

## ВУЛКАНИЗМ ЮЖНОЙ ЧАСТИ СРЕДИННОГО ХРЕБТА КАМЧАТКИ В НЕОГЕН-ЧЕТВЕРТИЧНОЕ ВРЕМЯ

А.О. Вольтнец<sup>1</sup>, М.М. Певзнер<sup>2</sup>, М.Л. Толстых<sup>3</sup>, А.Д. Бабанский<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 683006, Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийна, 9, Россия

<sup>2</sup> Геологический институт РАН, 119017, Москва, Пыжевский пер., 7, Россия

<sup>3</sup> Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, 119991, Москва, ул. Косыгина, 19, Россия

<sup>4</sup> Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 35, Россия

Анализ геохимических характеристик миоцен-четвертичных вулканитов Срединного хребта Камчатки позволил выделить в его пределах несколько различных провинций: северную и южную части хребта, а внутри последней дополнительно «восточную», «западную» и «центральную» ветви. Приведены новые данные по составу неоген-четвертичных вулканических пород южной части Срединного хребта Камчатки: вулканическим массивам Хангар, Ичинский, горы Юртиная в «западной» ветви хребта, вулканическим проявлениям Быстринского и Козыревского хребта в «восточной» ветви, а также Анаунскому долу и массиву Уксичан. Показано, что наблюдаются систематические отличия в составах пород «западной» и «восточной» ветвей. В пределах «восточной» ветви в неогене проявлен вулканизм островодужного типа. В четвертичное время в геохимических характеристиках вулканитов этого района сочетаются признаки островодужного и внутриплитного происхождения. Такой геохимический тип авторы предлагают называть гибридным. В пределах «западной» ветви вулканизм гибридного типа проявляется начиная с неогена, а типично островодужные вулканиты не обнаружены. Процессы магмогенерации в «западной» ветви Срединного хребта в значительной степени подвержены влиянию мантийного источника обогащенного типа; участие флюида здесь ощущается в меньшей степени, чем в породах «восточной» ветви, где явно прослеживается субдукционный компонент источника.

*Субдукция, обогащенная мантия, флюид, островодужный вулканизм, внутриплитный вулканизм, гибридный вулканизм, задуговая зона, Камчатка, Срединный хребет.*

## VOLCANISM OF THE SOUTHERN PART OF THE SREDINNY RANGE OF KAMCHATKA IN THE NEOGENE-QUATERNARY

A.O. Volynets, M.M. Pevzner, M.L. Tolstykh, and A.D. Babansky

Based on the geochemical characteristics of the Miocene–Quaternary volcanic rocks of the Sredinny Range of Kamchatka, we divide it into northern and southern provinces; the latter comprises the «eastern», «western», and «central» flanks. We present new data on the composition of Neogene–Quaternary volcanic rocks in the southern part of the Sredinny Range of Kamchatka: Khangar and Icha volcanic massifs and Mt. Yurtinaya on the «western» flank, Bystrinsky and Kozhyrevsky Ridges on the «eastern» flank, and Anaunsky Dol and Uksichan massif located in between. We show systematic differences in the composition of rocks from the «western» and «eastern» flanks. During the Neogene, a typical island-arc volcanism took place within the «eastern» flank. Quaternary volcanic rocks of this area have both island-arc and within-plate geochemical features. We propose to call rocks of this type hybrid rocks. Within the «western» flank, hybrid volcanism has been manifested since the Neogene, while typical island-arc rocks are not found. Magma generation processes on the «western» flank of the Sredinny Ridge are influenced by the enriched mantle source; the effect of fluid is less pronounced here as compared to the rocks of the «eastern» flank, where it is clearly traced.

*Subduction, enriched mantle, fluid, island-arc volcanism, within-plate volcanism, hybrid volcanism, back-arc, Kamchatka, Sredinny Range*

## ВВЕДЕНИЕ

Срединный хребет — крупнейшая вулканотектоническая структура п-ова Камчатка — состоит из древнего (мел—палеоген) метаморфического массива и вулканического пояса (далее СХ), сформированного в неоген-четвертичное (N-Q) время. В настоящее время СХ удален от современного глубоко-водного желоба приблизительно на 400 км. В южной части хребта, до широты влк. Хангар, сейсмофокальная зона трассируется на глубине 350—400 км [Gorbatov et al., 1997], далее на север не прослеживается [Gorbatov et al., 2000; Davaille, Lees, 2004]. Северная часть хребта считается геологиче-

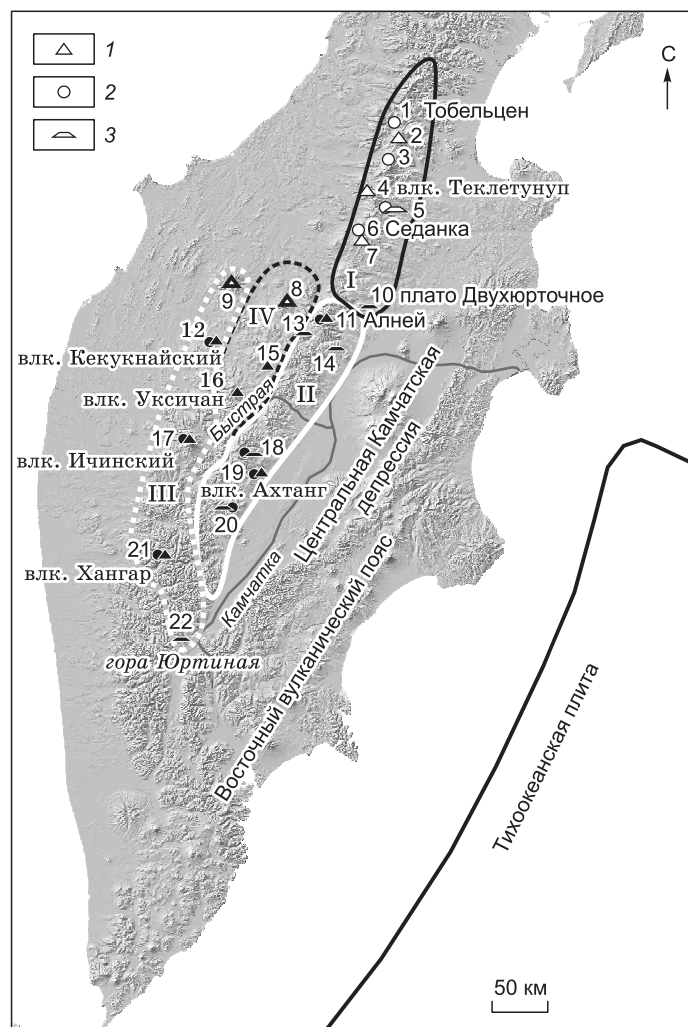
ски стабильной начиная с миоцена [Трубицын и др., 1998; Авдейко и др., 2002; Davaille, Lees, 2004]. Глубокофокусная сейсмичность под территорией СХ не фиксируется [Gorbatov et al., 2000; Санина и др., 2005; Jiang et al., 2009].

Большинство исследователей склоняются к тому, что вулканизм СХ был обусловлен субдукцией Тихоокеанской плиты, когда активный желоб располагался на 200 км западнее современного, но в позднем миоцене—плиоцене в результате аккреции Кроноцкой дуги субдукция под СХ была заблокирована [Леглер, 1977; Константиновская, 1999; Шапиро, Ландер, 2003; Авдейко и др., 2006; и др.]. У восточных берегов Камчатки образовалась новая зона погружения Тихоокеанской плиты, с которой связана современная вулканическая активность в Восточном вулканическом поясе и Центральной Камчатской депрессии. При этом плиоцен-четвертичный вулканизм хребта относили к так называемой тыловой зоне [Действующие вулканы..., 1991]. Имеющиеся данные по геохимии и геодинамике района свидетельствуют о невозможности однозначной интерпретации причин существующей в СХ «постсубдукционной» вулканической активности [Вольнец, 1993; Volynets, 1994; Tatsumi et al., 1995; Churikova et al., 2001; Авдейко и др., 2002, 2006; Перепелов, 2004, 2005; Перепелов и др., 2006б; Плечов, 2008; Авдейко, Палуева, 2009; Колосков и др., 2013; и др.].

До недавнего времени СХ рассматривали как зону потухшего вулканизма, а единственным действующим вулканом считался Ичинский [Действующие вулканы..., 1991]. Однако в последние годы в процессе проведения тефрохронологических работ и радиоуглеродного датирования был установлен голоценовый возраст извержений для многочисленных вулканических центров как в южной, так и в северной частях хребта [Базанова, Певзнер, 2001; Певзнер, 2004, 2015; Дирксен, 2009].

В строении СХ геоморфологически выделяются две части: северная и южная (рис. 1). Северная часть СХ представляет собой узкий хребет СВ простирания. Южная часть имеет значительно более сложную структуру. В ее пределах можно выделить два элемента: 1) «восточную» ветвь СВ простирания (главный водораздел, представленный Козыревским и Быстринским хребтами), которая является структурным продолжением северной части хребта; 2) «западную» ветвь, ССВ простирания, которая

веерообразно расходится от Срединного метаморфического массива к ССВ и трассируется крупными вулканическими массивами — Хангар, Ичинский, Кекукнайский,



**Рис. 1. Карта-схема Срединного хребта Камчатки с местоположением объектов исследования.**

Цифрами обозначены: 1 — конус Тобельцен; 2 — влк. Спокойный; 3 — конус Ньльгимелкин; 4 — влк. Теклетунуп; 5 — платоэффузивы рек Правая и Левая Озерная, Озерновское поле моногенного вулканизма; 6 — влк. Титила и Седанкинское поле моногенного вулканизма; 7 — влк. Горного института; 8 — влк. Большой Чекчебонай; 9 — влк. Б. Кетепана; 10 — плато Двухюрточное; 11 — вулканический массив Алней-Чашаконджа; 12 — вулканический массив Кекукнайский; 13 — Быстринский хребет; 14 — хр. Крюки; 15 — Ананский дол; 16 — вулканический массив Уксичан; 17 — вулканический массив Ичинский; 18 — плато и моногенные конусы в районе горы Козыревка; 19 — вулканический массив Ахтанг; 20 — р. Ага и горы Костина и Загадка; 21 — вулканический массив Хангар; 22 — гора Юртиная. I — стратовулканы, 2 — моногенные центры, 3 — платоэффузивы. Черными символами обозначены объекты исследования, расположенные в южной части СХ; незалитыми — объекты, данные по которым не вошли в эту публикацию; белыми — вулканические аппараты северной части СХ [Volynets et al., 2010]. Линиями и римскими цифрами показано условное деление Срединного хребта на северную часть (I, темно-серая сплошная линия) и южную часть, состоящую из «восточной» (II, белая сплошная линия), «западной» (III, белый пунктир) и «центральной» (IV, черный пунктир) ветвей. Северная часть и «восточная» ветвь южной части (I и II) представляют собой главный водораздел Срединного хребта.

Кетепана. Между «восточной» и «западной» ветвями расположены Анаунский дол, вулканические массивы Уксичан и Большой Чекчебонай, которые, возможно, маркируют промежуточную «центральную» ветвь южной части СХ.

Ранее нами был изучен участок северной части хребта от влк. Алней-Чашаконджа до конуса Тобельцен, а также Кекукнайский массив из «западной» ветви южной части СХ [Волынец, Певзнер, 2009; Volynets et al., 2010]. Установлено, что в северной части хребта для пород миоцен-плиоценового возраста, представленных платоэффузивами (далее плато), характерно типично островодужное распределение микроэлементов: низкие концентрации HFSE и высокие отношения Ba/Nb, K/Ta, U/Nb, Th/Ta. Образование пород с такими характеристиками моделируется высокими степенями плавления (15—20 %) сильно деплетированной мантии N-MORB типа при участии островодужного флюида. Породы четвертичного возраста севера СХ на всех дискриминационных диаграммах образуют обособленное поле, лишь отчасти пересекающееся с полем  $N_{1-2}$  плато; для них им свойственны повышенные содержания калия, титана и других HFSE и невысокие отношения Ba/Nb, K/Ta, U/Nb, Th/Ta [Volynets et al., 2010]. Для объяснения геохимических характеристик пород этого типа необходимо участие обогащенного мантийного источника; по результатам геохимического моделирования [Volynets et al., 2010] такие вулканы могут быть образованы при невысоких степенях плавления (8—10 %) мантии, представляющей собой смесь вещества OIB типа (до 30—55 %) и метасоматизированного мантийного клина N-MORB типа.

