. Лавы с наиболее высокими содержаниями  $\text{MgO}$  характеризуются значениями отношений  $\text{Th/La} = 0.07\text{--}0.1$  в известково-щелочных лавах и шошонитах;  $\text{Th/Ta} = 3.8\text{--}5.6$  в известково-щелочных лавах и шошонитах;  $\text{Zr/Nb} = 24\text{--}32$  в известково-щелочных лавах и шошонитах;  $\text{Nb/U} = 6.2\text{--}7$  в известково-щелочных лавах и шошонитах.

*Бассейн р. Левая Лесная.* Величины  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  лав с концентрацией  $\text{MgO} = 6\text{--}9\%$  колеблются от +7.3 до +11. Лавы в разной степени обогащены HFSE и HREE относительно MORB. Высокомагнезиальные лавы характеризуются значениями отношений  $\text{Th/La} = 0.02\text{--}0.13$ ;  $\text{Th/Ta} = 0.55\text{--}4.7$ ;  $\text{Zr/Nb} = 5.7\text{--}43.3$ ;  $\text{Nb/U} = 13\text{--}62.3$ .

Приведенные выше, величины отношений несовместимых элементов в высокомагнезиальных надсубдукционных породах различных районов северной части Камчатки резко отличаются от аналогичных отношений для MORB, OIB и осредненной верхней континентальной коры (UC) (рис. 6). Для MORB:  $\text{Th/La} = 0.05$ ,  $\text{Th/Ta} = 0.88$ ,  $\text{Zr/Nb} = 28.5$ ,  $\text{Nb/U} = 50$ ; OIB:  $\text{Th/La} = 0.11$ ,  $\text{Th/Ta} = 1.48$ ,  $\text{Zr/Nb} = 5.8$ ,  $\text{Nb/U} = 47$ ; для UC:  $\text{Th/La} = 0.6$ ,  $\text{Th/Ta} = 4.86$ ,  $\text{Zr/Nb} = 7.6$ ,  $\text{Nb/U} = 8.9$  [36, 33]. То есть, мантийные источники надсубдукционных магм Камчатки отличаются от источников MORB и UC. Среди них можно выделить две группы также различающиеся на диаграммах (рис.6): 1. Источники шошонитовых и известково-щелочных магм Паланского района, района горы Ируней и бассейна р. Тихой; 2. Источники магм о. Карагинского и известково-щелочных и шошонитовых магм хр. Кумроч. Источники первой группы характеризуются деплетированным изотопным составом Nd и слабыми вариациями величин соотношений  $\text{Th/La}$ ,  $\text{Th/Ta}$ ,  $\text{Zr/Nb}$ ,  $\text{Nb/U}$ . Источники второй группы также деплетированы (и ультрадеплетированы) по изотопному составу Nd. По сравнению с источниками первой группы они отличаются значительно более деплетированными значениями соотношений  $\text{Nb/U}$  и  $\text{Zr/Nb}$ , а также большими значениями и большими вариациями соотношений  $\text{Th/La}$  и  $\text{Th/Ta}$ . Характеристики источников магм бассейна р. Белой занимают промежуточное положение между упомянутыми выше группами (рис. 6).

Источники N- и E-MORB магм бассейна р. Левая Лесная деплетированы по изотопному составу Nd. На диаграммах, представленных на рис. 6, видно, что составы этих магм образуют непрерывный тренд от N-MORB до составов источников надсуб-

