

## ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ПЛИОЦЕН-ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ВУЛКАНИТОВ КАМЧАТКИ И ПРОБЛЕМА АСТЕНОСФЕРНОГО ДИАПИРИЗМА

© 2020 А.В. Колосков

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия,  
683006; e-mail: kolosav@kscnet.ru*

Проведено обобщения изотопно-геохимического материала для плиоцен-четвертичных вулканитов Камчатского региона на картографической основе. Отмечена пространственная сопряженность Sr-изотопных аномалий умеренной и повышенной радиогенности и их хорошее геохимическое подтверждение. Что дало возможность интерпретировать эти аномалии не только как отражение в составе вулканических пород материала мантийного плюма, но и его гибридного окружения, как следствие плюм-литосферной ремобилизации. Наличие разнонаправленных геохимических трендов позволило предложить концепцию скользящих граничных значений для составов индикаторных пород внутриплитного типа и адакитов, что существенно расширило возможности их диагностики. Изотопно-геохимическая неоднородность базальтоидов региона определяется в целом особенностями концентрации пород с внутриплитными и адакитовыми геохимическими характеристиками, что позволяет считать астеносферный диапиризм основным фактором петрогенезиса плиоцен-четвертичного вулканизма Камчатки.

*Ключевые слова: Камчатка, изотопия, геохимия, астеносферный диапиризм, плиоцен-четвертичные вулканиты.*

### ВВЕДЕНИЕ

Ранее уже была сделана попытка обобщения имевшегося в публикациях, вышедших до 2000 г., аналитического материала по позднекайнозойским вулканитам Камчатки на картографической основе (Колосков, 2001). В этом обобщении было показано, что при переходе от фронтальной к тыловой области Камчатской островодужной системы наряду с изменением К-ой щелочности пород и независимо от нее происходит возрастание содержания Ti, Sr, Nb, Ta, а также La/Yb отношений, но уменьшаются концентрации SiO<sub>2</sub>, Rb, U, Th и Pb. Выявлен «японский» тип Sr-изотопной зональности, когда эти изотопные отношения, невысокие во фронтальной зоне, сначала возрастают при движении к тыловой области, а затем снова уменьшаются. Установлено наличие Pb-изотопной зональности: повышение Pb-изотопных отношений во фронтальной зоне. Было высказано суждение о том, что степень накопления в породах петрогенных и большинства редких элементов (мало растворимых

в флюидной фазе) не связана с процессами, происходящими в сейсмофокальной зоне. С тех пор многое изменилось. Проведено детальное петролого-геохимическое изучение отдельных центров проявления плиоцен-четвертичного вулканизма Камчатки: Кекукнайского (Колосков и др., 2011, 2013), Белоголовского (Флеров и др., 2014, 2016), Валоваямского (Колосков и др., 2018), Толбачинского (Колосков и др., 2015, 2017; Churikova et al., 2015; Portnyagin et al., 2015), многих одиночных вулканов (Горбач, Портнягин, 2011; Давыдова и др., 2019; Иванов, 2008; Чашин, мартынов, 2011; Almeev et al., 2013; Churikova et al., 2013; Dorendorf et al., 2000), протяженных вулканических поясов Камчатки (Перепелов, 2014; Churikova et al., 2001; Portnyagin et al., 2005, 2007; Volynets et al., 2010). Получен новый качественный изотопно-геохимический материал. Во многих работах теперь упоминается не только обычный для Камчатки островодужный вулканизм, но и так называемый «внутриплитный» тип (Колосков и др., 2018; Перепелов, 2014; Churikova et al., 2001; Volynets et al., 2010).

Выявлены и большие масштабы проявления адakitового вулканизма (Колосков и др., 2018, 2019; Перепелов, 2014).

В пределах Камчатского региона было выделено несколько Sr-изотопных аномалий (Колосков и др., 2014) и показана их связь с астеносферным диапиризмом. Появились новые концепции, уточняющие наши представления в плане интерпретации особенностей геологического строения этой территории (Перепелов, 2014; Portnyagin et al., 2005, 2007; Yagodinski et al., 2001). Были получены вещественные доказательства правомочности интерпретации Центральной Камчатской депрессии (ЦКД) как рифтогенной структуры (Колосков и др., 2019). Все это позволяет вновь вернуться к проблеме изотопно-геохимической неоднородности проявлений позднекайнозойского вулканизма в пределах Камчатского региона и попытаться ответить на следующие вопросы: 1) характер и причины проявления поперечной и продольной геохимической зональности в этом регионе; 2) соотношение Sr-изотопных аномалий и геохимических характеристик вулканических пород; 3) геохимические «возмущения» в зоне пересечения континентальной окраины с Командорско-Алеутской островодужной системой; 4) роль плюм-астеносферного диапиризма в петрогенезе вулканических пород Камчатского региона.

## СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Первое крупное обобщение большого аналитического материала по позднекайнозойским вулканикам Камчатки (Геохимическая..., 1990) позволило объединить по генетическому признаку ряд геохимических серий в две группы: собственно островодужную и внутриплитную. Отличие между ними хорошо проявляется на многокомпонентных диаграммах, нормированных по хондритовому источнику: максимумы по Rb, Ba и Sr, но минимумы для Zr, Nb и Ta для первой группы и обратные соотношения для второй. Происхождение пород первой группы обычно связывается с субдукционной геодинамикой, а вторых — с рифтогенезом и динамикой мантийных плюмов. Хотя такая номенклатура теперь нередко используется во многих петрологических публикациях, но речь о характере глубинных источниках при этом не идет. Вопросы продольной и поперечной зональности в публикациях до 2000 г. подробно были рассмотрены в (Колосков, 2001), поэтому отметим более поздние новации. По данным (Churikova et al., 2001), в камчатских базальтах, нормированных к 6% MgO, при движении от вулканического фронта к тыловой области наблюдается возрастание крупноионных литофилов (Cs, Rb, K, Ba, Pb),

легких редкоземельных (La, Ce), а также высокозарядных элементов (Nb, Ta, Zr, Hf). Кроме того, с возрастанием глубины до сейсмофокальной зоны (100—400 км) происходит увеличение концентраций Sr, но уменьшение Yb и отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . Различие геохимических и изотопных характеристик для пород вулканов северной (Начикинский, Хайлюля) и южной (Толбачик, Ключевской, Шивелуч) частей Центральной Камчатской депрессии (ЦКД) было рассмотрено на основании своеобразного геохимического профиля, на котором значения отношений: Nb/Y, Ba/Nb, Dy/Yb в породах коррелировались с широтным положением объектов (Portnyagin et al., 2005). Возрастание Nb/Y, Dy/Yb и уменьшение Ba/Nb объяснялось различным составом мантийных источников — MORB-типа астеносферной мантии для пород вулканов Начикинский, Хайлюля и малоглубинной субдукционно модифицированной «островодужной» мантии для вулканов Толбачик, Ключевской, Шивелуч, а также разной их степенью плавления. Затем такой материал был представлен (Volynets et al., 2010) в сравнении с подобным профилем для северной части Камчатки (Ахтанг-Теклетулуп). Здесь нет такого эффекта изменения геохимических характеристик для позднеплейстоцен-голоценовых вулкаников, тогда как базальты плато позднемиоцен-плиоценового возраста отличаются от пород стратовулканов и моногенных центров низкими Nb/Y и Dy/Yb, но высоким Ba/Nb отношениями. Эти различия связываются с изменением геодинамики — переходом области Срединного хребта из статуса фронтальной зоны в режим тыловой части островной дуги. Позднее подобный профиль анализировался на большем аналитическом материале (Колосков и др., 2019). Было показано, что сравнивать нужно не «островодужный» тип пород Ключевской группы с базальтам «внутриплитного» типа вулканов Начикинский и Хайлюля, но рассматривать зональность всей ЦКД, где существенных различий по линии этого профиля не наблюдается, но предполагается существование единого плюм-астеносферного мантийного резервуара. Большой резонанс как в отечественной (Колосков и др., 2015, 2017), так и в зарубежной (Churikova et al., 2015; Portnyagin et al., 2015; Volynets et al., 2015) литературе вызвало произошедшее в 2013—2014 гг. извержение новых Толбачинских вулканов (ГТИ-50). Наметилось два конкурирующих направления при объяснении механизма перехода от андезибазальтов известково-щелочной серии первого к субщелочным базальтам второго цикла извержения. Большинство исследователей при этом отдают предпочтение процессам кристаллизационной дифференциации, хотя направленное изменения изотопных характери-

стик (возрастание Pb-изотопных и уменьшение Sr-изотопных отношений) свидетельствует, скорее, о смене глубинных источников (Колосков и др., 2015, 2017).

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С использованием обширного аналитического материала (Геохимическая..., 1990; Горбач, Портнягин, 2011; Давыдова и др., 2019; Иванов, 2008; Колосков и др., 2011, 2013, 2015, 2017, 2018; Перепелов, 2014; Флеров и др., 2014, 2016; Чашин, Мартынов, 2011; Almeev et al., 2013; Churikova et al., 2001, 2013, 2015; Dorendorf et al., 2000; Kepezhinskas et al., 1997; Portnyagin et al., 2005, 2007; Volynets, 1994; Volynets et al., 2010) был создан банк изотопно-геохимических данных (табл. 1). На этой основе был рассчитан средний Sr-изотопный состав вулканитов для 69 объектов. Затем были выбраны материалы по составу пород базальт-андезибазальтового состава (с ограничением до 57% SiO<sub>2</sub>) по 72 объектам (порядка 1000 анализов) из которых также был рассчитан средний петролого-геохимический состав вулканитов (табл. 2). Этой выборкой представлены Камчатские вулканиты преимущественно плиоцен-четвертичного возраста, хотя в некоторых случаях участвуют и верхнемиоценовые образования, о чем оговаривается дополнительно. Для того, чтобы сохранить преемственность материалов предыдущей публикации (Колосков, 2001) в таблицах и на рис. 1а использована та же нумерация объектов, что и в (Колосков, 2001).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

**Sr-изотопный состав позднекайнозойских вулканических пород Камчатки.** Первая картина площадного распространения плиоцен-четвертичных вулканитов Камчатки с различными Sr-изотопными характеристиками приведена в (Колосков, 2001). Здесь отмечалось возрастание отношений  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в р-не ЦКД, Срединного хребта Камчатки и уменьшение их в сторону тыловой области островодужной системы. С добавлением более поздних материалов такая картина была приведена в (Колосков и др., 2014). Здесь уже было выделено несколько локальных аномалий и дана их геодинамическая интерпретация. С учетом имеющихся в настоящее время данных характер пространственного расположения Sr-изотопных составов вулканитов выглядит следующим образом (рис. 1б). Крупная аномалия с диапазоном изменения изотопных характеристик  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \leq 0.7030$  связана с проявлениями вулканизма в структуре Берингоморского региона.