Вулканы, обогащенные HFSE и характеризующиеся невысокими отношениями флюид-мобильных элементов к неподвижным во флюиде, были впервые выделены на Камчатке О.Н. Волынцем [Волынец, 1993; Volynets, 1994] в качестве пород внутриплитного геохимического типа. В составе внутриплитных вулканических серий Камчатки им были установлены четыре серии пород. Из них в Срединном хребте проявлены две серии: K-Na базальт-командитовая плиоцен-раннеплейстоценового возраста и K-Na щелочно-оливин-базальтовая позднеплейстоцен-голоценового возраста (последняя в виде зоны ареального вулканизма). О.Н. Волынец подчеркивал, что сравнение камчатских вулканитов внутриплитного типа с лавами континентальных рифтов и внутриокеанических островов показывает наличие в породах Камчатки в разной мере выраженных «островодужных» признаков. Эту особенность он связывал с участием в генезисе магм метасоматически измененного материала мантийного клина. При этом в пределах Камчатки также описаны породы, целиком отвечающие внутриплитному типу, без признаков участия островодужного флюида (миоценовые базальты Восточной Камчатки [Volynets, 1994; Волынец и др., 1997], плиоценовые базальты горы Хухч [Перепелов и др., 2006а, 2007], меловые щелочные базальты п-ова Камчатский мыс [Федорчук и др., 1989; Савельев, 2003, 2004]). В связи с вышеизложенным и во избежание путаницы в терминах, породы, обогащенные «внутриплитным» компонентом, описанные нами в пределах Срединного хребта Камчатки, мы будем называть породами гибридного типа, из-за сочетания в них геохимических признаков островодужного и внутриплитного происхождения.

Южная часть СХ до недавнего времени оставалась сравнительно малоизученной. Геохимические особенности отдельных вулканических центров южной части СХ рассматривались в работах [Churikova et al., 2001, 2007; Ivanov et al., 2004; Колосков и др., 2011, 2013; Флеров и др., 2014, 2016]. В работе [Churikova et al., 2001] показано, что в районе Ичинского вулкана развиты проявления четвертичного вулканизма двух геохимических типов, названных авторами островодужным (IAB) и внутриплитным (WPT); породы обоих типов несут явные признаки участия островодужного флюида. Согласно нашей терминологии, все эти вулканы могут быть отнесены к породам с гибридным типом распределения микроэлементов, образованным при участии различного количества обогащенной мантии (от 5 % в породах IAB типа до 35 % в породах WPT типа). Имеющиеся сведения по постройкам северного фланга Ичинского вулканического массива (плиоцен-четвертичные вулканы Белоголовский, Большой Паялпан и Носичан [Ivanov et al., 2004; Перепелов и др., 2006б; Флеров и др., 2014, 2016]) свидетельствуют о проявлении магматизма гибридного типа уже в плиоцене. Вулканические породы Кекукнайского массива также имеют гибридные геохимические признаки, включая наиболее древние опробованные комплексы (предположительно раннечетвертичного возраста), причем степень обогащения пород HFSE возрастает по мере их омоложения [Volynets et al., 2010; Колосков и др., 2011]. Дочетвертичные вулканы южной части Ичинского массива и Козыревского хребта описаны только в объяснительной записке к Государственной геологической карте [Государственная..., 2008 а, б].

В результате многолетних исследований нам удалось собрать представительную коллекцию вулканических пород южной части СХ (см. рис. 1), куда вошли как миоценовые платоэффузивы, так и более поздние полигенные стратовулканы и моногенные шлаковые конусы. Опробование проводилось в районах вулканических массивов Ичинский, Хангар, горы Юртиная («западная» ветвь), влк. Ахтанг, горы Козыревка, гор Костина и Загадка («восточная» ветвь), а также Анаунского дола и массива Уксичан, занимающих промежуточное положение между «западной» и «восточной» ветвями. В этой публикации мы представляем данные по составу разновозрастных вулканических пород южной части СХ, сравниваем их с ранее изученными вулканидами северной части СХ и показываем первые результаты

анализа пространственно-временного распределения пород с различными геохимическими характеристиками в пределах Срединного хребта Камчатки.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Содержание главных петрогенных и некоторых микроэлементов (V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, Pb) определялось методом рентгенфлюоресцентного анализа (РФА) на вакуумном спектрометре последовательного действия (с дисперсией по длине волны), модель Axios mAX производства компании PANalytical в ЦКП «ИГЕМ-аналитика» ИГЕМ РАН (аналитик А.И. Якушев). Для анализа породообразующих элементов изготавливались стеклообразные диски путем индукционного плавления прокаленного материала проб с боратами лития при температуре 1200 °С. Для выполнения анализа микроэлементов препараты изготавливались методом холодного прессования сухого вещества пробы с добавлением пластикового наполнителя в форму таблетки диаметром 32 мм. Погрешности измерения составили 1—5 % для элементов с концентрациями более 0.5 мас. % и до 12 % для элементов с концентрациями менее 0.5 мас. %.

Также концентрации вышеперечисленных и других микроэлементов определены методом ICP-MS с использованием масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой X-7 (Thermo Elemental, США) в Институте проблем технологии микрорелектроники и особочистых материалов РАН (ИПТМ РАН), аналитик В.К. Карандашев. Пробоподготовка проводилась по стандартной процедуре, описанной в работе [Karandashev et al., 2008]. Контроль качества исполнения осуществлялся путем анализа международных стандартов BНVО-2, BIR-1, AGV-2, GSP-2 и набора российских стандартов в одной серии с образцами. Погрешность анализа для большинства микроэлементов составила порядка 7 %.

Результаты аналитических работ представлены в таблице, где концентрации главных петрогенных оксидов, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Zr приводятся по измерениям методом РФА, остальных микроэлементов — ICP-MS, за исключением образцов 13 и 14, для которых по методу РФА приводятся определения микроэлементов V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, Pb.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Главные петрогенные оксиды.** Содержания главных петрогенных оксидов в породах южной части СХ представлены в таблице и на рис. 2—4. Крупные вулканические массивы, расположенные в «западной» ветви, Хангар, Ичинский, Кекукнайский характеризуются продолжительной историей эруптивной активности [Волынец и др., 1991; Churikova et al., 2001; Колосков и др., 2011, 2013; Певзнер, 2015; Певзнер и др., 2017]. Для пород вулканических массивов Ичинский и Хангар характерны протяженные тренды фракционирования, вулканы Кекукнайского и Ичинского принадлежат к высококальциевой, а Хангара — к умеренно-кальциевой серии. Среди кислых разностей Хангара преобладают породы нормально-щелочного ряда, Ичинского — умеренно-щелочного и щелочного ряда. Все породы «западной» ветви достаточно близки по составу к ранее изученным нами на севере СХ вулканическим четвертичного возраста: имеют схожие с ними содержания  $TiO_2$ , CaO,  $Al_2O_3$ ,  $Na_2O$ , близкие или несколько меньшие концентрации MgO и  $P_2O_5$ . В наиболее примитивных породах (содержания  $SiO_2$  47—50 мас. %), обнаруженных в пределах зоны ареального вулканизма Ичинского массива, наблюдаются максимальные концентрации  $TiO_2$ , близкие к таковым в базальтах ранней стадии ареального вулканизма Кекукнайского массива [Колосков и др., 2011].

Среди пород «восточной» ветви преобладают умеренно-кальциевые базальты, андезитобазальты и андезиты (см. таблицу, рис. 3); причем более кислые разности характерны главным образом для вулканических пород неогенового возраста (см. рис. 3). В отличие от пород «западной» ветви, вулканы здесь характеризуются умеренными концентрациями  $TiO_2$  (в среднем 0.5—1 мас. %), несколько повышенными содержаниями MgO и CaO и меньшими —  $Na_2O$  и  $P_2O_5$ . В отличие от северной части СХ, где фигуративные точки разновозрастных пород формировали на ряде диаграмм отдельные, не пересекающиеся поля [Volynets et al., 2010], в «западной» и «восточной» ветвях юга СХ различия между породами четвертичного и неогенового возраста на уровне макроэлементов незначительны (см. рис. 2, 3).

Совершенно иначе выглядят породы массива Уксичан и Анаунского дола, расположенные между «западной» и «восточной» ветвями. Как и для вулканов Хангар и Ичинский, для Уксичанского массива характерны протяженные тренды фракционирования, однако здесь накопление щелочей (в первую очередь, калия) выражено еще сильнее, вплоть до трахитов в кислой области. При этом концентрации титана в изученных породах умеренные до низких, схожие, скорее, с таковыми для вулканических пород «восточной» ветви (см. таблицу, рис. 4). Согласно [Давыдова, 2014], породы завершающего этапа развития Уксичанского массива (щитовые постройки и конусы ареальной зоны) отличаются от более древних вулканических пород пониженными концентрациями щелочей, тогда как на севере СХ наблюдается прямо противоположная ситуация. Эти наблюдения вкпе с геоморфологическими и географическими особенностями

