



УДК 551.21+552.3

А. О. Волынец<sup>1</sup>, М. М. Певзнер<sup>2</sup>, А. Д. Бабанский<sup>3</sup>, В. С. Родин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,  
г. Петропавловск-Камчатский  
e-mail: a.volynets@gmail.com*

<sup>2</sup> *Геологический институт РАН, Москва*

<sup>3</sup> *Институт геологии, геохимии и минералогии рудных месторождений РАН,  
Москва*

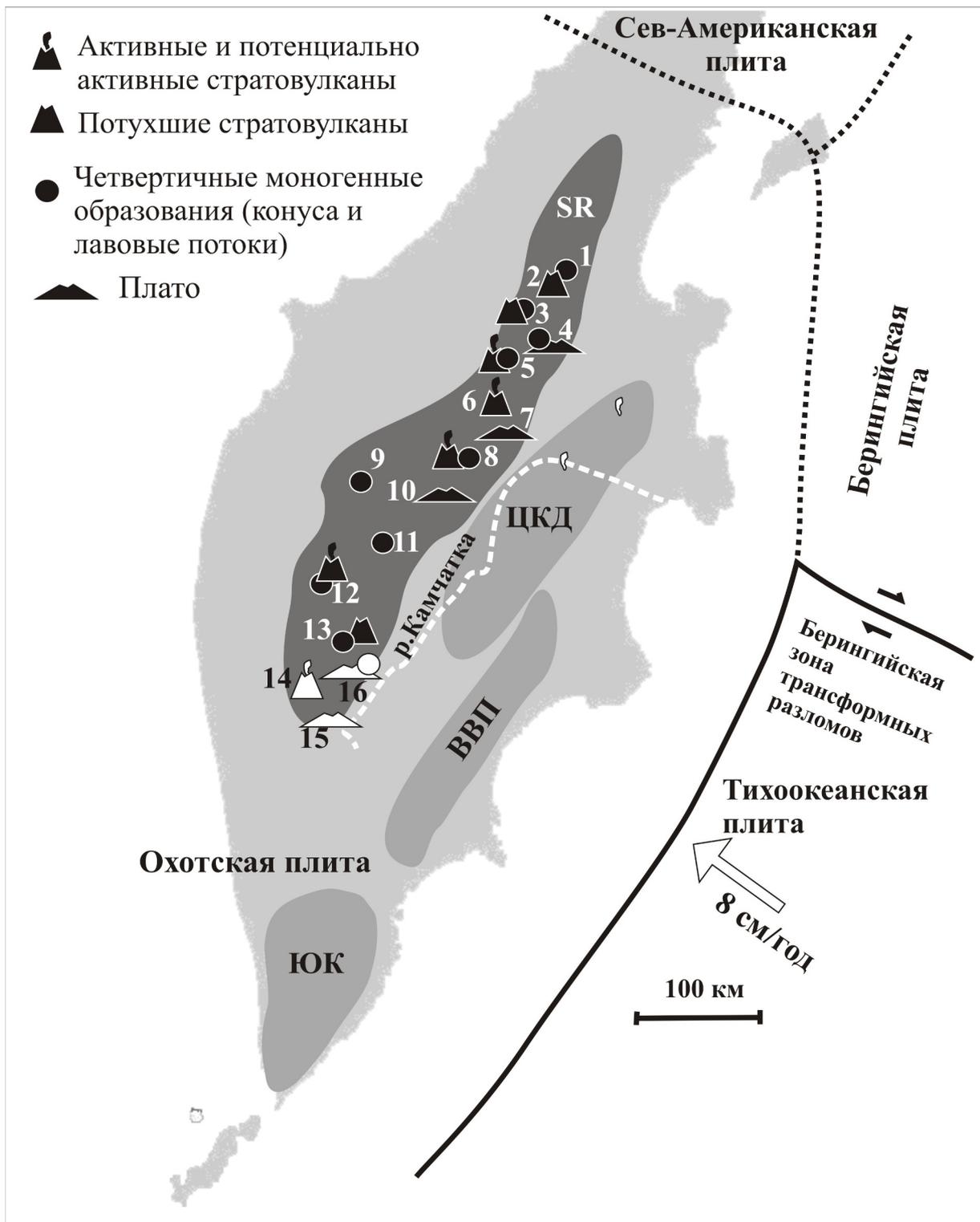
## Геохимические характеристики неоген-четвертичных пород южной части Срединного хребта Камчатки