Она охватывает СВ часть континентальной окраины Камчатки и Корякского нагорья. Сходные изотопные составы отмечаются в щелочных оливиновых базальтах и базанитах о. Нунивак, в базальтах островов Прибылова и хребта Бауэрса (Wanke et al., 2012; Winer et al., 2004), в магнезиальных андезитах «Адак-типа», обнаруженных при драгировании к СЗ от Командорских островов в 38 рейсе НИС Вулканолог (Yogodzinski et al., 1995), а также в более ранней находке того же типа пород в этом районе (Scholl et al., 1976). По (Колосков и др., 2014) эта аномалия имеет плюмогенную природу, что подтверждается также данными из работ (Апт и др., 1998; Грачев, 2003; Жао, 2010). Крупная аномалия с изотопными характеристиками  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.7033-0.7034$  охватывает всю центральную часть Камчатки (рис. 1б). Она соответствует изотопным составам проявлений внутриплитного вулканизма на вулканах Ичинский (40), Бакенинг (23), Б. Паялпан (84), охватывает также верхнемиоцен-плиоценовые проявления вулканизма ЦКД, где был выявлен внутриплитный компонент: в магнезиальных андезитах и адакитах NEB-типа в междуречье Лев. и Прав. Камчатка (70), в трахиандезибазальтах вулкана Николки (37) и андезибазальтах р. Кунч (71). Сюда же попадают точки усредненных изотопных составов пород обоих Толбачинских (68) и Ушковского вулкана (49), где встречаются породы с внутриплитными геохимическими характеристиками, а также — субщелочных базальтов «неостроводужного типа» по (Волынец, 1990) южного прорыва Большого трещинного Толбачинского извержения (БТТИ) (43). В этом аномальном поле располагается и несколько вулканических центров, в составе пород которых внутриплитные признаки не проявлены — вулканические центры и вулканы: Уксичан (42), Хангар (29), Ахтанг (38), Узон (30), Кизимен (36), Гамчен (34), Шмидта (33). Сочетание проявлений вулканизма внутриплитного и обычного островодужного типа в одной островодужной системе и даже в одних и тех же центрах явление достаточно обычное (Волынец и др., 1995, 1997; Колосков, 2006; Kepezhinskas et al., 1996; Petrone, 2002). При этом, как правило, первый тип прямо или косвенно связывается с эволюцией мантийных плюмов (Волынец и др., 1997; Колосков, 2006), а второй — с процессами субдукционной геодинамики (Волынец и др., 1997; Petrone et al., 2002), поскольку, исходя из изотопных характеристик, эти типы имеют различные мантийные источники. Но, если изотопный состав этих различающихся по геохимическим признакам проявлений вулканизма близок, а «внутриплитные» геохимические характеристики, могли быть утеряны в ходе малоуглубленной эволюции магматических

Таблица 1. Средние Sr-изотопные составы пород, использованные при построении рис. 1(б).

Table 1. Average Sr-isotope composition of the rocks used for Fig. 1(b)

№	№ (рис. 1а)	Объект	$^{87/86}\text{Sr}$	(n)	Состав пород	Типизация	Возраст	Расположение
1	2	Дикий Гребень	0.70322	3	базальты, андезибазальты	од	$N_2-Q$	Южная Камчатка
2	5	Ксудач	0.70330	5	базальты	од	Q	Южная Камчатка
3	8	Мутновский	0.703306	15	базальты, андезибазальты	од	$N_2-Q$	Южная Камчатка
4	9	Горелый	0.703231	12	базальты, андезибазальты	од	$N_2-Q$	Южная Камчатка
5	15	Вилючинский	0.703323	1	базальты	од	Q	Южная Камчатка
6	16	Авачинский	0.703333	83	базальты	од	Q	ВКВП
7	17	Корякский	0.703378	11	базальты	од	Q	ВКВП
8	18	Ааг	0.703401	1	андезибазальты	од	Q	ВКВП
9	19	Арик	0.703485	1	андезиты	од	Q	ВКВП
10	20	Купол	0.70355	1	дациты	од	Q	ВКВП
11	22	Бакенинг (плато)	0.703326	3	базальты	в/п	$N_2-Q$	зона поперечных
12	23	Бакенинг (вулкан)	0.703239	11	базальты, андезибазальты	од	Q	дислокаций
13	24	Озерная Камчатка	0.703409	3	андезибаз. Mg андезиты	од, в/п адакиты	$N_2-N_1$	ЦКД, рифтоген
14	25	р.Степанова	0.703999	1	базальты	в/п	$N_1$	ВКВП
15	26	Карымский	0.703189	2	андезибазальты, андезиты	од	Q	ВКВП
16	27	М.Семячик	0.703198	3	базальты, андезибазальты	од	Q	ВКВП
17	29	Хангар	0.7034	2	андезибазальты, андезиты	од	Q	ЦКВП
18	30	Узон	0.703394	6	андезиты	од	Q	ВКВП
19	31	Крашенинникова	0.7035	2	базальты	од	Q	ВКВП
20	32	Кроноцкий	0.70314	3	базальты	од	Q	ВКВП
21	33	Шмидта	0.703364	2	базальты	од	Q	ВКВП
22	34	Гамчен	0.703374	2	базальты, андезибазальты	од	Q	ВКВП
23	35	Комарова	0.703491	3	базальты, андезибазальты	од	Q	ВКВП
24	36	Кизимен	0.70336	28	базальты, андезибазальты	од	Q	ВКВП
25	37	Николка	0.70349	6	андезибазальты	од, в/п	$N_2-Q$	ЦКД, рифтоген
26	38	Ахтанг	0.70332	2	базальты, андезибазальты	од	$N_2-Q$	ЦКВП
27	39	Ичинский вулкан	0.703298	26	андезибазальты-дациты	од	$N_2-Q$	ЦКВП
28	40	Ичинский (покровы)	0.703305	22	базальты	в/п адакиты	$N_2$	ЦКВП
29	41	п. Эссо	0.703349	2	базальты, андезибазальты	од	$N_2$	ЦКВП