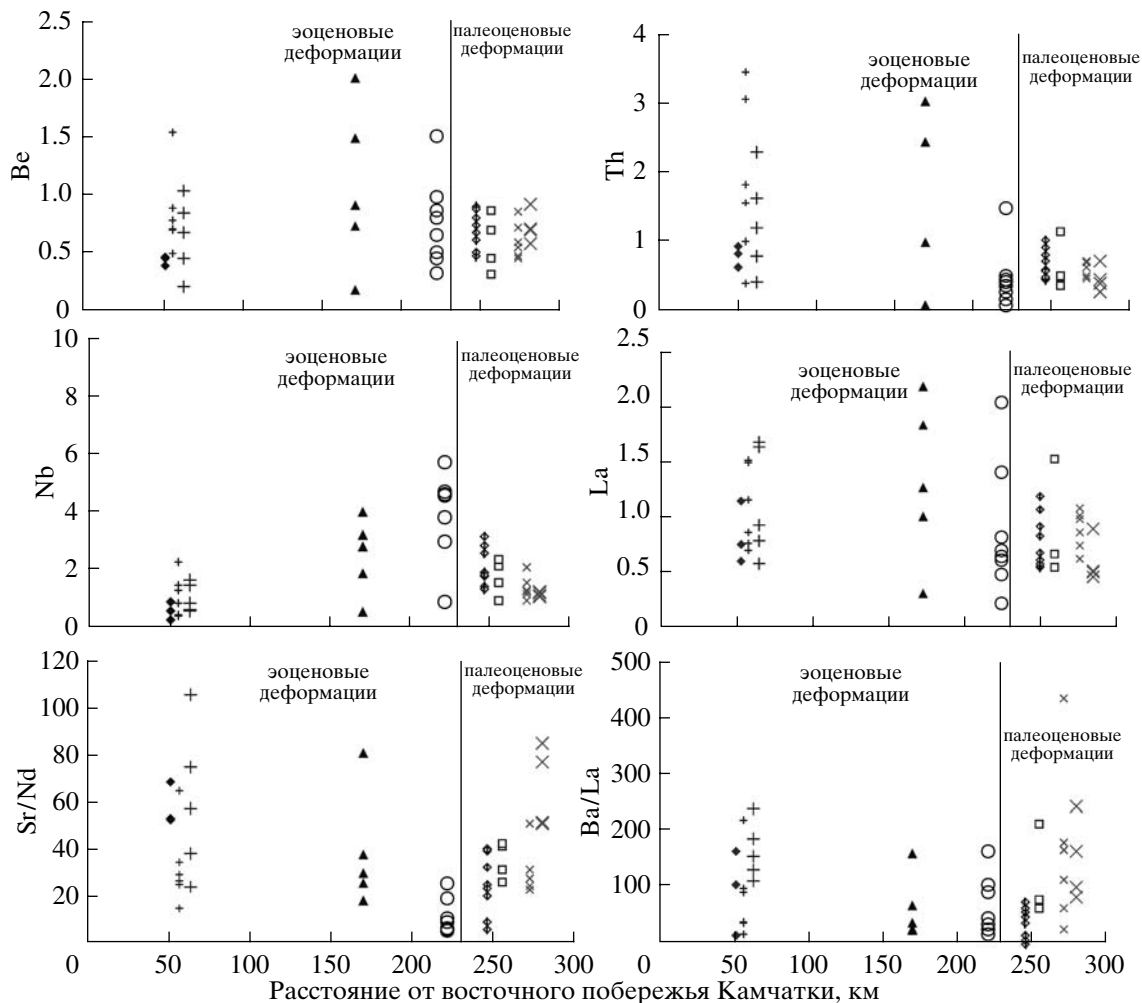
дукционных магм описанных выше районов Камчатки. Наиболее сильные вариации характерны для соотношения  $\text{Nb/U}$ . По-видимому, магмы бассейна р. Левая Лесная выплавлялись из мантийных источников генетически связанных с надсубдукционными процессами, возможно, в задуговом бассейне. Уменьшение  $\text{Nb/U}$  отношения может быть связано с неравномерным обогащением источников задуговых магм U, транспортируемого надсубдукционными флюидами, и деплетированием Nb и другими HFSE, характерным для надсубдукционных обстановок.