Изучены концентрации главных петрогенных и микроэлементов в породах южной части Срединного Хребта Камчатки: вулкана Хангар, плато и четвертичных образованиях г. Костиной (Козыревский хребет) и платообразных эффузивах г. Юртиная (верховья р. Озёрная Камчатка). Показано, что по характеру распределения микроэлементов большинство изученных пород (платоэффузивы г. Юртиная, четвертичные образования района г. Костина, андезибазальты ранних этапов вулканической деятельности в Хангар) схожи с ранее изученными породами Срединного хребта гибридного типа с небольшой степенью обогащения источника магм высокозарядными элементами (до 10% мантии ОИВ-типа в источнике); позднеплейстоценовые лавы конуса Голодьяк (р-н Хангара) характеризуются более высокими степенями обогащения HFSE. Плато, развитые в районе г. Костина, имеют низкие концентрации HFSE и по геохимическим особенностям схожи с миоцен-плиоценовыми плато северной части Срединного хребта. В районе вулкана Хангар обнаружены высоко-Mg породы с повышенным Sr/Y отношением, относящиеся к наиболее ранним проявлениям вулканической активности в этом массиве.

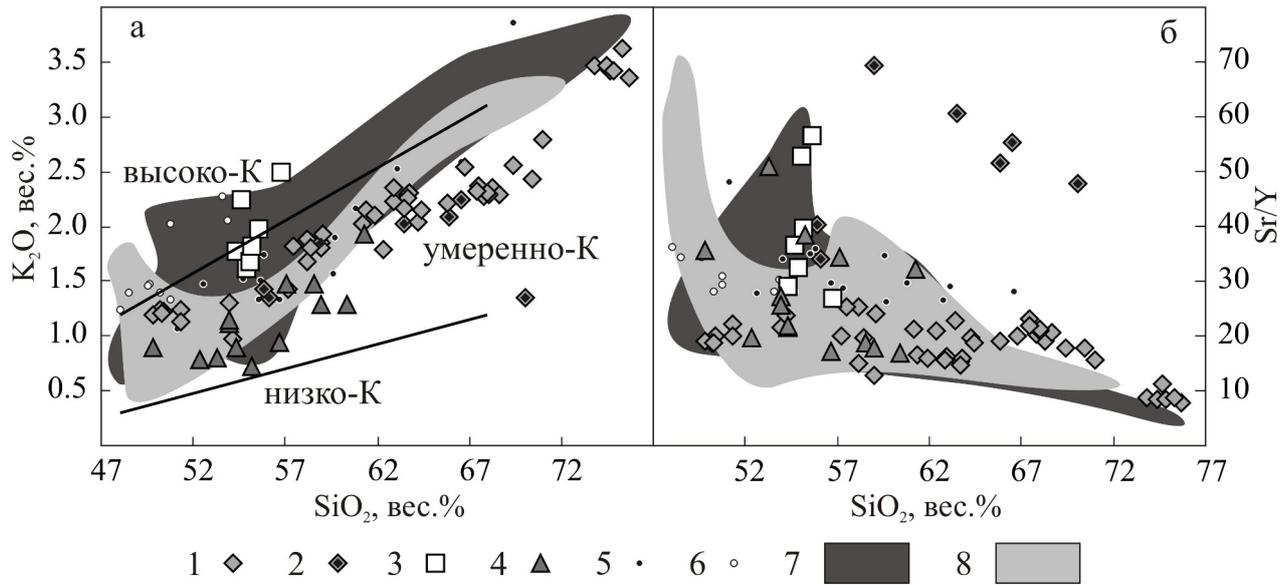
Срединный хребет (СХ) Камчатки — крупнейшая вулcano-тектоническая структура полуострова. Входящая в его состав зона миоцен-четвертичных вулкаников начинается на Срединно-метаморфическом массиве и протягивается далее в северо-восточном направлении более чем на 800 км. В процессе проводимых нами региональных работ по изучению истории вулканизма в Срединном хребте [4] был опробован участок от вулкана Ичинского на юге до конуса Тобельцен на севере (около 500 км). Было установлено, что миоцен-плиоценовые платобазальты Срединного хребта, характеризующиеся типично островодужным распределением микроэлементов, были образованы в процессе субдукции Тихоокеанской плиты (когда СХ представлял собой фронтальную часть зоны субдукции [1]) в результате высоких степеней флюид-индуцированного плавления сильно деплетированной мантии NMORB типа (степень плавления более 20%, количество флюида — 1,5–4% [7]). Четвертичные породы стратовулканов, моногенных конусов и лавовых потоков с гибридным типом распределения микроэлементов (сочетающим в себе обогащение всеми HFSE и повышенные значения отношений флюид-мобильных элементов к непереносимым во флюиде элементам) образовались в результате более низких степеней преимущественно декомпрессионного плавления (8–10%) с меньшим участием флюидного компонента (<2%) в условиях тыловой части зоны субдукции [7]. Для образования пород с гибридным типов распре-