Таблица 1. Продолжение  
Table 1. Continued

№	№ (рис. 1а)	Объект	87/86 Sr	(n)	Состав пород	Типизация	Возраст	Расположение
30	42	Уксичан	0.7033	27	андезибазальты-дациты	Од адакиты	N <sub>2</sub> -Q	ЦКВП
1	43	БТТИ (ож. прорыв)	0.703352	19	базальты	од. в/п	Q	Ключ. группа
32	45	Шиш	0.703315	2	базальты, андезибазальты	од	N <sub>2</sub> -Q	ЦКВП
33	46	Безымянный	0.70353	12	адезибазальты, андезиты	од	Q	Ключ. группа
34	47	Камень	0.703488	3	базальты, андезибазальты	од	Q	Ключ. группа
35	48	Ключевской	0.703566	38	андезибазальты	од	Q	Ключ. группа
36	49	Ушковский	0.7034	8	базальты, андезибазальты	од	Q	Ключ. группа
37	50	гора Крюки	0.70318	5	базальты, андезибазальты	од	N <sub>2</sub>	ЦКВП
38	51	Заречный	0.70346	4	базальты	од	Q	зона сочленения
39	52	Харчинский	0.70355	20	базальты	од	Q	зона сочленения
40	53	Шивелуч	0.70342	45	базальты, андезибазальты	од	Q	зона сочленения
41	55	Орловский	0.70419	1	базальты	од	Q	ЦКВП
42	56	г.г. Столбовая, Половинная	0.703	2	базальты	од	N <sub>2</sub>	ЦКВП
43	57	Теклетунуп	0.703557	3	базальты, андезибазальты	в/п адакиты	N <sub>2</sub>	ЦКВП
44	59	Начикинский	0.70303	10	базальты, андезибазальты	в/п	Q	ЦКД, рифтоген
45	60	Тымлат	0.70295	3	базальты, андезибазальты	Од адакиты	Q	ЦКВП
46	62	Дол геологов,	0.70324	4	базальты	в/п	Q	тыловая область
47	63	Белоголовский	0.70348	13	базальты, андезибазальты	од. в/п	Q	тыловая область
48	64	Козельский	0.703351	7	базальты	од	Q	ВКВП
49	67	Кихчик	0.70419	1	адезибазальты, андезиты	Од адакиты	N <sub>1</sub>	ЦКВП
50	68	Толбачик	0.70337	11	адезибазальты, андезиты	од. в/п	Q	ЦКД, рифтоген
51	69	Кекукнайский	0.703254	20	базальты-андезиты	од	Q	тыловая область
52	70	Озерная адакиты	0.703341	22	андезибазальты, Mg-андезиты	од. в/п адакиты	N <sub>2</sub> -N <sub>1</sub>	ЦКД, рифтоген
53	72	Шишейский комплекс	0.703479	11	базальты, андезибазальты	Од адакиты	N <sub>2</sub>	ЦКВП
54	73	Седанка	0.70293	5	базальты, андезибазальты	од. в/п	Q	ЦКВП
55	74	Валоваям	0.703147	2	базальты, андезибазальты	од. в/п адакиты	N <sub>1</sub>	ЦКВП
56	76	Хайлюля	0.70293	4	базальты, андезибазальты	в/п	Q	ЦКВП
57	78	Озерная	0.703199	5	базальты, андезибазальты	од. в/п	Q	ЦКВП