На рис. 7 приведены расчетные линии равновесного парциального плавления гранатового лерцолита (состав: оливин = 0.59, ортопироксен = 0.15, клинопироксен = 0.20, гранат = 0.06) и шпинелевого лерцолита (состав: оливин = 0.6, ортопироксен = 0.20, клинопироксен = 0.145, шпинель = 0.055) [37]. Фигуративные точки высокомагнезиальных лав хр. Кумроч и о. Карагинского (первый тип мантийного источника) и Паланского района (второй тип мантийного источника) близки к тренду плавления модельного гранатового лерцолита, а составы пород бассейна р. Левая Лесная – на тренд плавления шпинелевого лерцолита. По-видимому, надсубдукционные лавы хр. Кумроч, о. Карагинского и Паланского района были выплавлены из гранат-содержащей области мантийного клина с глубины более 70 км (область устойчивости граната), а N- и E-MORB бассейна р. Левая Лесная – из шпинель-содержащей мантии с глубины менее 70 км.

На диаграмме  $\text{Ba/La-Th/La}$  (рис. 8) нанесены составы высокомагнезиальных лав всех исследованных районов Камчатки. Величины отношения  $\text{Ba/La}$  зависят от флюидной составляющей магм, а отношение  $\text{Th/La}$  – от объема осадков, поглощенных в зоне субдукции и участвующих в плавлении [32]. Очевидно, что составы надсубдукционных магм хр. Кумроч, о. Карагинского и Паланского района, а также составы MORB бассейна р. Левая Лесная деплетированы по сравнению с примитивными магмами других островных дуг по величинам отношения  $\text{Th/La}$  и резко обогащены по величинам отношения  $\text{Ba/La}$ . Очевидно, что магмы всех районов, включая расплавы MORB бассейна р. Левая Лесная, формировались при большом участии флюидов, характерном для надсубдукционных обстановок. Участие осадков в формировании магм незначительно.

### Контаминация магм коровым веществом

Как было показано выше, исследованные породы разбиваются по изотопному составу Nd на две группы: первая – магматические породы о. Карагинского, изотопный состав которых зависит от концентрации  $\text{SiO}_2$  и  $\text{MgO}$  и вторая – породы всех остальных районов, изотопные составы которых не зависят от концентраций  $\text{SiO}_2$  и  $\text{MgO}$ .



**Рис. 11.** Зависимости концентраций элементов и их соотношений позднемиоценовых-раннепалеоценовых магматических пород северной Камчатки от расстояния до восточного побережья Камчатки. Обозначения см. на рис. 3, 4 и 6.

Величины  $\epsilon_{Nd}(t)$  в породах о. Карагинского изменяются от ультрадеплементированных значений (+15) при концентрациях  $SiO_2 = 47$  мас. % и  $MgO = 10$  мас. % до +5 при  $SiO_2 = 66$  мас. % и  $MgO = 1.1$  мас. %. В породах кремнисто-вулканогенного и вулканогенно-осадочного комплексов наблюдаются отчетливые корреляции  $\epsilon_{Nd}(t)$ -Nb/U,  $\epsilon_{Nd}(t)$ -Zr/Nb, Zr/Nb-Nb/U, Th/La-Nb/U (рис. 9) и другие – более расплывчатые. Величины отношений Zr/Nb, Nb/U, Th/La, Zr/Hf меняются в зависимости от магнезиальности и кремнекислотности пород (рис. 9) по корреляционным формулам:  $Zr/Nb = -2.8 SiO_2 + 220$ ,  $R^2$  (коэффициент корреляции) = 0.6;  $Nb/U = 0.07 SiO_2 - 1.3$ ,  $R^2 = 0.32$ ;  $Th/La = 0.012 SiO_2 - 0.49$ ,  $R^2 = 0.6$ ;  $Zr/Hf = 0.23 SiO_2 + 23$ ,  $R^2 = 0.6$ . На графиках, приведенных на рис. 9, видно, что зависимости вытягиваются в область пород верхней континентальной коры и позднемиоценовых сиалических субаркозовых осадков, которые присутствуют в структуре Камчатки (кварц-полевошпатовые флишевые толщи, распространенные на Камчатском перешейке, За-

падной Камчатке и юге Корякии). То есть, скорее всего, магматические мантийные расплавы, сформировавшие породы о. Карагинского, были контаминированы сиалическим материалом. Возможно, контаминированы коровым веществом и обогащенные радиогенным Nd магмы силлов о. Карагинского.