деления микроэлементов авторы работы [7] считают необходимым присутствие в источнике обогащённой мантии ОИВ-типа, в количестве от 14 до 55%. Ранее в работе [5] было показано, что в районе вулкана Ичинский развиты проявления четвертичного вулканизма двух геохимических типов, названных авторами островодужным (IAB) и внутриплитным (WPT); породы обоих типов несут явные признаки участия островодужного флюида и по аналогии с работой [7] могут быть отнесены к породам с гибридным типом распределения микроэлементов, образованных при участии различного количества обогащённой мантии (от 5% в породах IAB-типа до 35% в породах WPT-типа). Также было показано, что зональность в распределении каких-либо элементов и их отношений с юга на север по изученному профилю СХ отсутствует [7].

Самый южный участок вулканической зоны СХ до недавнего времени оставался не изученным. В последние годы нам удалось собрать представительную коллекцию разновозрастных вулкаников как во фронтальной (район г. Костиной, Козыревский хребет), так и в тыловой (вулкан Хангар) частях южной оконечности СХ. Кроме того, собрана и проанализирована коллекция миоценовых вулкаников из верховьев р. Озёрной Камчатка, г. Юртиная (рис. 1). Цель настоящей публикации заключается в сравнении геохимических характеристик пород южного участка зоны с таковыми, изученными ранее, в более северных участках СХ.



**Рис. 1.** Карта опробования. Цифрами обозначены: 1 – конус Тобельцен, 2 – в. Спокойный, 3 – в. Теклетунуп, 4 – Озерновский лавовый поток, плато р. Левая и Правая Озерная, 5 – Седанкинское поле моногенного вулканизма, в. Титила, 6 – в. Горного института, 7 – Двухъярточное плато, 8 – массив Алней-Чашаконджа, 9 – Кекукнайское поле моногенного вулканизма, 10 – хребет Крюки, 11 – конуса в районе пос. Эссо, 12 – в. Ичинский, 13 – в. Ахтанг, 14 – в. Хангар, 15 – г. Юртиная, 16 – г. Костина. Белыми символами обозначены объекты, описанные в настоящей работе, черными – опубликованные в [2, 7].