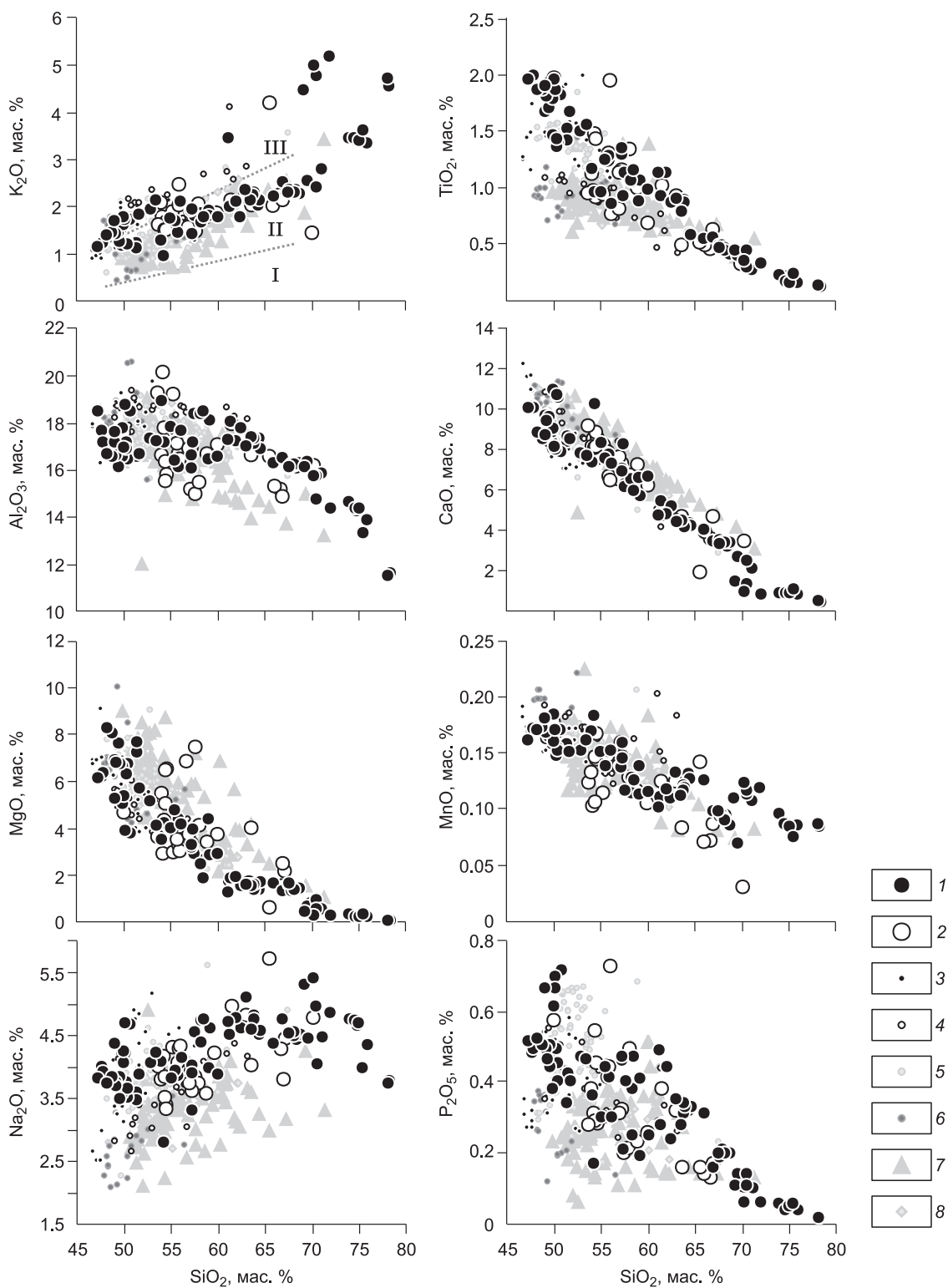
Представительные составы пород южной части Срединного хребта Камчатки (оксиды главных элементов – в мас. %, редкие элементы – в г/т)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO <sub>2</sub>	53.67	53.73	54.27	47.52	48.46	65.81	55.81	63.91	56.62	49.18	53.55	53.67	54.57	53.23	55.08	53.46	51.79	58.54	53.80	56.64
TiO <sub>2</sub>	1.46	1.41	0.95	1.84	1.79	0.48	0.79	0.58	0.92	1.45	0.97	0.91	0.93	1.11	1.29	1.14	1.36	0.85	0.75	0.92
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.60	16.19	17.67	16.47	16.42	15.42	14.46	16.78	17.06	16.38	19.95	15.36	19.04	16.47	16.53	17.34	17.25	17.39	16.07	16.23
FeO	7.84	8.94	7.77	10.05	10.14	4.26	7.44	4.84	7.15	9.05	6.77	8.20	6.76	8.12	8.69	8.27	9.17	6.62	8.21	6.86
MnO	0.11	0.17	0.15	0.17	0.17	0.07	0.14	0.13	0.16	0.16	0.10	0.14	0.11	0.13	0.14	0.14	0.13	0.12	0.15	0.13
MgO	4.33	5.03	3.98	8.17	6.74	2.48	7.23	1.75	3.95	6.56	2.94	6.40	2.96	5.46	3.27	5.09	6.32	3.03	7.01	5.85
CaO	8.00	8.02	8.22	8.76	9.33	3.88	6.14	4.22	8.21	10.83	8.46	8.78	8.13	8.04	6.59	8.22	8.24	7.18	8.65	7.01
Na <sub>2</sub> O	3.81	3.29	3.78	3.70	3.66	4.26	3.67	4.56	3.28	3.55	4.14	3.48	4.28	3.77	4.25	4.04	3.78	4.05	3.43	3.87
K <sub>2</sub> O	1.51	1.50	1.73	1.39	1.40	2.07	1.41	2.13	1.42	1.17	1.76	1.56	1.89	2.07	2.45	1.10	0.77	1.28	0.88	1.46
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.54	0.45	0.30	0.52	0.46	0.15	0.21	0.33	0.21	0.38	0.31	0.29	0.30	0.38	0.44	0.26	0.16	0.20	0.14	0.24
Сумма	98.86	98.72	98.82	98.59	98.57	98.40	97.30	99.23	98.98	98.71	98.95	98.79	98.97	98.78	98.74	99.06	98.97	99.26	99.08	99.20
Li	7.1	9.8	10.0	6.6	10.0	11.2	20.3	14.4	7.7	8.9	9.9	10.1	—	—	11.3	6.2	6.5	9.6	6.0	10.1
Be	1.2	1.4	1.3	1.3	1.7	1.1	0.9	1.5	0.8	1.2	1.0	0.9	—	—	1.4	0.9	0.8	0.8	0.6	1.1
Sc	10.2	14.3	23.7	20.4	26.9	7.8	20.0	5.6	22.8	25.5	13.0	25.4	—	—	18.6	25.5	26.2	25.1	35.9	22.0
V	200	210	207	222	227	100	189	76	187	218	204	203	243	233	260	153	167	187	212	144
Cr	31	53	61	204	207	91	347	9	57	235	43	232	19	196	11	215	260	35	341	185
Co	26	27	23	42	31	15	30	10	30	38	23	29	20	25	23	19	31	16	30	16
Ni	21	47	47	159	107	33	136	8	24	122	24	69	20	67	15	109	128	4	61	62
Cu	34	54	81	50	77	79	91	13	32	45	155	150	160	140	194	35	45	71	71	26
Zn	77	94	78	80	95	43	119	72	78	94	61	73	71	72	86	64	66	60	66	48
Ga	19.2	19.0	17.6	18.1	19.0	15.9	15.8	16.6	15.3	17.3	17.9	15.0	—	—	17.8	18.9	18.8	17.3	16.2	17.2
Rb	22.4	26.0	32.6	17.6	21.7	30.4	33.1	31.2	23.4	15.5	28.1	27.5	34	38	48.8	12.8	7.2	13.8	9.2	16.0
Sr	694	636	600	691	656	557	566	348	529	603	901	644	762	672	714	453	382	405	389	543
Y	17.5	19.8	17.4	19.7	23.2	10.4	14.2	21.8	19.6	24.7	15.9	17.0	22	20	22.2	17.2	17.9	25.9	17.8	18.3
Zr	136	182	152	131	149	127	103	218	129	175	80	83	81	103	125	127	123	133	99	133
Nb	13.2	12.0	5.6	18.8	21.7	4.3	3.3	11.8	5.9	11.3	3.8	3.7	7	8	5.8	6.7	5.1	2.2	1.3	3.7
Cs	0.3	0.7	0.6	0.3	0.3	0.8	0.7	0.6	0.7	0.2	0.7	0.6	—	—	1.0	0.1	0.2	0.5	0.3	0.4
Ba	449	509	832	365	475	747	417	504	412	359	490	405	423	459	598	273	225	439	270	825
La	16.3	19.3	12.4	16.9	20.0	10.1	8.2	17.7	11.5	15.4	9.9	9.6	—	—	14.3	10.8	8.9	7.6	6.1	12.7
Ce	36.4	42.4	28.7	38.2	45.0	20.4	19.0	32.7	25.8	38.0	24.0	22.7	—	—	34.1	26.4	21.0	19.2	15.8	28.9
Pr	4.9	5.2	3.8	4.9	5.8	2.7	2.5	5.0	3.6	5.1	3.4	3.2	—	—	4.7	3.7	3.0	2.7	2.4	4.1
Nd	18.6	22.3	17.0	20.5	25.4	11.5	11.7	20.9	16.0	23.2	15.5	14.8	—	—	21.4	17.3	14.3	14.5	12.3	18.8
Sm	4.6	5.0	3.9	5.0	5.6	2.6	3.0	4.7	3.7	5.5	3.7	3.7	—	—	5.0	4.2	3.7	3.7	3.3	4.2
Eu	1.6	1.5	1.3	1.8	1.8	0.8	0.90	1.3	1.2	1.7	1.2	1.1	—	—	1.5	1.3	1.2	1.0	1.0	1.2
Gd	4.2	4.6	3.7	4.6	5.3	2.4	3.1	4.3	3.9	5.5	3.6	3.7	—	—	4.9	4.1	3.8	4.1	3.5	3.9
Tb	0.63	0.66	0.53	0.70	0.76	0.37	0.48	0.67	0.61	0.82	0.54	0.56	—	—	0.73	0.64	0.62	0.63	0.59	0.58

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Dy	3.1	3.8	3.2	3.4	4.3	2.1	2.9	3.9	3.7	4.7	3.1	3.3	—	—	4.1	3.8	3.8	4.0	3.6	3.5
Ho	0.70	0.73	0.63	0.76	0.82	0.42	0.57	0.81	0.74	0.95	0.61	0.65	—	—	0.82	0.73	0.73	0.87	0.74	0.67
Er	1.2	2.1	1.9	2.1	2.3	1.2	1.7	2.4	2.2	2.8	1.8	1.9	—	—	2.4	2.1	2.2	2.4	2.2	2.0
Tm	0.25	0.29	0.27	0.27	0.31	0.18	0.23	0.36	0.31	0.39	0.25	0.26	—	—	0.33	0.28	0.30	0.38	0.32	0.27
Yb	1.7	2.0	1.8	1.9	2.0	1.2	1.6	2.5	2.0	2.5	1.7	1.7	—	—	2.2	1.9	2.0	2.5	2.1	1.9
Lu	0.25	0.30	0.28	0.26	0.30	0.18	0.23	0.38	0.31	0.37	0.25	0.25	—	—	0.33	0.28	0.30	0.38	0.33	0.26
Hf	3.8	4.4	3.9	3.7	3.9	1.6	2.3	3.8	3.0	3.5	2.8	2.6	—	—	3.9	2.9	2.5	3.0	2.2	3.0
Ta	0.80	0.72	0.34	1.12	1.25	0.44	0.29	0.95	0.47	0.73	0.28	0.26	—	—	0.43	0.49	0.40	0.16	0.13	0.29
Tl	0.09	0.09	0.16	0.01	0.05	0.25	0.29	0.12	0.14	0.07	0.13	0.10	—	—	0.16	0.04	0.06	0.10	0.06	0.14
Pb	4.0	5.0	5.8	2.0	3.8	5.8	10.4	4.2	4.3	2.4	6.0	5.6	—	—	8.3	3.5	2.9	7.3	5.4	10.7
Th	1.6	1.5	1.8	1.5	2.6	2.2	1.6	2.8	1.9	1.4	1.6	1.6	—	—	2.6	1.0	0.8	1.3	0.7	1.8
U	0.7	0.6	0.8	0.6	0.8	0.7	1.1	1.0	0.8	0.5	0.8	0.7	—	—	1.2	0.5	0.4	0.7	0.5	1.2
Компонент	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
SiO <sub>2</sub>	55.10	59.82	53.33	59.44	55.81	50.70	59.20	53.47	51.34	55.97	48.20	53.66	47.84	54.62	53.55	49.66	49.45	55.76	53.13	52.02
TiO <sub>2</sub>	0.87	0.82	0.89	0.85	0.78	0.88	0.90	1.05	0.88	1.04	0.85	0.97	0.86	0.98	0.71	0.83	0.72	1.01	0.79	1.23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.95	16.15	16.29	15.96	17.70	16.84	16.21	17.01	16.45	17.61	18.95	17.62	13.87	18.84	19.79	17.07	16.33	17.42	17.43	17.27
FeO	7.96	6.68	8.25	6.80	7.65	9.47	6.40	7.97	8.20	7.25	10.47	7.96	9.05	7.61	6.75	9.41	9.64	7.41	8.17	9.74
MnO	0.14	0.13	0.15	0.13	0.16	0.18	0.12	0.15	0.16	0.13	0.19	0.16	0.16	0.14	0.13	0.16	0.16	0.13	0.15	0.20
MgO	4.67	2.85	6.55	3.16	3.40	6.64	3.40	5.82	8.40	3.56	4.98	5.33	11.07	3.47	4.46	7.98	8.19	4.80	6.24	3.88
CaO	8.00	6.79	8.20	6.77	8.86	10.37	7.09	8.61	9.01	7.93	10.09	8.21	10.85	8.17	8.76	10.36	11.19	7.44	8.98	8.46
Na <sub>2</sub> O	3.38	3.77	3.31	3.81	3.59	2.46	3.49	3.14	2.94	3.63	2.29	2.90	1.91	3.60	3.14	2.41	1.97	3.59	2.91	3.21
K <sub>2</sub> O	1.47	1.68	1.47	1.58	0.73	0.95	1.71	1.37	1.12	1.49	2.01	1.44	2.52	1.16	1.21	0.86	1.09	1.35	1.05	2.14
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.32	0.31	0.32	0.44	0.26	0.27	0.51	0.27	0.33	0.35	0.49	0.35	0.35	0.27	0.14	0.21	0.18	0.26	0.20	0.43
Сумма	98.86	98.99	98.77	98.94	98.93	98.76	99.03	98.86	98.82	98.97	98.52	98.60	98.48	98.86	98.64	98.95	98.92	99.17	99.05	98.58
Li	9.3	11.5	8.5	7.6	5.7	8.1	10.7	10.0	6.2	10.9	4.4	7.1	6.3	7.9	8.4	6.9	5.4	9.7	9.7	8.4
Be	1.2	1.2	1.0	1.4	0.8	0.9	1.3	1.2	0.9	1.3	1.6	1.1	1.7	0.8	0.7	0.7	0.7	1.2	0.9	1.6
Sc	21.4	14.5	17.7	17.8	26.6	35.8	17.2	28.1	22.6	19.9	38.6	29.7	40.9	24.8	26.9	39.5	37.0	19.8	29.7	35.4
V	213	157	194	165	250	288	174	218	214	198	275	195	205	199	166	218	227	150	197	307
Cr	44	83	282	71	9	50	98	301	398	43	17	117	517	12	54	197	250	91	194	14
Co	29	17	32	20	20	34	18	27	37	24	17	19	25	14	12	33	29	13	18	24
Ni	41	35	107	32	13	21	49	96	188	38	8	32	146	6	25	68	58	48	44	15
Cu	87	72	88	64	118	77	99	100	100	84	93	63	49	62	81	81	102	86	87	190
Zn	81	79	78	87	81	109	84	73	78	82	60	63	57	56	50	65	63	80	59	89
Ga	18.0	18.1	16.6	18.2	19.5	17.9	18.4	16.5	15.5	18.6	20.5	18.3	15.1	20.3	16.6	16.2	15.0	18.7	17.4	19.0
Rb	23.7	20.2	24.8	23.6	6.3	13.2	19.3	21.8	18.6	22.0	35.9	12.3	41.1	12.5	14.6	13.7	16.9	17.6	20.8	31.4
Sr	526	592	606	688	766	495	612	576	520	552	710	509	685	816	816	524	438	592	639	727