Составы контаминированных магматических пород о. Карагинского не лежат на линиях смешения  $\epsilon_{Nd}(t)$ -Nb/U,  $\epsilon_{Nd}(t)$ -Zr/Nb, рассчитанных для высокомагнезиальных пород кремнисто-вулканогенного комплекса и позднемиоценовых кварц-полевошпатовых осадков Камчатки. По-видимому, мантийные расплавы были контаминированы не этими осадками, а другим сиалическим материалом, пока не выявленным в структуре Камчатки.

Изотопные составы Nd пород остальных районов не зависят от концентраций  $SiO_2$  и  $MgO$ , значения  $\epsilon_{Nd}(t)$  в них варьируют от +6.6 до +9.6 в интервале концентраций  $SiO_2$  от 48 до 67 мас. % и  $MgO$  от 9.8 до 2 мас. % в надсубдукционных породах и от

+7.3 до +11.3 в N- и E-MORB бассейна р. Левая Лесная при вариациях  $\text{SiO}_2$  от 48 до 51 мас. % и MgO от 9 до 5 мас. % (рис. 10). Тем не менее, многие соотношения, например, Th/La, Th/Ta, La/Yb для пород района г. Ируней и бассейна р. Тихой образуют четкие корреляции с концентрациями  $\text{SiO}_2$  и MgO. Некоторые тренды этих зависимостей вытягиваются в область составов верхней континентальной коры и кварц-полевошпатовых осадков Камчатки, другие – проходят мимо этих областей. Более расплывчатые зависимости этих соотношений от магнезиальности и кремнекислотности выявлены для пород хр. Кумроч. Составы пород бассейна р. Белой и Паланского района занимают на диаграммах Th/Ta-SiO<sub>2</sub>, Th/La-SiO<sub>2</sub>, La/Yb-SiO<sub>2</sub> и других промежуточное положение между деплетированными областями (MORB) и областями составов кварц-полевошпатовых осадков Камчатки и верхней континентальной коры (рис. 10). На диаграмме Th/La-Nb/U составы пород хр. Кумроч, района г. Ируней и бассейна р. Тихой образуют последовательность, в которой наименее магнезиальные породы попадают в область составов верхней континентальной коры и сиалических осадков Камчатки. На диаграмме Th/Ta-La/Yb составы пород всех районов, кроме хр. Кумроч, также образуют тренды от деплетированных областей (MORB) до областей кварц-полевошпатовых осадков Камчатки и верхней континентальной коры. Но в последовательностях составов пород бассейна р. Белой наиболее магнезиальные породы находятся не в деплетированной области, а в центре последовательности.

Возможны два предположения, в некоторой степени объясняющие приведенные выше геохимические и изотопные данные для районов хр. Кумроч, бассейна р. Белой, районов г. Ируней и бассейна р. Тихой и Паланского района. Первое – мантийные расплавы, сформировавшие породы этих районов, не были контаминированы коровым веществом, а соотношения Th/Ta, Th/La, La/Yb, для которых выявлены зависимости от кремнекислотности и магнезиальности пород, меняются при фракционировании расплавов. Второе – соотношения не меняются с фракционированием расплава, тогда мантийные магматические расплавы были контаминированы сиалическим материалом с деплетированным изотопным составом Nd, то есть молодым ювенильным коровым веществом.

#### **Геодинамические условия формирования позднемеловых-раннепалеоценовых магматических комплексов Камчатки**

Как было показано выше, в структуре Камчатки участвуют позднемеловые-раннепалеоценовые магматические комплексы пород, сформированные в надсубдукционных и, вероятно, задуговых условиях. В современных островных дугах прослеживается четкая зональность в распределении гео-