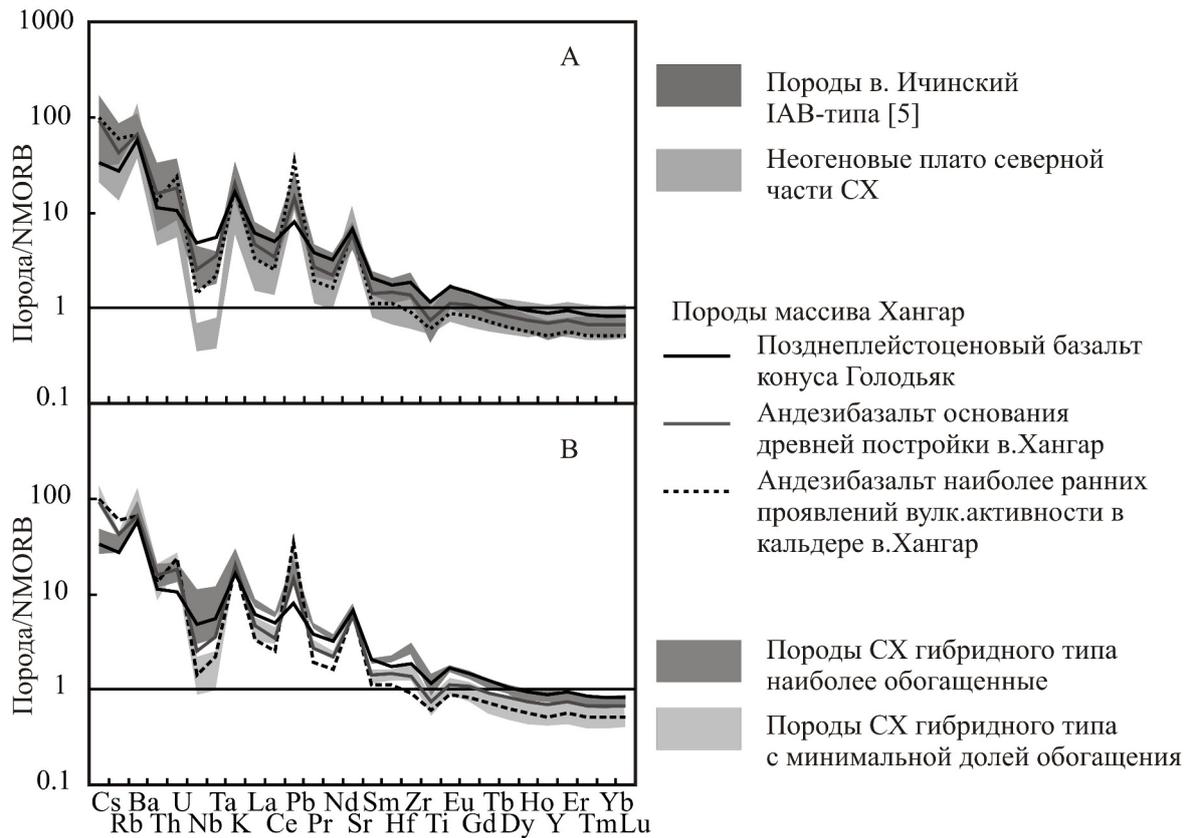
**Рис. 2.** Зависимость содержания  $K_2O$  и отношения  $Sr/Y$  от  $SiO_2$  в породах в. Хангар, плато г. Юртиной и в породах района г. Костиной, в сравнении с ранее изученными породами СХ. Условные обозначения: 1–2 — породы в. Хангар: 1 — умеренно-магнезиальные, 2 — высоко-магнезиальные; 3 — г. Юртиная; 4 — г. Костина; 5–6 — породы в. Ичинский (по [5]): 5 — IAB-типа, 6 — WPT-типа; 7–8 — СХ (по [7]): 7 — четвертичные породы гибридного типа, 8 — миоцен-плиоценовые плато островодужного типа.

### Вулкан Хангар.

Наиболее ранним проявлением вулканической активности в пределах кальдеры Хангар соответствуют сильно разрушенные лавовые потоки, прорывающие и/или перекрывающие миоценовые интрузии, расположенные в южных частях кальдеры. В основании древней постройки стратовулкана Хангар, в русле ручья Водопадный, обнажаются P1 андезибазальты, выше дациты. В позднем плейстоцене-голоцене на вулкане Хангар преобладают вулканы кислого состава. Юго-восточную часть кальдеры пересекает цепочка наложенных шлаковых конусов и связанных с ними лавовых потоков. Все они — по тефрохронологическим данным — образовались в доголоценовое время. Их лавовые потоки перекрыты полным голоценовым почвенно-пирокластическим чехлом и заметно обработаны ледниками. Наиболее основные породы (O1 базальт) слагают позднеплейстоценовый конус Голодьяк и связанный с ним обширный лавовый поток, вложенный в долину р. Левый Хейван.