Y	17.7	17.4	16.2	20.8	22.2	15.8	20.8	20.2	16.0	17.5	16.0	24.7	17.1	15.5	13.9	15.4	12.6	23.0	14.5	26.4
Zr	129	154	96	171	58	64	194	114	94	156	88	161	111	131	111	60	57	174	85	115
Nb	5.2	7.0	3.9	8.0	1.0	1.7	8.6	5.3	3.8	8.0	1.0	4.6	1.5	2.9	1.9	1.2	1.0	8.4	1.7	3.4
Cs	0.4	0.5	0.5	0.4	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.3	0.7	0.3	0.5	0.2	0.3	0.3	0.3	0.6
Ba	464	588	534	777	370	378	609	526	340	535	535	567	465	481	564	267	354	554	456	755
La	12.6	16.9	9.8	19.1	6.5	6.1	19.7	11.2	8.2	14.1	7.8	18.9	11.6	14.7	10.5	4.9	4.5	18.1	7.1	11.6
Ce	28.8	36.7	23.1	43.9	16.7	16.3	42.6	26.5	19.7	34.8	20.7	43.4	29.3	37.3	25.1	12.7	11.2	39.8	17.7	29.9
Pr	3.6	5.0	3.2	5.7	2.6	2.3	5.2	3.5	2.7	4.2	3.3	5.4	4.6	4.9	3.1	1.9	1.7	5.0	2.5	4.3
Nd	16.1	18.9	13.6	24.7	13.0	11.8	22.2	16.2	12.6	18.5	16.9	25.6	23.2	21.0	14.8	10.1	8.6	20.8	11.7	21.2
Sm	3.8	4.2	3.6	5.0	3.4	3.1	4.8	3.8	3.1	4.1	4.2	5.4	6.0	4.3	3.1	2.7	2.4	4.9	2.8	5.3
Eu	1.2	1.3	1.2	1.4	1.1	1.0	1.4	1.2	1.1	1.2	1.3	1.5	1.7	1.4	1.0	1.0	0.8	1.5	1.0	1.6
Gd	3.6	3.6	3.4	4.3	3.7	3.3	4.3	3.9	3.2	4.0	3.9	5.4	5.4	4.0	3.1	3.0	2.5	4.4	2.9	5.3
Tb	0.54	0.56	0.51	0.64	0.56	0.49	0.67	0.57	0.49	0.57	0.55	0.78	0.77	0.58	0.45	0.45	0.38	0.67	0.43	0.76
Dy	3.2	3.2	2.5	3.8	3.8	3.1	3.8	3.6	2.9	3.5	3.2	4.8	4.0	3.3	2.6	2.9	2.3	3.5	2.7	4.6
Ho	0.64	0.63	0.60	0.73	0.76	0.62	0.75	0.72	0.58	0.69	0.66	1.00	0.70	0.66	0.55	0.57	0.46	0.79	0.53	0.93
Er	1.8	1.8	1.8	2.1	2.3	1.9	2.2	2.1	1.7	2.0	1.9	2.7	1.8	1.9	1.5	1.6	1.3	2.3	1.6	2.7
Tm	0.26	0.26	0.25	0.30	0.32	0.26	0.30	0.30	0.24	0.27	0.25	0.40	0.25	0.26	0.21	0.22	0.18	0.31	0.22	0.37
Yb	1.8	1.8	1.7	2.0	2.3	1.7	2.0	2.0	1.7	1.8	1.7	2.7	1.6	1.8	1.5	1.5	1.3	2.2	1.3	2.6
Lu	0.26	0.26	0.25	0.30	0.36	0.26	0.31	0.31	0.24	0.27	0.25	0.41	0.24	0.26	0.22	0.22	0.18	0.32	0.22	0.39
Hf	3.5	3.9	2.8	4.1	2.0	2.0	4.4	2.3	2.3	4.1	2.0	3.4	2.4	2.9	2.1	1.4	1.3	4.4	1.8	2.7
Ta	0.35	0.46	0.24	0.50	0.08	0.13	0.53	0.34	0.23	0.50	0.16	0.35	0.16	0.28	0.17	0.08	0.07	0.46	0.12	0.18
Tl	0.17	0.13	0.13	0.13	0.05	0.71	0.11	0.13	0.08	0.16	0.20	0.06	0.14	0.08	0.08	0.06	0.12	0.08	0.09	0.18
Pb	4.9	6.7	5.0	8.4	4.9	4.0	6.7	5.3	3.3	6.8	6.5	8.0	4.7	5.7	7.0	3.0	2.5	5.8	5.3	10.0
Th	1.5	1.6	0.9	1.5	0.5	0.6	1.5	1.2	0.7	1.7	0.9	1.1	0.9	2.0	1.4	0.4	0.4	1.4	0.8	1.2
U	0.7	0.9	0.6	0.8	0.3	0.5	0.6	0.6	0.4	0.8	0.8	0.5	0.8	0.8	0.6	0.3	0.3	0.5	0.5	0.9

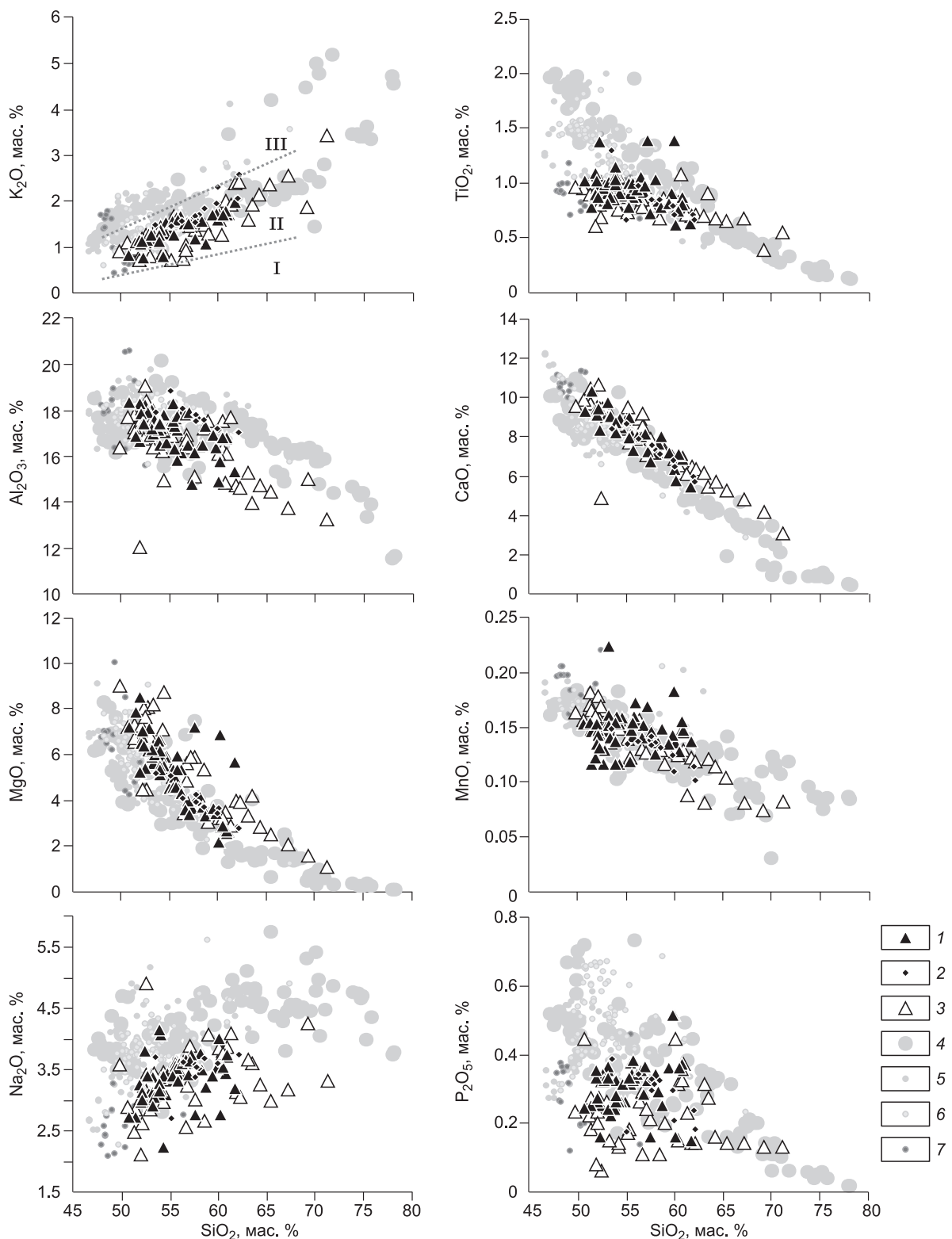
Примечание. 1—40 — образцы: 1—5 — Ичинский вулканический массив: 1 (ICH-1514) — отроги хр. Лаучан, лава (N), 2 (ICH-1518) — гора Палец, лава (N<sup>?</sup>), 3 (ICH-1524) — дайка (Q), 4 (ICH-1528) — дайка (Q), 5 (ICH-1531) — лава постагента горы Скалстая (Q); 6—10 — вулканический массив Хангар: 6 (HNG-1204) — гранодиоритовая интрузия (N), 7 (HNG-1202) — лава, перекрывающая гранодиоритовую интрузию (7.06 млн лет [Певзнер и др., 2017]), 8 (HNG-1217) — лава основания постройки влк. Хангар (N<sup>?</sup>), 9 (HNG-1220) — лава основания постройки влк. Хангар (N<sup>?</sup>), 10 (HNG-1223) — лава конуса Голодык (Q); 11—15 — плагиофлузиды горы Юртиная, разрез снизу вверх, лавы (~6 млн лет [Певзнер и др., 2017]): 11 (OZK-1101), 12 (OZK-1103), 13 (OZK-1105), 14 (OZK-1106), 15 (OZK-1107); 16—20 — массив гор Костина и Загадка, возраст лав, по [Певзнер и др., 2018]: 16 (MILK-0903) — гора Кубинская, лава (N<sub>2</sub> — Q<sup>?</sup>), 17 (MILK-0905) — гора Кубинская, лава (N<sub>2</sub> — Q<sup>?</sup>), 18 (MILK-0911) — плато горы Загадка, лава (5.6 млн лет), 19 (MILK-0914) — плато горы Загадка, лава (5.1 млн лет), 20 (MILK-0917) — гора Костина, лава (N<sub>2</sub>); 21—24 — вулканические проявления р-на горы Козыревка: 21 (GOR-1503) — гора Шлаковая, лава (Q<sup>?</sup>), 22 (GOR-1508) — конусной выход лав плато над руч. Горный (N), 23 (GOR-1514/1) — шлаковый конус в верховьях руч. Горный, лавовая бомба (Q<sup>?</sup>); 24 (GOR-1527) — обвал с плато руч. Горный (N); 25 — вулканический массив Ахтанг, возраст лав, по [Вольнец и др., 2018]: 25 (AX-1304) — лава, плато руч. Нижний Соковец (4.4 млн лет), 26 (AX-1322) — лава, привершинная часть горы Ахтанг (4.0 млн лет), 27 (AX-1328) — лава, палеовулкан С3 сектора массива (1.9—1.7 млн лет), 28 (AX-1337) — лава, моногенный центр на Южном склоне массива (0.3 млн лет), 29 (AX-1346) — лава, моногенный центр на Ю3 подножия массива (0.3—0.2 млн лет), 30 (AX-1353) — лава, моногенный цитгообразный центр в верховьях р. Каракова (0.25 млн лет); 31 — 35 — Анаунский вулканический район: 31 (AN-1004) — р. Балынтинган, лавы основания разреза (N<sub>2</sub>), 32 (AN-1006) — р. Балынтинган, лавы основания разреза (N<sub>2</sub>), 33 (AN-1009) — конус Енкатвенту, лава (N<sub>2</sub>), 34 (AN-1011) — вершина влк. Анаун, неск (N<sub>2</sub>), 35 (AN-1015) — подножие влк. Анаун, лава (N<sub>2</sub>); 36—40 — вулканический массив Укситан: 36 (UK-0815) — шлаковый конус, лава (N<sub>2</sub>), 37 (UK-0840) — шлаковый конус, лавовая бомба (N<sub>2</sub>), 38 (UK-0856) — влк. Чингентей, лава (N<sub>2</sub>), 39 (ES-0901) — лава левого борга р. Укситан, 10 км выше пос. Эссо (N), 40 (KLT-1101) — лава на р. Калтарка в районе впадения руч. Агтам (N<sub>2</sub>). Возрасты даны в соответствии с геологической картой, для Анаунского дола и массива Укситан — в соответствии с проведенным нами изотопным датированием К-Аг методом, для Хангара, Юртиной, Ахтанга и гор Костина и Загадка — согласно ссылкам, К-Аг. Концентрации главных петрогенных оксидов и V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Zr даны по результатам РФА, остальных микроэлементов — ICP-MS, за исключением образцов 13 и 14, для которых по методу РФА приводятся определения микроэлементов V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, Pb. Прочерк — элемент не определялся.