химических элементов и их соотношений вкрест простирания островных дуг от вулканического фронта до задугового бассейна, например [38]. С удалением от желоба в надсубдукционных магмах увеличиваются концентрации Be, Th, Ta, Nb, REE и уменьшаются величины отношений Sr/Nd, Ba/La и другие [38]. На рис. 11 приведены содержания разных элементов и их соотношений в породах с концентрацией  $\text{SiO}_2 < 55$  мас. % (такой же уровень кремнекислотности использован для изучения зональности в Ново-Британской дуге [38] и других) в зависимости от удаления от восточного побережья Камчатки. Предлагаются две версии интерпретации рассмотренных материалов. 1) По аналогии с надсубдукционной зональностью исследованные магматические комплексы о. Карагинского и хр. Кумроч гипотетически могут рассматриваться как фронт дуги, щелочные породы бассейна р. Белой – тыловые части дуги, N- и E-MORB бассейна района р. Левая Лесная – задуговой бассейн, магматические комплексы западной Камчатки – Паланского района, района г. Ируней и бассейна р. Тихой – по-видимому, представляют собой фронтальные части другой дуги (Коваленко Д.В.). 2) Все исследованные магматические комплексы могут представлять части активной континентальной окраины (Колосков А.В.).

Согласно первой версии, в структуре Камчатки присутствуют магматические комплексы пород, вероятно, сформированные в различных геодинамических зонах позднемеловой-раннепалеоценовой надсубдукционной системы. Надсубдукционные магматические породы о. Карагинского и хр. Кумроч, по-видимому, формировались во фронте островной дуги и выплавлялись из наиболее деплетированных по изотопному составу и HFSE гранат-содержащих источников мантийного клина при активном участии флюидов. Щелочные породы бассейна р. Белой также выплавлялись из деплетированных источников мантии, но более обогащены HFSE по сравнению с расплавами фронтальной части системы. Вулканаты кремнисто-яшмово-базальтовые толщи бассейна р. Левая Лесная выплавлялись из шпинель-содержащей мантии, деплетированной по изотопному составу и в разной степени обогащенной HFSE, также при участии надсубдукционных флюидов. Надсубдукционные позднемеловые-раннепалеоценовые магматические комплексы Западной Камчатки (Паланский район, район г. Ируней и бассейна р. Тихой) выплавлялись из деплетированных по изотопному составу и HFSE источников гранат-содержащей мантии, которые отличаются по величинам соотношений Th/La, Th/Ta, Zr/Nb, Nb/U от источников других исследованных районов северной Камчатки. Надсубдукционные мантийные расплавы не были контаминированы древним коровым материалом деплетированным радиогенным Nd (с низкими величинами  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ ). Признаки незначительной контаминации выявле-

ны только в лавах о. Карагинского. Возможно, их контаминация связана с локальной субдукцией сиалических осадков.

Вторая версия выдвинута в связи с тем, что в “островодужной” концепции не находит объяснения широкое развитие шошонитов и высоко калиевых субщелочных вулканитов, даже во фронтальной части рассматриваемой вулканической дуги. Подобного типа распределения магматических комплексов известны в Тибете, западном Йемене, северо-западном Вьетнаме, на севере Тайваня, в Сихоте-Алине и Японии [39]. И связываются они с периодом перехода активной континентальной окраины от синсубдукционного сжатия к этапу обширного раздвигания окраин континента. По мнению А.В. Колоскова в маастрихте-палеоцене геодинамическая обстановка на Камчатке, в которой сочеталось формирование толеитовых базальтов и базальтоидов шошонитовой и К-щелочной серий [10] более совместима с версией палео окраины для рассматриваемого региона.

## ВЫВОДЫ

1. В структуре Камчатки присутствуют магматические комплексы пород, сформированные в различных геодинамических зонах позднемеловой-раннепалеоценовой надсубдукционной системы – от вулканического фронта до задугового рифтогенного бассейна.

2. Надсубдукционные мантийные магмы выплавились из деплетированных по изотопному составу Nd и в разной степени деплетированных или обогащенных HFSE гранатовых или шпинелевых лерцолитов верхней мантии, характеризующимися разными величинами соотношений Th/La, Th/Ta, Zr/Nb, Nb/U, при активном участии надсубдукционных флюидов.