Содержания главных петрогенных элементов и ряда микроэлементов были измерены в 52 образцах пород вулкана Хангар, моногенных конусов и интрузивных образований этого района. На вариационных диаграммах (рис. 2) фигуративные точки образуют протяжённые эволюционные тренды от базальтов до риолитов, с преобладанием кислых пород ( $SiO_2$  49,82–75,72 вес.%). По классификации  $K_2O$ - $SiO_2$  все изученные породы попадают в поле умеренно-калиевых пород (рис. 2a). По классификации TAS большинство пород относится к нормальной

серии, часть пород попадает в поле щелочных пород и относится к трахиандезитам. Породы характеризуются умеренным содержанием титана, за исключением базальтов позднеплейстоценового конуса Голодьяк, в которых содержание  $TiO_2$  достигает 1,53 вес.%. Интересно наличие двух выраженных трендов по магнезиальности пород. Магнезиальный номер большинства изученных пород изменяется в пределах 60–24 (при росте содержания кремнезёма от 49,6 до 75,5 вес.%, соответственно), что в целом соответствует магнезиальности изученных ранее пород СХ, как миоценовых, так и четвертичных. Наряду с этим, выделяется группа пород с повышенным магнезиальным номером (от 44,3 до 72,5 при содержании кремнезёма от 70 до 56 вес.%, соответственно). Эти породы относятся к наиболее ранним проявлениям вулканической активности в пределах кальдеры в. Хангар и представляют собой дацитовые интрузии, а также перекрывающие их сильно разрушенные лавовые потоки андезибазальтового и андезитового состава. Для этой группы пород также характерны минимальные концентрации титана, глинозёма, фосфора и относительно пониженная щелочность по сравнению с остальным массивом. Отношение  $Sr/Y$  почти во всех упомянутых образцах (кроме двух наиболее основных по составу) меняется от 70 до 47,8 в зависимости от увеличения концентрации  $SiO_2$  и, таким образом, заметно превышает значения, характерные как для остальных пород вулкана Хангар, так и для всех ранее изученных пород СХ с аналогичным содержанием кремнезёма (рис. 2б).