**Рис. 2.** Диаграммы Харкера для пород «западной» ветви южной части Срединного хребта Камчатки.

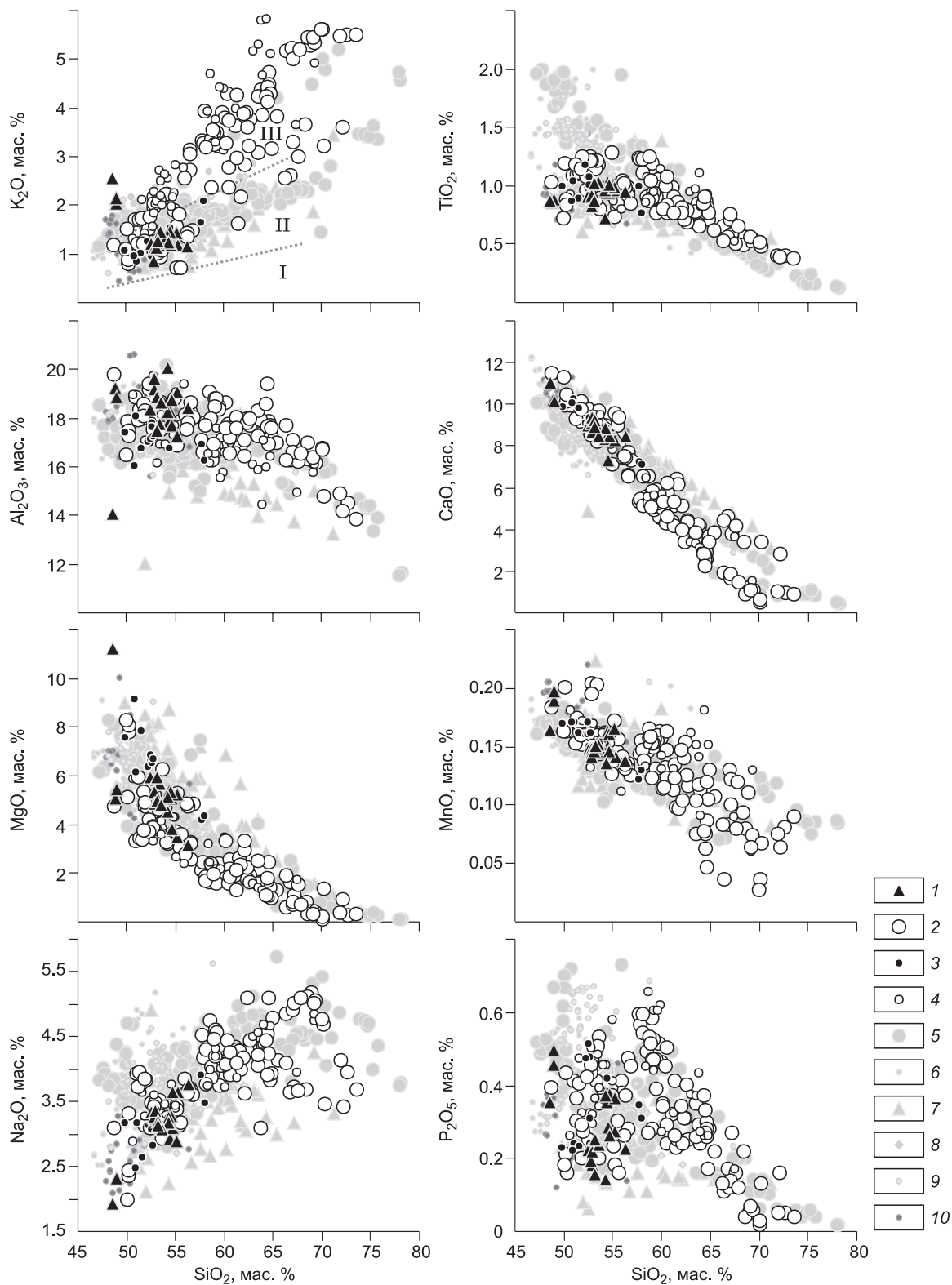
Дискриминационные линии на диаграмме  $K_2O-SiO_2$ , по [A classification..., 1989]; поля: I — низко-К породы; II — умеренно-К породы; III — высоко-К породы. Породы: 1, 2 — «западной» ветви, авторские данные: 1 — Q, 2 — N; 3, 4 — «западной ветви» массива Кекукнайский, по [Колосков и др., 2011]: 3 — Q<sub>3</sub>, 4 — Q<sub>1</sub>; 5, 6 — северной части CX, по [Volynets et al., 2010]: 5 — Q, 6 — N; 7, 8 — «восточной» ветви южной части CX: 7 — авторские данные, N-Q, 8 — массива Алней-Чашаконджа, Q [Volynets et al., 2010].





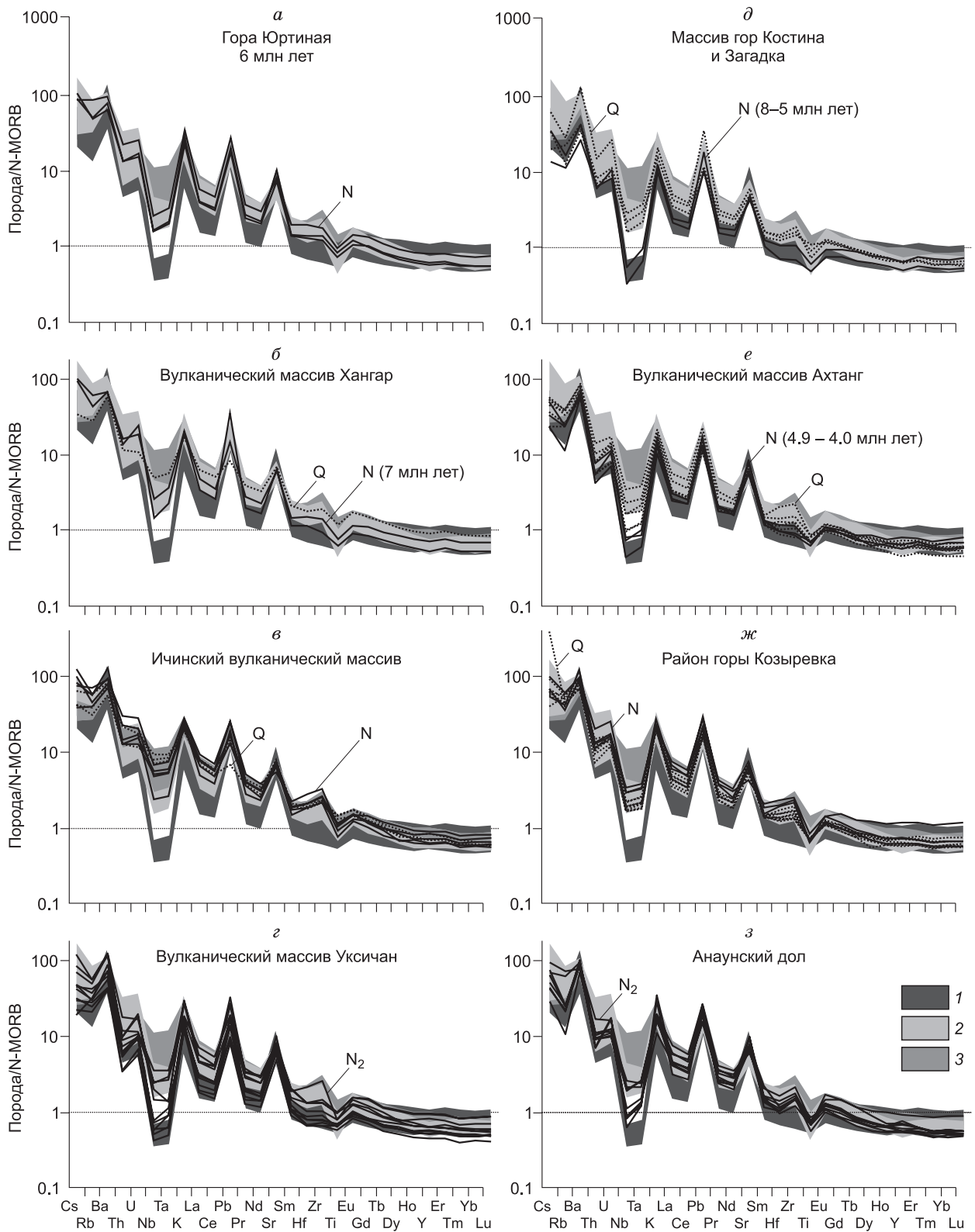
**Рис. 3. Диаграммы Харкера для пород «восточной» ветви южной части Срединного хребта Камчатки.**

Дискриминационные линии и поля на диаграмме  $K_2O-SiO_2$ , согласно рис. 2. Породы: 1–3 — «восточной» ветви: 1, 2 — Q; 1 — авторские данные, 2 — массива Алней-Чашаконджа [Volynets et al., 2010], 3 — N; 4, 5 — «западной» ветви южной части CX: 4 — авторские данные, 5 — породы массива Кекукнайский [Колосков и др., 2011]; 6, 7 — северной части CX: 6 — Q, 7 — N, по [Volynets et al., 2010].



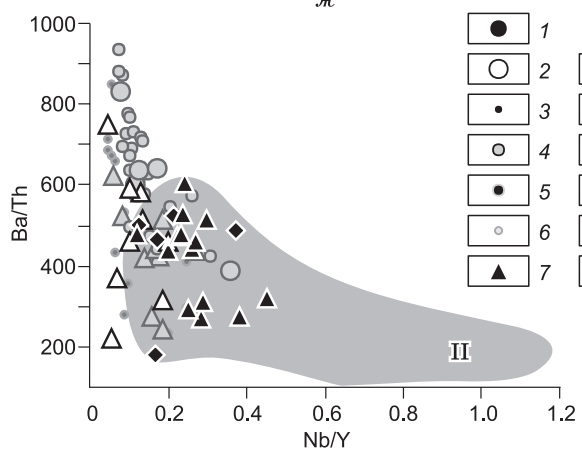
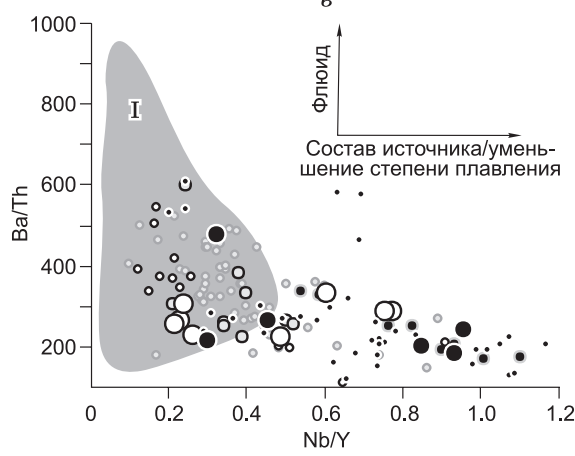
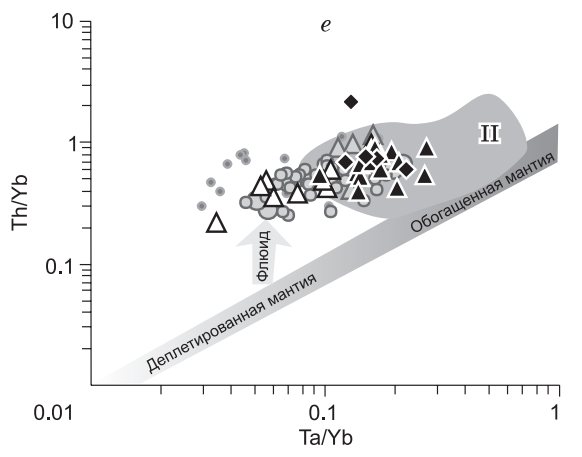
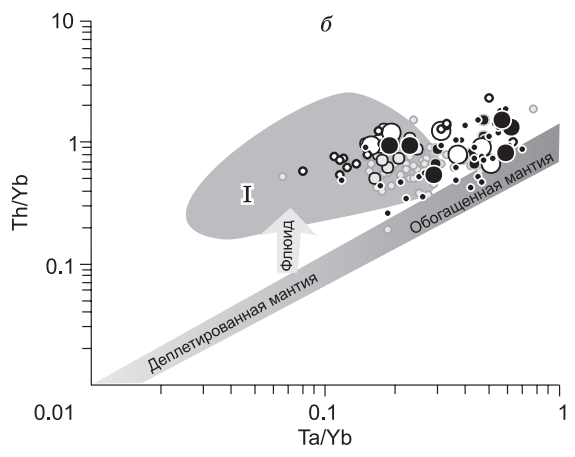
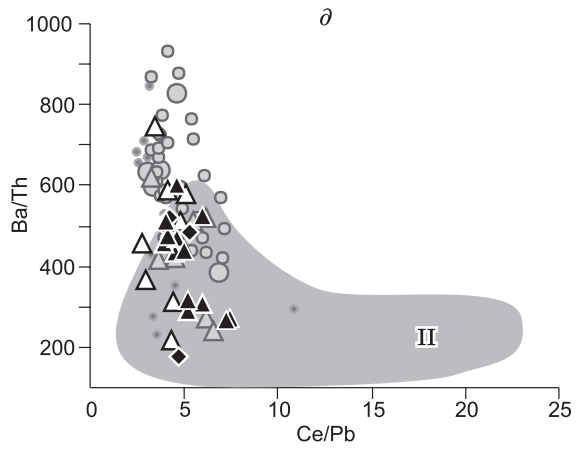
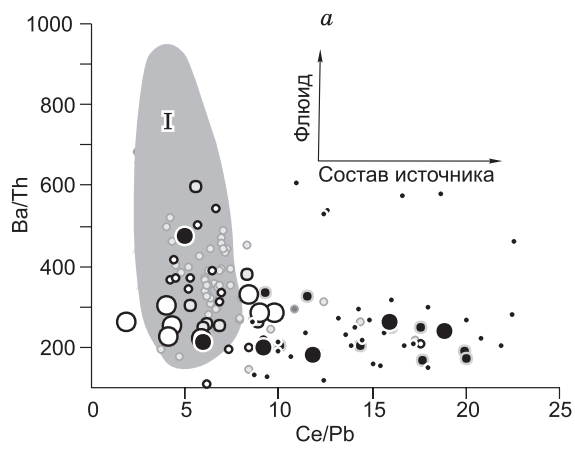
**Рис. 4. Диаграммы Харкера для пород «центральной» ветви южной части Срединного хребта Камчатки.**