Таблица 1. Окончание  
Table 1. Continued

№	№ (рис. 1а)	Объект	$^{87}/^{86}\text{Sr}$	(n)	Состав пород	Типизация	Возраст	Расположение
58	81	Алней-Чашаконжа	0.703197	2	базальты, андезибазальты	адакиты	Q	ЦКВП
59	82	Хухч	0.703053	1	базаниты	в/п	N <sub>2</sub>	тыловая область
60	83	Эмгучань	0.703425	1	базаниты, гавайиты	в/п	N <sub>2</sub>	тыловая область
61	84	Б. Паялпан	0.703378	9	базальты, андезибазальты	од. в/п	Q	тыловая область
62	86	Жупановские востряки	0.702876	8	базальты, андезибазальты	од	Q	ВКВП
63	87	Курильское озеро	0.703314	2	базальты, андезибазальты	од	Q	ВКВП
64	88	Бол.Семячик	0.703444	2	базальты, андезибазальты	од	Q	ВКВП

Примечание. (n) — к-во проб для расчета среднего; од — островодужный тип; в/п — внутриплитный тип; ВКВП — Восточно-Камчатский вулканический пояс; ЦКВП — Центрально-Камчатский вулканический пояс; ЦКД — Центрально-Камчатская депрессия; «зона сочленения» с Алеутско-Командорской островодужной системой. Использованы материалы из: (Вольнен и др., 1995, 1997; Давыдова и др., 2019; Колосков и др., 2017а; Перепелов, 2014; Churikova et al., 2001; Dorendorf et al., 2000; Kepezhinskas et al., 1997; Portnyagin et al., 2007; Volynets et al., 2010).

Note. (n) — Number of samples; од — island type; в/п — intraplate type; the Eastern-Kamchatka volcanic belt (ЕКVB), the Central-Kamchatka volcanic belt (СКVB), the Central-Kamchatka depression (СКД), Aleution-Kamchatka junction. Published data are from refs Churikova et al., 2001; Davydova et al., 2019; Dorendorf et al., 2000; Kepezhinskas et al., 1997; Koloskov et al., 2017a ; Perpelov, 2014; Portnyagin et al., 2007; Volynets et al., 1995, 1997; Volynets et al., 2010.

расплавов, то весь комплекс составов можно рассматривать в рамках одной модели апвеллинга астеносферного диапира (Колосков и др., 2014). Как показано на рис. 1б, эта аномальная область (II) обрамляется своеобразным «ожерельем» вулканических центров (участки III) с повышенной радиогенностью Sr ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} > 0.7034$ ). В СЗ части — это щелочные оливиновые базальты и андезибазальты Белоголовского вулкана (63) и гавайиты Эмгучань (83), на юге — андезиты Кихчика (67), вулканов Купол (20) и Арик (19), позднемиоценовые субщелочные и щелочные базальты р-на р. Степанова (25). В ЮВ части — андезибазальты и андезиты вулканов Б. Семячик (88), Крашенинникова (31) и Комарова (35). В СВ части практически все вулканы известково-щелочной серии Ключевской группы: Ключевской (48), Камень (47), Безымянный (46) и расположенные севернее вулканы: Шивелуч (53), Харчинский (52) и Заречный (51) отличаются повышенной радиогенностью Sr. Примечательно, что здесь в составе одних и тех же вулканических центрах породы разных этапов проявления вулканизма характеризуются контрастной изотопией Sr. В Толбачинском центре - усредненные значения для вулканов Острый и Плоский Толбачики (68):  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.70337$ , БТТИ (43) —  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.703352$ , а для последнего ареального извержения (ТТИ-50) —  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7035$ . Для Ушковского вулкана (49) в целом —  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7034$ , а для плато-базальтов в его основании (так называемый «пьедестал», по (Churikova, 2015)) —  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.703451$ . Более того, такой же внутриплитный геохимический тип с изотопией:  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.703438$  выявлен в субщелочных базальтах фундамента Ключевской группы, который был опробован в покровах в районах поселков Ключи, Козыревск, подножия Безымянного вулкана (Churikova et al., 2013), выявлен в находках ксенолитов этого вулкана по материалам (Давыдова и др., 2018), а затем подробно изучен в каньонах р. Студеная (Колосков и др., 2017). Получается, что проявления вулканизма, наиболее приближенные к аномальной зоне II, характеризуются щелочно-базальтовым составом и наличием внутриплитных геохимических характеристик. Здесь прямо сказывается участие плюмового источника. Составы удаленных объектов отличаются большей кремнеземистостью, меньшей щелочностью и отсутствием внутриплитных характеристик или их возможной потерей на поздних стадиях эволюции магматической системы (вулкан Безымянный (46) и его фундамент).

Ранее модель образования магнезиальных андезибазальтов-адакитов вулкана Шивелуч связывалась с внедрением горячего астеносферного материала в краевой части поддвигаемой литосферной плиты (Yogodzinski et al., 2001).

ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ

**Таблица 2.** Средний петрогенный (мас.%) и редкоэлементный (г/т) состав по объектам проявления вулканизма, использованный в статье.