3. Надсубдукционные мантийные расплавы не были контаминированы коровым материалом, обогащенным радиогенным Nd. Признаки незначительной контаминации выявлены только в лавах о. Карагинского.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект N06-05-64195, грантов ДВО РАН 06-III-A-08-328 и 06-I-П17-074, программы ОНЗ №6 и фонда содействия отечественной науке.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коваленко Д.В., Баянова Т.Б., Чернов Е.Е. Источники и эволюция кайнозойского магматизма Олюторской зоны. *Петрология*, в печати.
2. Федоров П.И., Коваленко Д.В., Баянова Т.Б., Серов П.А. Раннекайнозойский магматизм континентальной окраины Камчатки. *Петрология*, в печати
3. Вольнец А.О. Плейстоцен-голоценовый вулканизм Срединного хребта Камчатки: вещественный состав и геодинамическая модель. Автореф. на соискание уч. степ. канд. г.-м. наук, Москва. 2006. 23 с.
4. Колосков А.В. Изотопно-геохимическая неоднородность плиоцен-четвертичных вулканитов Камчатки, геометрия субдукционной зоны, модель флюидно-магматической системы // *Вулканология и сейсмология*. 2001. № 6. С. 16–42.
5. Перепелов А.Б. Неоген-четвертичный шошонит-латитовый магматизм Срединного хребта Камчатки: вулкан Теклетунуп (геохимия, петрология, геодинамическая позиция) // *Вулканология и сейсмология*. 2005. № 1. С. 22–36.
6. Федоров П.И., Шапиро М.Н. Неогеновые вулканиды перешейка Камчатки и геодинамика Алеутско-Камчатского сочленения // *Геотектоника*. 1998. № 2. С. 60–70.
7. Флеров Г.Б., Федоров П.И., Чурикова Т.Г. Геохимия позднемеловых – палеогеновых калиевых пород ранней стадии развития Камчатской островной дуги // *Петрология*. 2001. Т. 9. № 2. С. 189–208.
8. Kamenetsky V.S., Sobolev A.V., Joron J.L., Semet M.P. Petrology and geochemistry of cretaceous ultramafic volcanics from eastern Kamchatka // *J. Petrology*. 1995. V. 36. № 3. С. 637–662.
9. Федоров П.И. Геохимия и петрология позднемеловых вулканитов Камчатского перешейка // *Геохимия*. 1983. № 11. С. 1627–1637.
10. Федоров П.И. Кайнозойский вулканизм в зонах растяжения на восточной окраине Азии. Москва. ГЕОС. 2006.
11. Геология западной части Берингоморья. М.: Наука, 1990. 157 с.
12. Федорчук А.В., Извеков И.Н. Новые данные о строении северной части Срединного хребта Камчатки // *Изв. РАН. Сер. геол.* 1992. № 12. С. 147–151.
13. Аккреционная тектоника восточной Камчатки. М.: Наука, 1993. 272 с.
14. Богданов Н.А., Хаин В.Е. Объяснительная записка к тектонической карте Охотоморского региона. М.: Ин-т литосферы окраинных и внутренних морей РАН, 2000.
15. Коваленко Д.В. Палеомагнетизм геологических комплексов Камчатки и юга Корьякии. М.: Научный мир, 2003. 255 с.
16. Сухов А.К., Кузьмичев А.Б. Верхнемеловые отложения Западной Камчатки. В кн. *Западная Камчатка: геологическое развитие в мезозое*. Отв. ред. Ю.Б. Гладенков, С.А. Паладжан. М.: Научный мир, 2005. С. 121–163.
17. Цуканов Н.В. Новые данные по тектонике хребта Кумроч (Восточная Камчатка) // *ДАН СССР*. 1985. Т. 284. № 5. С. 1205–1208.
18. Шанцер А.Е., Шапиро М.Н., Колосков А.В. и др. Эволюция структуры Лесновского поднятия и его обрамления в кайнозое (Сев. Камчатка) // *Тихоокеан. геология*. 1985. № 4. С. 66–74.
19. Коваленко Д.В., Леднева Г.В., Вишневецкая В.С. и др. Структурно-формационные комплексы и тектоническое развитие Паланской островной дуги (Западная Камчатка) // *Геотектоника*. 2005. № 6. С. 480–499.