Дискриминационные линии и поля на диаграмме  $K_2O-SiO_2$ , согласно рис. 2. Породы: 1 — Анаунского дола,  $N_2$ ; 2 — массива Уксихан,  $N_2$ , авторские данные; 3, 4 — массива Уксихан, по [Давыдова, 2014]: 3 — наложенной ареальной зоны, 4 — кальдерного комплекса; 5, 6 — «западной» ветви южной части СХ: 5 — авторские данные, 6 — массива Кекукнайский [Колосков и др., 2011]; 7, 8 — «восточной» ветви южной части СХ: 7 — авторские данные; 8 — массива Алней-Чашаконджа [Volynets et al., 2010]; 9, 10 — северной части СХ: 9 — Q, 10 — N, по [Volynets et al., 2010].

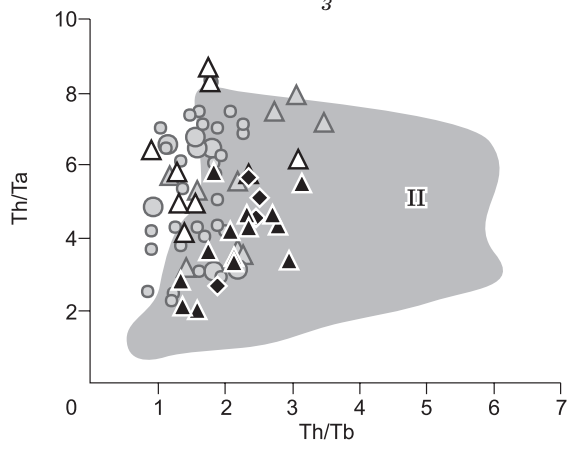
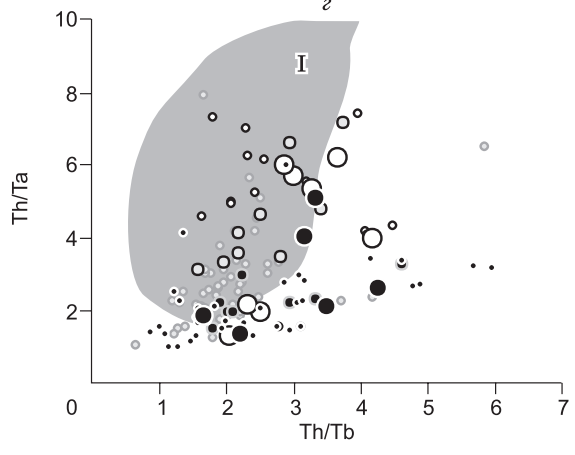


**Рис. 5.** Диаграммы распределения несовместимых элементов, нормированных к N-MORB [Sun, McDonough, 1989], для пород «западной» (а–в), «восточной» (д–ж) и «центральной» (з, з) ветвей СХ.

Сплошные линии — породы неогенового возраста, пунктирные — четвертичного. Полями показаны составы: 1 —  $N_{1-2}$  плато северной части СХ [Volynets et al., 2010]; 2 — Q пород Ичинского вулкана IAB-типа, по [Churikova et al., 2001] (согласно нашим представлениям, эти породы являются гибридными и содержат до 15 % вещества обогащенного мантийного источника); 3 — Q пород гибридного типа северной части СХ [Volynets et al., 2010]. Возраст неогеновых вулканитов Ахтанга, по [Вольнец и др., 2018], гор Костина и Загадка, по [Певзнер и др., 2018].



- |   |   |   |    |
|---|---|---|----|
| ● | 1 | ◆ | 8  |
| ○ | 2 | △ | 9  |
| • | 3 | ○ | 10 |
| ◦ | 4 | ◦ | 11 |
| ◐ | 5 | △ | 12 |
| ◑ | 6 | ▲ | 7  |
| ◒ | 7 | ◑ | 13 |



**Рис. 6. Диаграммы отношений несовместимых микроэлементов для пород южной части СХ.**

*a—z* — породы «западной ветви», *д—з* — породы «восточной» и «центральной» ветвей. Полями даны составы пород для сравнения (I — породы «восточной», «центральной» ветвей южной части СХ и неогеновые породы северной части СХ, II — породы «западной» ветви южной части СХ и четвертичные породы северной части СХ). 1–6 — для диаграмм *a—z*, 7–13 — для диаграмм *д—з*, породы: 1–5 — «западной» ветви: 1 — Q, 2 — N; 3 — массива Кекукнайский [Колосков и др., 2011]; 4, 5 — Ичинского массива, по [Churikova et al., 2001]: 4 — IAB типа, 5 — WPT типа; 6 — Q северной части СХ, по [Volynets et al., 2010]; 7–9 — «восточной» ветви: 7, 8 — Q: 7 — авторские данные, 8 — массива Алней-Чашаконджа, по [Volynets et al., 2010]; 9 — N, авторские данные; 10, 11 — массива Уксичан, N<sub>2</sub>: 10 — авторские данные, 11 — по [Давыдова, 2014]; 12 — Анаунского дола, N<sub>2</sub>; 13 — N, северной части СХ, по [Volynets et al., 2010]. *z, з* — фактическое отношение Th/Ta в неогеновых породах севера СХ достигает 18.5 при Th/Tb до 3.5, вертикальная ось здесь обрезана до 10 для удобства презентации новых данных.

ми расположения и строения массивов подтверждают обособленную позицию и правомерность выделения «центральной» ветви в строении южной части СХ.

**Микроэлементы.** Вулканические породы «западной» ветви, включая подстилающие породы основания вулканов, имеют геохимические характеристики, типичные для Q гибридных пород северной части СХ [Volynets et al., 2010]: повышенные концентрации Ti, Zr, Nb, Ta, Hf, низкие отношения Ba/Nb, Ba/Th, K/Ta, Th/Ta, U/Nb (рис. 5, *a—в*). Самые южные эффузивы южной части хребта на горе Юртиная и в кальдере Хангар, образованные 7–6 млн л. н. [Певзнер и др., 2017], также характеризуются гибридными геохимическими признаками. В отличие от северной части СХ, где породы неогенового возраста имеют очень низкие концентрации HFSE, а распределение микроэлементов в них носит типично островодужный характер, среди вулканитов «западной» ветви таких пород пока не обнаружено, а все опробованные разности можно отнести к гибридным. Исключения представляют собой две дайки с типично островодужным распределением микроэлементов, описанные среди пород раннеплиоценового влк. Носичан [Флеров и др., 2014, 2016]. Остальные изученные породы этого массива относятся к гибридным со слабой степенью обогащения. Степень обогащения HFSE в породах «западной ветви» варьирует от слабой (Nb 3.5 — 10 г/т, Ta 0.24—0.51 г/т, например, в ряде вулканитов Ичинского массива, которые в работе [Churikova et al., 2001] названы породами IAB типа, или в базальтах докальдерной стадии Кекукнайского массива [Колосков и др., 2011]) до высокой (Nb 11—22 г/т, Ta 0.7—1.3 г/т, максимальная степень обогащения также наблюдается в породах Ичинского (см. таблицу, рис. 2, 5, *в*) и Кекукнайского массивов [Volynets et al., 2010; Колосков и др., 2011]).

Вулканические породы, извергнутые в пределах восточного фланга южной части СХ (Быстринский и Козыревский хребты), демонстрируют иную картину. Все изученные вулканиты «восточной» ветви имеют близкие геохимические характеристики с невысокими концентрациями Ti и других HFSE (см. таблицу, рис. 5, *д—ж*). Типично островодужные породы описаны нами в районе гор Костина и Загадка (платоэффузивы 8—5 млн лет [Певзнер и др., 2018]) и в вулканическом массиве Ахтанг (4.9—4.0 млн лет [Волынец и др., 2018]) (см. рис. 5, *д, е*). По своим характеристикам они идентичны N<sub>1-2</sub> плато северной части СХ. Более молодые породы восточного фланга имеют лишь слегка повышенные концентрации HFSE, аналогичные ряду пород IAB типа Ичинского вулкана [Churikova et al., 2001] и массива Алней-Чашаконджа [Volynets et al., 2010]. На настоящий момент имеются единичные определения изотопного возраста таких пород (массив Ахтанг, моногенные конусы на его склонах и подножии 0.3—0.2 млн лет) [Волынец и др., 2018], однако нельзя исключить, что подобные вулканиты могли образовываться в «восточной» ветви уже в плиоцене.

Графики отношений микроэлементов ярко демонстрируют эти особенности (рис. 6). Если для севера хребта отношения Ba/Nb, Th/Ta, K/Ta, Ba/Th, Ce/Pb и др. достаточно резко отличались в неогеновых и четвертичных породах, то в пределах южной части хребта эти отличия мы видим не среди пород разного возраста, а, скорее, в породах «западной» и «восточной» ветвей. Для пород «западной» ветви характерны невысокие отношения LILE/HFSE при повышенных отношениях Ta/Yb, Nb/Yb, Ce/Pb, Nb/Y, тогда как породы «восточной» ветви отличаются повышенными отношениями Ba/Nb, K/Ta, U/Nb, Th/Ta, Ba/Th и пониженными Nb/Y, Ta/Yb, Dy/Yb, Ce/Pb и т. д. Породы массива Уксичан и Анаунского дола по величинам отношений микроэлементов схожи с породами «восточной» ветви южной части СХ.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В геохимических характеристиках\* пород «восточной» и «западной» ветвей южной части хребта наблюдаются существенные различия. В отличие от севера хребта, где по геохимическим признакам

\* Далее при обсуждении характера мантийных и флюидных источников мы ограничиваем исследование только породами базальтового и андезитобазальтового состава для минимизации влияния процессов ассимиляции и фракционирования на состав пород.

можно четко выделить две разновозрастные группы пород (островодужные в миоцен—плиоцене и гибридные в четвертичное время), в пределах «западной» ветви геохимические отличия «молодых» и «древних» образований наблюдаются только в Кекукнайском районе [Колосков и др., 2011], но даже здесь все проанализированные центры имеют признаки гибридизма, с возрастанием концентраций HFSE и уменьшением значений отношений LILE/HFSE обратно пропорционально возрасту пород. Происхождение даек островодужного типа в районе влк. Носичан пока неясно; учитывая положение этого центра практически на границе «западной» и «центральной» ветвей, возможно, их внедрение было связано с оперяющими разломами «центральной» ветви, где в плиоцене проявлялся вулканизм островодужного типа. Согласно полученным нами данным об изотопном возрасте пород, гибридный тип вулканизма проявляется в «западной» ветви начиная с 7—6 млн лет (гора Юртиная и массив Хангар) [Певзнер и др., 2017]. В пределах же главного водораздела («восточной» ветви) установлено, что в позднем миоцене извергались породы с типично островодужным распределением микроэлементов [Певзнер и др., 2009; Volynets et al., 2010], а магматизм гибридного типа начался позже, предположительно в плиоцене. Таким образом, в пределах южной части СХ в позднем миоцене одновременно извергались породы разных типов: гибридные в «западной» ветви и островодужные в «восточной». Кроме того, по сравнению с северной частью СХ в породах «восточной» ветви юга СХ прослеживается тенденция к меньшей степени обогащения HFSE всех изученных пород гибридного типа.