**Table 2.** Average silicate (wt%) and rare element (ppm) composition of the rocks used for the article.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
№ таб.	2	3	5	6	8	9	11	13	14	16	17	18	22	23
<b>SiO<sub>2</sub></b>	53.61	48.32	52.67	49.81	50.81	53.25	49.2	50.54	51.34	54.17	53.37	52.26	50.25	51.77
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.80	0.85	1.02	1.40	1.06	1.17	1.29	1.17	1.08	0.90	0.97	0.91	1.52	0.98
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	17.26	19.55	17.32	18.19	18.17	16.41	18.51	18.19	17.42	17.61	17.45	16.09	16.52	17.52
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	5.40	3.06	5.39	5.08	10.46	9.35	4.59	4.01	4.38	8.02	7.02	3.27	4.28	2.70
<b>FeO</b>	3.19	7.56	6.60	6.11	3.25	0.84	5.21	5.58	4.74	5.52	6.12	5.12	5.70	6.13
<b>CaO</b>	9.34	11.26	9.20	9.81	10.02	8.17	8.13	7.51	8.85	8.82	8.69	9.14	8.12	8.80
<b>MgO</b>	5.71	7.01	4.88	3.94	4.99	5.21	4.35	3.22	6.98	5.73	6.27	8.63	7.18	6.80
<b>MnO</b>	0.15	0.16	0.21	0.20	0.19	0.17	0.18	0.21	0.14	0.16	0.17	0.17	0.17	0.16
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0.87	0.43	0.49	0.68	0.45	1.48	1.61	1.36	1.11	0.64	0.79	0.84	1.39	0.92
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	2.69	1.90	2.71	2.81	2.88	3.23	3.13	2.77	3.09	3.24	2.92	2.84	3.61	3.36
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0.16	0.12	0.17	0.13	0.19	0.40	0.23	0.44	0.29	0.16	0.19	0.18	0.42	0.26
<b>Сумма</b>	99.17	100.22	99.00	98.17	99.52	99.68	99.73	99.93	99.8	99.99	99.92	99.52	99.56	99.40
<b>LI</b>	0.00		0.00		6.11	7.94							7.54	5.59
<b>Sc</b>	35	38	40	36	36	30	25	25	29	29	31	40	26	26
<b>V</b>	250	350	307	250	328	259	250	241	249	199	234	143	233	221
<b>Cr</b>	120	70	121	84	54	114	7	96	241	227	161	418	265	226
<b>Ni</b>	41	45	28	20	22	49	5	5	103	88	61	101	135	91
<b>Rb</b>	13	2	9	7	5	23	15	23	13	12	12	20	18	18
<b>Sr</b>	355	258	338	334	431	451	571	571	469	343	375	485	631	540
<b>Y</b>	19		25	20	21	26			22	20	25		25	20
<b>Zr</b>	69		41	66	60	166		121	130	83	94		151	94
<b>Nb</b>	2.70		2.00	0.50	1.95	5.06		2.4	3	1.94	2.54		9.40	3.54
<b>Cs</b>	0.73	0.13	0.40	0.68	0.32	0.88	0.56	0.55	0.6	0.55	0.25		0.44	0.39
<b>Ba</b>	238	102	193	193	193	468	372	372	366	312	298	423	305	315
<b>La</b>	6.43	1.80	4.38	5.23	5.20	14.90	20.7	20.7	8.2	7.13	6.02	4.70	14.16	7.46
<b>Ce</b>	15.80	4.90	10.43	13.63	13.76	35.84	26	33	22.2	15.61	15.32	10.80	34.72	23.85
<b>Pr</b>	0.00		1.90		2.32	4.14							5.17	3.64
<b>Nd</b>	10.15	3.80	9.50	9.90	11.63	23.10	16	16.3	13	10.71	11.01	9.80	22.95	16.75
<b>Sm</b>	2.62	1.42	3.29	3.56	3.34	5.47	4.67	4.9	3.3	6.27	3.09	3.02	5.58	4.24
<b>Eu</b>	1.01	0.50	1.14	1.41	1.15	1.54	1.28	1.55	1.1	1.08	1.01	0.95	1.72	1.28
<b>Gd</b>	0.00	2.10	4.20	4.67	3.84	5.66	5	3.8	3.5	3.93	3.40	3.50	4.78	3.67
<b>Tb</b>	0.52	0.37	0.79	0.83	0.65	0.81	0.74	0.64	0.61	0.58	0.56	0.53	0.73	0.59
<b>Dy</b>	0.00		4.20		4.07	4.94				3.70	3.30		3.98	3.44
<b>Ho</b>	0.00		0.92		0.85	0.90							0.76	0.68
<b>Er</b>	0.00		2.60		2.37	2.51							2.11	1.97
<b>Tm</b>	0.00	0.24	0.36	0.49	0.37	0.42	0.39	0.38	0.35	0.43	0.34		0.31	0.29
<b>Yb</b>	1.93	1.65	2.78	2.86	2.47	3.16	2.49	2.1	2.1	9.44	2.22	2.25	1.94	1.88
<b>Lu</b>	0.29	0.22	0.44	0.44	0.38	0.48	0.36	0.4	0.32	0.38	0.33	0.40	0.29	0.28
<b>Hf</b>	1.78	0.70	1.95	2.25	1.81	4.07	2.3	3.3	2.3	16.39	2.36	2.2	3.08	2.38
<b>Ta</b>	0.16	0.026	0.07	0.16	0.08	0.27	0.27	0.26	0.17	0.12	0.10		0.67	0.25
<b>Pb</b>	5.90		0.00		3.93	7.41					3.70	0.08	2.48	2.65
<b>Th</b>	1.05	0.10	0.49	0.93	0.45	2.00	1.4	1.8	1	0.78	1.36	1.10	1.30	1.18
<b>U</b>	0.37	0.07	0.26	0.59	0.18	0.81	0.72	0.95	0.36	0.49	0.54	0.56	0.62	0.54
<b>(n)</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>50</b>	<b>17</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>22</b>