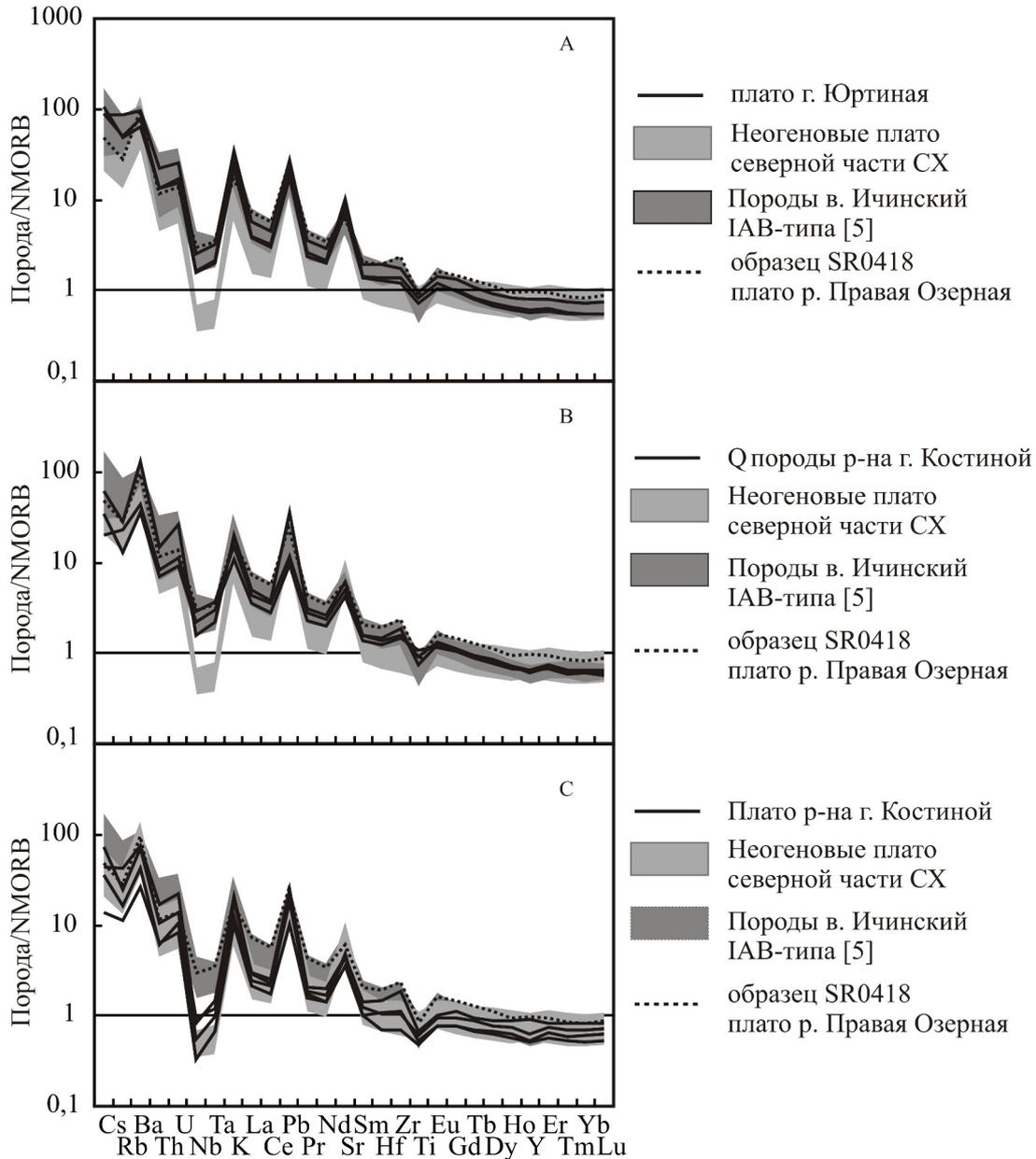
**Рис. 3.** Распределение микроэлементов в породах вулкана Хангар в сравнении с ранее изученными породами СХ. Концентрации микроэлементов в породах нормированы на NMORB по [6].

Распределение несовместимых микроэлементов в изученных породах имеет отчётливо выраженный островодужный характер с повышенными отношениями флюид-мобильных элементов к неподвижным во флюиде ( $Ba/Nb$ ,  $U/Nb$ ,  $Th/Ta$  и т. д.). Поскольку процессы кристаллизационной дифференциации и фракционирования могут влиять на концентрации микроэлементов, а процессы ассимиляции изменяют также и отношения микроэлементов, для сравнения пород массива Хангар с породами других зон СХ, в дальнейшем обсуждении мы приняли решение ограничиться только породами с концентрациями кремнезёма менее 57,5 вес.%, для которых не обнаружено существенных зависимостей между концентрациями  $SiO_2$  и отношениями несовместимых микроэлементов. К таким породам на Хангаре относятся только три изученных нами образца: андезибазальт наиболее ранних проявлений магматической активности в районе кальдеры с повышенной магнезиальностью ( $Mg\#$  72,5); андезибазальт основания древней постройки вулкана Хангар ( $Mg\#$  49,6) и позднплейстоценовый базальт конуса Голодьак ( $Mg\#$  56,4). Как видно из графиков распределения микроэлементов (рис. 3), высоко- $Mg$  андезибазальты раннего этапа вулканической активности в пределах кальдеры и андезибазальты основания постройки в Хангар имеют невысокие концентрации HFSE и близки по составу к поро-