Диаграммы, отражающие участие флюида в процессе магомгенерации, позволяют провести достаточно четкие границы между породами «западной» и «восточной» ветвей (см. рис. 6). Кроме того, на диаграммах отношений микроэлементов хорошо видно, что характеристики пород наметившейся «центральной» ветви (массива Уксичан и Анаунского дола) ближе к породам главного водораздела, чем к «западной» ветви (см. рис. 6,  $\delta$ — $\varepsilon$ ). Ранее было установлено, что породы разных возрастных групп северной части СХ имеют довольно четкие различия по отношениям Ва/Nb, Th/Ta, К/Ta, Ва/Th, Се/Pb и др. [Volynets et al., 2010]. В южной же части СХ, особенно в его «западной» ветви, разделить разновозрастные породы на основании этих критериев практически невозможно. Породы «западной» ветви как молодые, так и древние образуют компактные группы с низкими значениями LILE/HFSE при повышенных отношениях Та/Yb, Nb/Y, Се/Pb (см. рис. 6,  $a$ — $\varepsilon$ ), тогда как породы «восточной» и «центральной» ветвей имеют противоположные характеристики (см. рис. 6,  $\delta$ — $\varepsilon$ ). Очень четкие разнонаправленные тренды для пород «запада» и «востока» выделяются на диаграммах Th/Ta—Th/Tb (см. рис. 6,  $z$ ,  $3$ ), Ва/Th—Се/Pb (см. рис. 6,  $a$ ,  $\delta$ ) и Ва/Th—Nb/Y (см. рис. 6,  $b$ ,  $ж$ ). Для пород «восточной» и «центральной» ветвей СХ явно прослеживается влияние островодужного флюида, выражающееся в виде повышения отношений флюид-мобильных к неподвижным во флюиде элементам (Ва/Nb, К/Ta, Th/Ta, U/Nb и т.д.). «Западная» ветвь в большей степени подвержена влиянию источника обогащенного типа, возможно, с участием метасоматизированного вещества литосферной мантии, хотя и здесь ощущается влияние флюида, пусть и в меньшей степени. Присутствие мантийного источника, обогащенного HFSE, также хорошо видно на диаграммах отношений высокозарядных элементов (см. рис. 6,  $b$ ).

Проявления в СХ вулканизма со смешанными островодужно-внутриплитными, «гибридными» геохимическими характеристиками и природа обогащения этих пород высокозарядными элементами интерпретируется исследователями по-разному. Так, О.Н. Волынец объяснял появление пород внутриплитного типа поднятием по глубинным разломам плюмов из глубинных частей мантии. Образование таких разломов связывалось с процессом формирования нового глубоководного желоба и современной зоны субдукции [Volynets, 1994]. А.Б. Перепелов и А.В. Колосков с соавторами [Перепелов и др., 2006б; Колосков и др., 2013; и др.] считают, что четвертичный вулканизм СХ образуется в рифтогенной обстановке и не имеет связи с современной Тихоокеанской плитой. Появление постсубдукционного магматизма в СХ они связывают с отмиранием миоценовой зоны субдукции и началом процессов растяжения в литосфере. Г.Б. Флеров полагает, что источником обогащения HFSE в СХ может выступать рециклированный материал Индийского MORB типа [Флеров и др., 2016]. П.Ю. Плечов с соавторами [Плечов, 2008; Некрылов и др., 2015] считают СХ тыловой зоной зрелой островной дуги, лишенной потока флюидов; молодой вулканизм связывается авторами с новой областью магомгенерации, которая начинает формироваться после перерыва в вулканической активности; при этом источником расплавов являются пироксениты в нижней части островодужной коры. Согласно Ё. Татсуми с соавторами [Tatsumi et al., 1995], появление расплавов под четвертичными вулканами хребта объясняется аномально высокими температурами надсубдукционного мантийного клина вблизи бокового края погружающейся плиты. Авторы работы [Park et al., 2001] полагают, что существует горизонтальное мантийное течение, огибающее погруженную часть Тихоокеанской плиты северо-западнее Командорских островов. Н.И. Селиверстов [2009] считает, что вулканический пояс СХ возник в олигоцене над зоной субдукции, выходящей там же, где и сейчас (в Курило-Камчатском желобе), но в то время существенно более пологой, чем современная. После резкого увеличения наклона субдуцируемой плиты в плиоцене произошло смещение вулканической активности к востоку. Проявление в СХ четвертичного вулканизма свя-

зывается с инерционностью развития вулканических очагов. В работе Т.Г. Чуриковой с соавторами [2009] СХ рассматривается как задуговой регион современной зоны субдукции. При этом предполагается наличие под ним высоконагретой (600—700 °С) пластичной асейсмичной плиты. В работах [Churikova et al., 2001; Пономарева и др., 2008; Volynets et al., 2010] указывается, что четвертичный вулканизм СХ представляет собой тыловую зону современной Курило-Камчатской островодужной системы. Таким образом, на настоящий момент не существует единой точки зрения на природу обогащения «гибридных» магм СХ. Вместе с тем результаты геохимического моделирования показывают, что объяснить высокие концентрации HFSE в четвертичных (а в некоторых случаях и позднемiocен-плиоценовых) породах СХ без участия обогащенной мантии (привлекая только механизмы фракционирования и варьируя степени плавления субстрата) невозможно [Volynets et al., 2010]. Настоящая работа посвящена главным образом презентации полученных геохимических данных и не ставит своей целью дать ответ на вопрос о природе обогащенного мантийного источника, однако мы надеемся, что дальнейшие региональные исследования, включающие изучение изотопного состава вулканических пород, позволят нам приблизиться к решению этой загадки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая публикация представляет первые результаты изучения пространственно-временных особенностей распределения пород различных геохимических типов в пределах Срединного хребта Камчатки. Геохимические особенности N-Q пород южной части СХ показывают, что для этой части хребта характерна сложная геологическая история, а в пределах разных структурных элементов хребта процессы магмогенерации обусловлены различными типами мантийного вещества. В северной части хребта (от широты плато Двухюрточного до конуса Тобельцен на севере) в неогене проявлены типично островодужные породы, а в четвертичное время — породы гибридного типа с высокой долей обогащения (до 55 % мантии обогащенного типа в источнике [Volynets et al., 2010]). В южной части хребта, в пределах «восточной» ветви (от горы Костина на юге до влк. Алней на севере) в неогене также извергались породы островодужного типа, а в плиоцен-четвертичное время — гибридные породы с невысокой долей обогащения (5—14 % мантии ОИВ типа [Volynets et al., 2010]). «Западная» ветвь хребта, протягивающаяся от горы Юртиная через влк. Хангар и Кекукнайский вулканический массив, по-видимому, характеризуется обогащенным типом мантии на всем протяжении развития этой структуры начиная с позднего миоцена (от ~10—14 % мантии ОИВ типа в миоцене вплоть до 50 % в четвертичное время). Однако в Ичинском массиве зафиксированы и слабообогащенные породы (5—15 % мантии ОИВ типа [Churikova et al., 2001]). Вулканический массив Уксичан и Анаунский дол, образованные в плиоцене, структурно занимают промежуточное положение между «восточной» и «западной» ветвями, но по характеру источника тяготеют к породам южной части главного водораздела (см. рис. 6).

Согласно представлениям [Леглер, 1977; Шапиро, Ландер, 2003], в неогене СХ представлял собой фронт зоны субдукции, которая закрылась в результате последовательного причленения восточных полуостровов Камчатки (Шипунского ~7, Кроноцкого ~5 и Камчатского ~2 млн л. н.). Это представление согласуется с полученными нами данными об излиянии типично островодужных пород вдоль всего главного водораздела. Изотопные даты, характеризующие возраст бронирующих лав плато от широты р. Ага до широты р. Озерная подтверждают последовательное закрытие миоценовой субдукции от 8—6 млн л. н. в южной части до 3 млн л. н. в северной части хребта [Певзнер и др., 2009; Volynets et al., 2010].

Отсутствие пород островодужного типа в «западной» ветви может быть связано с тем, что эта зона формировалась несколько позже и в иных геодинамических условиях (большие глубины генерации магм и иной состав мантийного субстрата), нежели платоэффузивы главного водораздела Срединного хребта Камчатки.

Вероятно, процессы магмогенерации в «западной» ветви СХ в значительной степени подвержены влиянию мантийного источника обогащенного типа, возможно, при участии метасоматизированного вещества литосферной мантии; влияние флюида здесь ощущается в меньшей степени, чем в породах восточного фланга, где более явно прослеживается субдукционный компонент источника. Для решения вопроса о природе мантийного источника обогащенного типа и причине совмещения мантийных источников различного типа необходимы дальнейшие детальные исследования с датированием вулканитов различных геохимических типов, анализом изотопного состава, а также привлечением данных по глубинному строению территории и палеореконструкций с малым временным разрешением. Таким образом, окончательный вывод о причинах и механизмах магмогенерации в Срединном хребте Камчатки может быть получен только при дальнейших комплексных детальных исследованиях.

Авторы благодарят В.С. Родина, И.А. Зиброва, И.А. Балашова, А.С. Кириленко, В.С. Захарова, Ю.В. Новикова за помощь в организации и проведении полевых работ; О.Л. Петрова, В.С. Родина за подготовку проб к анализам; А.И. Якушева и В.К. Карандашева за проведение аналитических исследований; д.г.-м.н. А.Б. Перепелова и к.г.-м.н. Т.Г. Чурикову за продуктивное обсуждение результатов ис-

следования; академика М.И. Кузьмина, д.г.-м.н. А.Б. Перепелова и д.г.-м.н. А.Г. Владимирова за ценные замечания при работе над рукописью.

Работа выполнена в соответствии с Госзаданиями по темам ИВиС ДВО РАН № 0282-2016-0004 (полевые работы, петрографические исследования), ГИН РАН № 0135-2018-0037 (геохронологические исследования), ГЕОХИ РАН № 0137-2016-005 (минералогические исследования), ИГЕМ РАН № 0136-2018-0028 (изотопные исследования), а также при поддержке РФФИ (грант 17-05-00112) (геохимические исследования, анализ данных, редакция статьи).

## ЛИТЕРАТУРА

**Авдейко Г.П., Палуева А.А.** Геодинамика Камчатской зоны субдукции: вулканизм, сейсмоопасность, цунамиопасность // Вулканизм и геодинамика: материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Петропавловск-Камчатский, ИВиС ДВО РАН, 2009, т. 1, с. 567—570.

**Авдейко Г.П., Попруженко С.В., Палуева А.А.** Тектоническое развитие и вулканотектоническое районирование Курило-Камчатской островодужной системы // Геотектоника, 2002, № 4, с. 64—80.

**Авдейко Г.П., Палуева А.А., Хлебородова О.А.** Геодинамические условия вулканизма и магмообразования Курило-Камчатской островодужной системы // Петрология, 2006, т. 14, № 3, с. 249—267.

**Базанова Л.И., Певзнер М.М.** Хангар — еще один действующий вулкан на Камчатке // ДАН, 2001, т. 377, № 6, с. 800—802.

**Волынец А.О., Певзнер М.М.** Состав вулканических пород северной части Срединного хребта Камчатки (результаты рентгенфлуоресцентного анализа) // Вулканизм и геодинамика: материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Петропавловск-Камчатский, ИВиС ДВО РАН, 2009, т. 1, с. 302—305.

**Волынец А.О., Певзнер М.М., Лебедев В.А., Толстых М.Л., Бабанский А.Д.** Этапы активности вулканического массива Ахтанг (Срединный хребет Камчатки) в неоген-четвертичное время // Методы и геологические результаты изучения изотопных геохронометрических систем минералов и пород. Российская конференция по изотопной геохронологии. Москва, 5—7 июня 2018г. Материалы конференции. М., ИГЕМ РАН, 2018, с. 80—81.

**Волынец О.Н.** Петрология и геохимическая специализация вулканических серий современной островодужной системы: Автореф. дис. ... д.г.-м.н. М., 1993, 67 с.

**Волынец О.Н., Патока М.Г., Мелекесцев И.В., Зубин М.И.** Вулкан Ичинский // Действующие вулканы Камчатки. Т. 1. М., Наука, 1991, с. 282—294.

**Волынец О.Н., Карпенко С.Ф., Кэй Р.У., Горринг М.** Изотопный состав позднеогеновых К-На-щелочных базальтоидов Восточной Камчатки: отражение гетерогенности мантийного источника магм // Геохимия, 1997, № 10, с. 1005—1018.