20. Палечек Т.Н., Соловьев А.В., Шапиро М.Н. Возраст докайнозойских комплексов района поселка Палана (Западная Камчатка) // Исследования литосферы, Москва: ИЛРАН, 2000. С. 42–45.
21. Гладенков Ю.Б., Шанцер А.Е., Челебаева А.И. и др. Нижний палеоген западной Камчатки (стратиграфия, палеогеография, геологические события). М.: ГЕОС, 1997. 366 с. (Тр. ГИН РАН; Вып. 488).
22. Колосков А.В., Флеров Г.Б., Селиверстов В.А. и др. Калиевые вулканиты центральной Камчатки в составе верхнемеловой-палеогеновой Курило-Камчатской щелочной провинции // Петрология, 1999. Т. 7. № 5. С. 559–576.
23. Флеров Г.Б., Селиверстов В.А. Минералогия и петрология позднемеловых-палеогеновых калиевых вулканитов центральной Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1999. № 6. С. 3–21.
24. Баянова Т.Б. Возраст реперных геологических комплексов Кольского региона и длительность процессов магматизма. Санкт-Петербург “Наука”, 2004. 174 с.
25. Ludwig K.R. ISOPLOT – A plotting and regression program for radiogenic – isotope data, version 2.56 // Openfile report 91-445. US Geol. Surv. 1991. 40 p.
26. Ludwig K.R. ISOPLOT/Ex – A geochronological toolkit for Microsoft Excel, Version 2.05 // Berkeley Geochronology Center Special Publication. No. 1a. 1999.
27. Steiger R.H., Jäger E. Subcommittee on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology // Earth Planet. Sci. Lett. 1977. V. 36. № 3. P. 359–362.
28. Kuno H. Lateral variation of basalt magma types across continental margins and island arcs // Bull. Volcanon. 1966. V. 29. P. 195–222.
29. Miyashiro A. Volcanic rock series in island arc and active continental margin // Amer. J. Sci. 1974. V. 274. № 3. P. 321–355.
30. Pecerrillo A., Taylor S.R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamuou area, northern Turkey // Contrib. Mineral. Petrol. 1976. V. 58. P. 63–81.
31. Gill J.B. Orogenic andesites and plate tectonics. N.-Y.: Springer, 1981. 390 p.
32. Kelemen P.B. Genesis of high Mg# andesites and the continental crust // Contrib. Mineral. Petrol. 1995. V. 120. P. 1–19.
33. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts. In: Magmatism in ocean basin. Eds. A.D. Saunders, M.J. Norry. Geol. Soc. Spec. Publ. London. 1989. V. 42. P. 313–345.
34. De Paolo D.J., Wasserburg G.J. Inferences about magma sources and mantle structure from variations of  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  // Geophys. Res. Lett. 1976. V. 3. 743–746.
35. Wood D.A. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonovagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province // Earth Planet. Sci. Lett. 1980. V. 50. 11–30.
36. Тейлор С.Р., Мак-Леннан СМ. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
37. Sajona F.G., Maury R.C., Pubellier M. et al. Magmatic source enrichment by slab-derived melts in a young post-collision setting, central Mindanao (Philippines) // Lithos. 2000. V. 54. P. 173–206.
38. Woodhead J.D., Eggins S.M., Johnson R.W. Magma genesis in the New Britain Island arc: further insights into melting and mass transfer processes. Journal of Petrology 1988, 39, N9, 1641–1668.
39. Flower M., Tamaki K., Hoang N. Mantle Extrusion: A Model for Dispersed Volcanism and DUPAL-like Asthenosphere in East Asia and the Western Pacific. In: Mantle dynamics and plate interactions in East Asia. Eds. M.F.J. Flower, S.-L. Chung, C.-H. Lo, T.-Y. Lee. Washington D.C. AGU, 1998. P. 67–88
40. Соловьев А.В., Шапиро М.Н., Гарвер Дж.И. Лесновский тектонический покров, Северная Камчатка // Геотектоника. 2002. № 6. С. 45–59.