дам IAB-типа в Ичинский и четвертичным породам СХ с гибридным типом распределения микроэлементов с минимальной степенью обогащения, состав которых моделируется при участии <10% мантии OIB-типа в источнике. Базальты конуса Голодьак характеризуются высокими содержаниями HFSE, одновременно с пониженными значениями отношений  $Ba/Nb$ ,  $U/Nb$ ,  $Pb/Ce$  и попадают в поле наиболее обогащённых пород СХ гибридного типа. Андезибазальт основания постройки вулкана Хангар по концентрациям HFSE, РЗЭ, Rb, Ba, Th, Pb занимает промежуточное положение между высоко- $Mg$  андезибазальтами наиболее ранних проявлений вулканической активности в кальдере и позднплейстоценовыми базальтами конуса Голодьак. Пород, аналогичных по составу миоцен-плиоценовым плато СХ, в районе вулкана Хангар нами не обнаружено.

#### **Верховья р. Озёрная Камчатка (г.Юртиная)**

В верховьях р. Озёрная Камчатка проводилось опробование эффузивов г. Юртиной, морфологически выраженных как крупный останец плато сложенный серией лавовых потоков мегаплагиофировых андезибазальтов. По аналогии со сходными лавовыми покровами более северных частей СХ, возраст плато-эффузивов г. Юртиной должен быть миоценовым, однако на геологической карте эти лавы относятся к эоплейстоценовому возрасту [3].



**Рис. 4.** Распределение микроэлементов в породах г. Юртиная, плато и четвертичных эффузивах р-на г. Костина в сравнении с ранее изученными породами СХ. Концентрации микроэлементов в породах нормированы на NMORB [6].

Изучено семь последовательных лавовых единиц, отобранных снизу вверх по разрезу. Все изученные образцы относятся к андезибазальтам (самый верхний горизонт попадает в поле андезитов), однако при сравнительно близких концентрациях кремнезёма (54,35–56,75 вес.%) они отличаются широкими вариациями содержания щелочей:  $K_2O$  1,61–2,49 вес.%; таким образом, породы верхней части разреза лежат в поле высоко-калиевых пород и относятся к трахиандезибазальтам. Кроме того, для этих пород характерны значительные колебания магнезиального номера (от 36 до 60), а также концентраций  $Al_2O_3$ ,  $P_2O_5$ , Sr/Y отношения, не коррелирующие

с концентрациями кремнезёма (рис. 2). Андезибазальты нижней и средней части разреза имеют практически идентичные кривые распределения микроэлементов (рис. 4А), а андезит верхней части разреза отличается несколько более высокими концентрациями всех микроэлементов при более-менее постоянных межэлементных отношениях. Характер распределения микроэлементов в изученных образцах практически идентичен таковому в породах IAB-типа Ичинского вулкана. Интересно, что среди образцов плато северной части хребта также был найден образец с аналогичным характером распределения микроэлементов — это образец

SR0418 плато р. Правая Озерная. В то время, как другие образцы плато р. Правая Озерная (а также всех остальных изученных нами плато северной части хребта) имеют типично-островодужный тип распределения микроэлементов и крайне низкие концентрации HFSE, образец SR0418 и плато г. Юртиная отличаются несколько повышенными концентрациями высокозарядных элементов и могут быть отнесены к породам «гибридного» типа с невысокой степенью обогащения источника (до 10% мантии OIB-типа).

### Г. Костина, Козыревский хребет.

В районе г. Костина опробованы породы плато предположительно миоценового возраста, морфологически хорошо выраженные и вскрытые разрезами в обрывах рек. На плато расположены четвертичные постройки — моногенные конуса и лавовые потоки. Изученные породы относятся к умеренно-калиевой серии (рис. 2) и имеют сравнительно повышенную магнезиальность ( $Mg\#$  до 65, при преобладающем  $Mg\#$  45–60 в ранее изученных породах СХ с аналогичной кремнекислотностью). Для них также характерны пониженные концентрации фосфора (0,1–0,28 вес.% против 0,12–0,68 вес.% в других породах СХ). По распределению микроэлементов породы этого района делятся на две группы (рис. 4, В и С). Породы первой группы имеют повышенные концентрации HFSE и могут быть отнесены к породам гибридного типа с небольшой степенью обогащения (до 10% мантии OIB-типа в источнике); аналогичные породы также описаны на в. Ичинский (породы IAB-типа) и г. Юртиная. Морфологически они представляют собой шлаковые конуса и лавовые потоки, визуально сходные с другими моногенными постройками СХ четвертичного возраста. Породы второй группы имеют низкие концентрации всех высокозарядных элементов и по характеру распределения микроэлементов близки к миоцен-плиоценовым породам плато северной части СХ. Эти породы отобраны из различных горизонтов морфологически выраженных плато, развитых в этом районе.