**Государственная геологическая карта Российской Федерации м-ба 1:200 000. Изд. второе. Серия Западно-Камчатская. Лист N-57-II (влк. Ичинская Сопка) / Под ред.: Ш.Г. Хасанов, В.И. Сидоренко, Б.И. Сляднева, Н.А. Родных, В.И. Николаевой. СПб., ВСЕГЕИ, 2008а.**

**Государственная геологическая карта Российской Федерации м-ба 1:200 000. Изд. второе. Серия Западно-Камчатская. Лист N-57-III (Эссо) / Под ред. Ш.Г. Хасанова, В.И. Сидоренко, А.К. Боровцова, Б.И. Сляднева, Н.А. Родных, В.И. Николаевой. СПб., ВСЕГЕИ, 2008б.**

**Давыдова М.Ю.** Происхождение и эволюция магм вулканического центра Уксичан (Срединный хребет Камчатки): Автореф. дис. ... к.г.-м.н. Владивосток, 2014, 19 с.

**Действующие вулканы Камчатки. В 2-х т. / Под ред. С.А. Федотова, Ю.П. Масуренкова. М., Наука. 1991, т. 1, 302 с., т. 2, 415 с.**

**Дирксен О.В.** Позднечетвертичный ареальный вулканизм Камчатки (структурная приуроченность, геолого-геоморфологический эффект, пространственно-временные закономерности проявления): Автореф. дис. ... к.г.н. СПб., СПбГУ, 2009, 18 с.

**Колосков А.В., Флеров Г.Б., Перепелов А.Б., Мелекесцев И.В., Пузанков М.Ю., Философова Т.М.** Этапы эволюции и петрология Кекукнайского вулканического массива как отражение магматизма тыловой зоны Курило-Камчатской островодужной системы. Ч. 1. Геологическое положение и геохимический состав вулканических пород // Вулканология и сейсмология, 2011, № 5, с. 17—41.

**Колосков А.В., Флеров Г.Б., Перепелов А.Б., Мелекесцев И.В., Пузанков М.Ю., Философова Т.М.** Этапы эволюции и петрология Кекукнайского вулканического массива как отражение магматизма тыловой зоны Курило-Камчатской островодужной системы. Ч. 2. Петролого-минералогические особенности, модель петрогенезиса // Вулканология и сейсмология, 2013, № 2, с. 63—89.

**Константиновская Е.А.** Геодинамика коллизии островная дуга—континент на западной окраине Тихого океана // Геотектоника, 1999, № 5, с. 15—34.



**Леглер В.А.** Развитие Камчатки в кайнозое с точки зрения теории тектоники литосферных плит // Тектоника литосферных плит (источники энергии тектонических процессов и динамика плит). М., Ин-т Океанологии АН СССР, 1977, с. 137—169.

**Некрылов Н.А., Плечов П.Ю., Бычков К.А., Перепелов А.Б., Пузанков М.Ю., Шур М.Ю., Дирксен О.В., Базанова Л.И.** Родоначальные расплавы последнего пульса вулканизма Седанкинского дола (Срединный хребет, Камчатка) // Вестник МГУ. Серия 4. Геология, 2015, № 3, с. 55—61

**Певзнер М.М.** Первые геологические данные о хронологии голоценовой эруптивной активности вулкана Ичинского (Срединный хребет, Камчатка) // ДАН, 2004, т. 395, № 4, с. 507—510.

**Певзнер М.М.** Голоценовый вулканизм Срединного хребта Камчатки // Ред. М.А. Федонкин. М., ГЕОС, 2015, 252 с. (Тр. ГИН РАН, вып. 608).

**Певзнер М.М., Головин Д.И., Герцев Д.О., Кущева Ю.В., Чурикова Т.Г., Волынец А.О., Родин В.С., Ладыгин В.М.** Новые результаты К-Аг датирования миоцен-плиоценовых вулканических пород Срединного хребта Камчатки // IV Всероссийский симпозиум по вулканологии и палеовулканологии «Вулканизм и геодинамика», 22—27 сентября 2009 г., Петропавловск-Камчатский, 2009, с. 445—448.

**Певзнер М.М., Волынец А.О., Лебедев В.А., Бабанский А.Д., Коваленко Д.В., Костицын Ю.А., Толстых М.А., Кущева Ю.А.** Начало вулканической активности в пределах Срединного метаморфического массива (Срединный хребет, Камчатка) // ДАН, 2017, т. 475, № 5, с. 546—550.

**Певзнер М.М., Волынец А.О., Кущева Ю.В., Толстых М.Л., Бабанский А.Д.** Миоцен-плиоценовый вулканизм юго-восточного фланга Срединного хребта Камчатки (массив г. Загадка): возраст и некоторые особенности состава пород // Методы и геологические результаты изучения изотопных геохронометрических систем минералов и пород. Российская конференция по изотопной геохронологии. Москва, 5—7 июня 2018 г. Материалы конференции. М., ИГЕМ РАН, 2018, с. 249—250.

**Перепелов А.Б.** Неоген-четвертичный шшонит-латитовый магматизм Срединного хребта Камчатки: вулкан Теклетунуп (геологическая эволюция, петрография, минералогия) // Вулканология и сейсмология, 2004, № 3, с. 12—30.

**Перепелов А.Б.** Неоген-четвертичный шшонит-латитовый магматизм Срединного хребта Камчатки: вулкан Теклетунуп (геохимия, петрология, геодинамическая позиция) // Вулканология и сейсмология, 2005, № 1, с. 22—36.

**Перепелов А.Б., Пузанков М.Ю., Иванов А.В., Философова Т.М.** Базаниты горы Хухч — первые минералого-геохимические данные по внутриплитному щелочному магматизму Западной Камчатки // ДАН, 2006а, т. 408, № 6, с. 795—799.

**Перепелов А.Б., Чащин А.А., Мартынов Ю.А.** Срединно-Камчатская зона (плиоцен — голоцен) // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Т. 1, Владивосток, Дальнаука, 2006б, с. 382—398.

**Перепелов А.Б., Пузанков М.Ю., Иванов А.В., Философова Т.М., Демонтерова Е.И., Смирнова Е.В., Чувашова Л.А., Ясныгина Т.А.** Неогеновые базаниты Западной Камчатки: минералого-геохимические особенности и геодинамическая позиция // Петрология, 2007, т. 15, № 5, с. 524—546.

**Плечов П.Ю.** Множественность источников островодужных магм и динамика их взаимодействия: Автореф. дис.... д.г.-м.н. М., МГУ, 2008, 45 с.

**Пономарева В.В., Чурикова Т.Г., Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Певзнер М.М., Сулержицкий Л.Д.** Позднеплейстоцен-голоценовый вулканизм Камчатки // Изменение окружающей среды и климата. Природные и связанные с ними техногенные катастрофы. Т. 2. Новейший вулканизм Северной Евразии: закономерности развития, вулканическая опасность, связь с глубинными процессами и изменениями природной среды и климата. М., ИГЕМ РАН, 2008, с. 19—40.

**Савельев Д.П.** Внутриплитные щелочные базальты в меловом аккреционном комплексе Камчатского полуострова (Восточная Камчатка) // Вулканология и сейсмология, 2003, № 1, с. 14—20.

**Савельев Д.П.** Меловые внутриплитные вулканы Восточной Камчатки: геологическая позиция и влияние на островодужный вулканизм // Геология и разведка, 2004, № 2, с. 16—19.

**Санина И.А., Низкоус И.В., Гонтовая Л.И., Кисслинг Э.** Структура Камчатской зоны субдукции по результатам сейсмической томографии // ДАН, 2005, т. 404, № 5, с. 678—683.

**Селиверстов Н.И.** Геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Петропавловск-Камчатский, КамГУ, 2009, 191 с.

**Трубицын В.П., Шапиро М.Н., Рыков В.В.** Численное моделирование доплиоценовых мантийных течений в области сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг // Физика Земли, 1998, № 4, с. 10—19.

**Федорчук А.В., Пейве А.А., Гулько Н.И., Савичев А.Т.** Петрохимические типы базальтов офиолитовой ассоциации полуострова Камчатский мыс (Восточная Камчатка) // Геохимия, 1989, № 12, с. 1710—1717.

**Флеров Г.Б., Перепелов А.Б., Пузанков М.Ю., Колосков А.В., Философова Т.М., Щербаков Ю.Д.** Пространственно-временные соотношения вулканических ассоциаций разной щелочности Белоголовского массива (Срединный хребет Камчатки). Ч. I. Геология, минералогия и петрология вулканических пород // Вулканология и сейсмология, 2014, № 3, с. 3—23.

**Флеров Г.Б., Колосков А.В., Пузанков М.Ю., Перепелов А.Б., Щербаков Ю.Д., Дриль С.И., Палесский С.В.** Пространственно-временные соотношения вулканических ассоциаций разной щелочности Белоголовского массива (Срединный хребет Камчатки). Ч. II. Геохимия вулканических пород и источники магм // Вулканология и сейсмология, 2016, № 4, с. 1—24.

**Чурикова Т.Г., Гордейчик Б.Н., Волынец А.О., Вернер Г., Лейер П.** Геодинамические условия формирования Срединного Хребта Камчатки // Вулканизм и геодинамика. Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Петропавловск-Камчатский, ИВиС ДВО РАН, 2009, т. 1, с. 220—223.

**Шапиро М.Н., Ландер А.В.** Формирование современной зоны субдукции на Камчатке // Очерки геофизических исследований: к 75-летию Объединенного института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. М., ОИФЗ РАН, 2003, с. 338—344.

**A classification** of the igneous rocks and glossary of terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences on the systematics of igneous rocks / Ed. R.W. Le Maitre. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1989, 193 p.

**Churikova T., Dorendorf F., Wörner G.** Sources and fluids in the mantle wedge below Kamchatka, evidence from across-arc geochemical variation // *J. Petrol.*, 2001, v. 42, № 8, p. 1567—1593.

**Churikova T., Wörner G., Mironov N., Kronz A.** Volatile (S, Cl and F) and fluid mobile trace element compositions in melt inclusions: implications for variable fluid sources across the Kamchatka arc // *Contr. Miner. Petrol.*, 2007, v. 154, № 2, p. 217—239.

**Davaille A., Lees J.M.** Thermal modeling of subducted plates: tear and hotspot at the Kamchatka corner // *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2004, v. 266, p. 293—304.

**Gorbatov A., Kostoglodov V., Suarez G., Gordeev E.** Seismicity and structure of the Kamchatka subduction zone // *J. Geophys. Res.*, 1997, v. 102, № B8, p. 17883—17898.

**Gorbatov A., Widiyantoro S., Fukao Y., Gordeev E.** Signature of remnant slabs in the North Pacific from *P*-wave tomography // *Geophys. J. Int.*, 2000, v. 142, p. 27—36.

**Ivanov A.V., Perepelov A.B., Puzankov M.Y., Yasnygina T.A., Malykh Y.M., Rasskazov S.V.** Rift and arc-type basaltic volcanism of the Sredinny Ridge, Kamchatka: case study of the Payalpan volcano-tectonic structure // *Metallogeny of the Pacific northwest: tectonics, magmatism and metallogeny of active continental margins*, 2004, p. 345—349.

**Jiang G., Zhao D., Zhang G.** Seismic tomography of the Pacific slab edge under Kamchatka // *Tectonophysics*, 2009, v. 465, p. 190—203.

**Karandashev V.K., Turanov A.N., Orlova T.A., Lezhnev A.E., Nosenko S.V., Zolotareva N.I., Moskvitina I.R.** Use of the inductively coupled plasma mass spectrometry for element analysis of environmental objects // *Inorg. Mater.*, 2008, v. 44, p. 1491—1500.

**Park J., Levin V., Brandon M., Lees J., Peyton V., Gordeev E., Ozerov A.A.** Dangling slab, amplified arc volcanism, mantle flow and seismic anisotropy in the Kamchatka Plate Corner // *EOS*, 2001, v. 82, № 47, p. F1156.

**Sun S.S., McDonough W.F.** Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes // *Magmatism in the ocean basins* / Eds. A.D. Saunders, M.J. Norry. Geological Society Special Publications. London, Geological Society of London, 1989, p. 313—345.

**Tatsumi Y., Kogiso T., Nohda S.** Formation of a third volcanic chain in Kamchatka: generation of unusual subduction-related magmas // *Contr. Miner. Petrol.*, 1995, v. 120, p. 117—128.

**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 // *Contr. Miner. Petrol.*, 2010, v. 159, p. 659—687.

**Volynets O.N.** Geochemical types, petrology and genesis of Late Cenozoic volcanic rocks from the Kurile–Kamchatka island-arc system // *Int. Geol. Rev.*, 1994, v. 36, p. 373—405.

*Поступила в редакцию  
15 февраля 2018 г.*