### Выводы

1. Изучены концентрации главных петрогенных и микроэлементов в породах южной части Срединного Хребта Камчатки: вулканического массива Хангар, плато и четвертичных образованиях г. Костиной (Козыревский хребет) и платообразных эффузивах г. Юртиная (верховья р. Озёрная Камчатка). Изученные породы относятся к умеренно — и высоко-калиевой серии и представлены рядом от базальтов до риолитов.

2. Показано, что по характеру распределения микроэлементов большинство изученных пород схожи с ранее изученными породами СХ гибридного типа с небольшой степенью обогащения источника магм высокозарядными элементами (до 10% мантии OIB-типа в источнике). Плато района г. Костина,

имеют низкие концентрации HFSE и по геохимическим особенностям схожи с миоцен-плиоценовыми плато северной части Срединного хребта.

3. В кальдере Хангар обнаружены высоко-Mg породы, относящиеся к наиболее ранним проявлениям вулканической активности в этом массиве. Для высоко-Mg андезитов и дацитов характерно повышенное Sr/Y отношение, тогда как андезибазальты с  $Mg\# \sim 70$  имеют умеренные значения Sr/Y.

Авторы благодарят И. Зиброва за помощь в проведении полевых работ. Работа выполнена при финансовой поддержке Программы № 4 Президиума РАН, Программы № 9 ОНЗ РАН, а также гранта РФФИ № 13–05–00 760а и гранта ДВО РАН 12–III–А–08–165.

### Список литературы

1. Авдейко Г. П., Палуева А. А., Хлебородова О. А. Геодинамические условия вулканизма и магмообразования Курило-Камчатской островодужной системы // *Петрология*, 2006, Том. 14, № 3. С. 249–267.
2. Вольнец А. О., Певзнер М. М. Состав вулканических пород северной части Срединного хребта Камчатки (результаты рентген-флюоресцентного анализа) // *Вулканизм и геодинамика: материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии*, Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009. Том. 1, с. 302–305.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Серия Хангарская. Л. N-57-XIV: (гора Вершинная) // *Ком. природ. ресурсов по Камчат. обл. и Коряк. авт. окр. (Камчатприродресурс)*, ФГУГП «Камчат. ПСЭ»; ред. Шульдинер В. И. М-во природ. ресурсов и экологии РФ, Федер. агентство по недропользованию. Изд. 2-е. СПб.: Кар-тогр. ф-ка ВСЕГЕИ, 2010.
4. Певзнер М. М., Головин, Д. И., Герцев Д. О., Кущева Ю. В., Чурикова Т. Г., Вольнец А. О., Родин В. С., Ладыгин В. М. Новые результаты K-Ar датирования миоцен-плиоценовых вулканических пород Срединного хребта Камчатки // *Вулканизм и геодинамика: Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии*. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009. Том. 1. С. 445–448.
5. Churikova T., Dorendorf F., Wörner G. Sources and fluids in the mantle wedge below Kamchatka, evidence from across-arc geochemical variation // *Journal of Petrology*, 2001. Vol. 42. № 8. P. 1567–1593.
6. Sun S. S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes // Saunders, A. D., Norry, M. J. (eds), *Magmatism in the ocean basins*. Geological Society of London Special Publications, 1989. P. 313–345.
7. Volynets A., Churikova T., Wörner G., Gordeychik B., Layer P. Mafic Late Miocene – Quaternary volcanic rocks in the Kamchatka back arc region: implications for subduction geometry and slab history at the Pacific-Aleutian junction // *Contributions to mineralogy and petrology*, 2010, № 159, P. 659–687; DOI: 10.1007/s00410-009-0447-9.