## КОЛОСКОВ

Таблица 2. Продолжение

Table 2. Continued

№	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
№ таб.	24	26	27	29	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
SiO <sub>2</sub>	53.37	52.61	49.14	51.65	51.04	49.5	50.44	53.72	53.66	54.02	54.14	53.00	52.92	50.42
TiO <sub>2</sub>	1.10	0.88	0.75	1.25	0.95	0.89	0.87	0.83	0.83	1.03	1.20	0.94	0.94	1.68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.31	18.72	17.70	17.62	18.51	19.03	17.17	18.30	16.89	17.37	16.92	16.76	17.35	16.95
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.98	3.54	6.68	2.38	3.57	4.24	3.59	2.96	2.65	4.54	4.22	2.51	2.38	5.21
FeO	4.80	5.22	6.98	6.83	5.92	6.53	6.02	5.96	6.30	4.57	5.08	5.60	5.58	4.87
CaO	8.07	8.30	11.19	8.03	11.04	9.95	10.61	8.89	9.05	8.23	7.35	8.47	7.99	8.09
MgO	5.28	4.79	6.95	6.05	5.41	6.5	7.47	4.41	6.19	4.61	3.50	6.39	4.65	6.08
MnO	0.13	0.16	0.19	0.19	0.22	0.17	0.18	0.18	0.17	0.18	0.17	0.15	0.14	0.17
K <sub>2</sub> O	1.70	1.06	0.55	1.18	0.89	0.28	0.52	0.64	0.77	1.03	2.39	1.35	1.43	1.72
Na <sub>2</sub> O	3.63	3.31	2.34	3.72	2.70	2.4	2.35	2.95	2.68	3.15	3.60	3.11	3.50	3.90
K <sub>2</sub> O	0.32	0.17	0.17	0.26	0.13	0.1	0.11	0.13	0.12	0.19	0.42	0.29	0.33	0.58
Сумма	99.31	98.76	99.13	99.01	100.38	99.59	99.33	98.96	99.32	98.91	98.76	98.57	96.81	99.15
Li	9.83						7.85	0.59	6.37	4.38	14.43	7.27	10.86	0.40
Sc	24	31	39	23	38	36	39	29	32	26	26	25	22	23
V	229	205	284	165	220		269	237	260	243	260	218	192	213
Cr	134	54	110	8	70		226	34	167	61	92	200	82	123
Ni	54	25	42	74	27		86	14	53	20	18	84	48	76
Rb	32	14	8	16	11	6	12	13	16	19	52	22	23	24
Sr	643	481	388	609	292	268	260	278	238	338	376	570	582	678
Y	20	0	15				20	22	23	23	29	21	19	24
Zr	134	0	54				67	69	84	102	187	110	137	188
Nb	5.72	0.00	4.05				1.50	2.15	2.06	3.85	4.99	5.27	6.01	19.58
Cs	0.62	1.50	0.57	0.51	1.20	0.2	0.61	0.12	0.72	0.27	1.41	0.40	0.42	0.40
Ba	452	343	171	315	231	99	267	204	236	366	570	470	513	510
La	13.11	7.80	4.28	12.70	4.40	1.85	4.10	1.32	4.17	4.13	19.55	10.72	14.36	22.86
Ce	29.01	18.67	10.28	25.00	10.50	4.5	10.61	10.63	10.47	15.81	87.62	28.55	33.14	51.13
Pr	3.53	0.00	2.20				1.75	0.50	1.65	1.55	11.67	3.73	4.87	6.31
Nd	15.78	13.03	8.53	18.40	8.30	4.1	9.13	2.92	9.73	7.46	54.05	16.19	20.30	29.80
Sm	3.89	3.87	2.32	4.41	2.23	1.43	2.77	0.91	2.67	2.07	12.50	3.80	4.69	6.62
Eu	1.19	1.23	0.83	1.41	0.71	0.75	0.89	0.31	0.78	0.67	3.29	1.15	1.37	2.00
Gd	3.80	4.47	2.90	4.70	2.20	2	2.86	1.04	2.91	1.97	12.08	3.37	4.25	5.36
Tb	0.63	0.75	0.49	0.68	0.40	0.32	0.53	0.18	0.45	0.28	1.80	0.49	0.63	0.84
Dy	3.40	0.00	3.50				3.10	0.89	2.95	2.05	9.19	2.98	3.75	4.58
Ho	0.69	0.00	0.80				0.65	0.20	0.64	0.44	1.87	0.63	0.74	0.88
Er	1.97	0.00	2.10				2.06	0.59	2.01	1.28	5.35	1.83	2.09	2.38
Tm	0.29	0.35	0.27	0.38	0.24	0.27	0.34	0.11	0.31	0.16	0.77	0.26	0.31	0.34
Yb	1.92	2.32	1.86	2.46	1.64	1.72	2.32	1.97	1.88	1.84	5.15	1.64	1.98	2.30
Lu	0.27	0.33	0.28	0.34	0.24	0.25	0.30	0.31	0.30	0.28	0.74	0.27	0.30	0.35
Hf	2.77	2.77	1.47	3.00	1.70	0.8	1.71	1.64	2.00	2.20	8.31	2.70	3.39	4.05
Ta	0.34	0.14	0.15	0.49	0.08	0.04	0.08	0.06	0.08	0.18	0.59	0.24	0.37	0.94
Pb	4.59						1.98	1.69	2.04	2.42	18.62	4.13	5.27	3.31
Th	1.37	0.84	0.55	1.23	0.89	0.15	0.53	0.50	0.75	1.29	4.45	0.99	1.65	2.31
U	0.70	0.46	0.39	0.77	0.65	0.08	0.37	0.24	0.35	0.72	2.88	0.49	0.70	0.76
(n)	13	3	4	2	1	2	3	17	5	12	22	3	12	10

ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ

Таблица 2. Продолжение

Table 2. Continued

№	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	42	43
№ таб.	41	42	43	44	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
SiO <sub>2</sub>	52.44	51.65	50.85	54.36	54.98	53.57	53.34	51.92	52.00	53.32	53.5	54.09	49.73	51.32
TiO <sub>2</sub>	0.88	0.93	1.78	0.85	0.82	1.01	0.98	1.32	1.43	0.83	0.88	0.74	1.30	0.65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.88	16.94	16.62	16.68	17.29	17.40	15.87	16.21	15.50	13.12	14.19	15.18	16.94	15.37
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.61	2.82	4.05	3.07	7.58	6.47	5.20	4.36		2.36	5.42	4.74	3.29	5.01
FeO	5.75	6.56	6.62	5.68	0.10	8.39	5.96	6.64	12.17	4.30	3.45	3.32	6.77	4.26
CaO	8.96	8.44	8.46	8.35	7.96	8.96	9.24	8.90	8.99	8.42	8.74	8.35	9.63	11.48
MgO	5.88	4.88	4.98	5.40	4.44	5.90	7.53	5.88	4.61	10.31	10.19	7.76	5.98	7.82
MnO	0.16	0.15	0.17	0.17	0.16	0.17	0.16	0.17	0.22	0.16	0.16	0.15	0.24	0.16
K <sub>2</sub> O	1.05	1.94	2.18	1.29	1.06	0.90	0.89	1.53	0.97	1.39	1.45	1.42	2.05	0.67
Na <sub>2</sub> O	3.07	3.62	3.52	3.26	3.19	3.23	3.01	3.15	2.98	2.91	2.93	3.30	2.81	2.16
K <sub>2</sub> O	0.23	0.37	0.42	0.25	0.18	0.20	0.18	0.40	0.27	0.24	0.25	0.29	0.33	0.09
<b>Сумма</b>	<b>98.89</b>	<b>98.30</b>	<b>99.65</b>	<b>99.36</b>	<b>97.75</b>	<b>99.96</b>	<b>99.98</b>	<b>99.16</b>	<b>99.14</b>	<b>97.34</b>	<b>101.2</b>	<b>99.33</b>	<b>99.07</b>	<b>98.98</b>
LI	6.35	0.00	15.70	14.39	2.38	12.94	9.78	11.61	9.70	0.80	3.06	0.00		6.06
Sc	27	3		29	24	30	32	29	42	22	29	28	18	50
V	238	35	170	254	202	254	259	302	483	107	213	154	300	364
Cr	155	23	120	35	42	115	273	220	14	728	572	394	173	271
Ni	66	10	41	31	22	38	86	61	12	137	143	89	36	41
Rb	19	26	47	22	18	15	13	35	18	15	11	18	36	5
Sr	628	649	334	503	322	328	321	380	385	532	448	489	596	652
Y	18	20	32	0	20	21	19	27	30	11	14	17	31	13
Zr	76	111	187	0	92	95	84	154	107	50	81	59	225	41
Nb	2.43	3.19	5	0.00	2.04	2.09	1.61	3.77	1.60	1.16	1.37	1.70	4.00	0.62
Cs	0.42	0.43		2.02	0.40	0.42	0.44	1.07	0.49	0.32	0.26	0.59	0.48	0.11
Ba	452	619	515	878	341	313	317	464	409	627	364	402	617	208
La	7.38	11.69	26	0.00	4.10	7.85	5.97	13.46	9.09	6.59	7.98	7.42	11.40	4.97
Ce	20.26	27.65	43	0.00	18.09	16.82	15.14	33.77	23.78	16.97	19.20	18.80	23.50	12.59
Pr	2.72	3.38	7	0.00	0.69	2.62	2.40	4.87	3.61	0.26	1.05	0.77		1.95
Nd	12.27	18.43	27	0.00	3.60	13.07	11.42	22.86	17.35	11.07	11.76	11.24	16.80	8.66
Sm	3.05	4.42	8	0.00	0.96	3.52	3.16	5.54	4.84	2.45	3.10	3.03	4.56	2.37
Eu	0.97	1.32	2	0.00	0.31	1.16	1.02	1.56	1.45	0.70	0.96	0.96	1.59	0.83
Gd	2.66	4.17	8	0.00	1.04	4.02	3.35	5.45	5.31	0.34	1.90	1.68	5.40	2.58
Tb	0.41	0.58		0.00	0.18	0.65	0.56	0.84	0.87	0.33	0.44	0.49	0.94	0.43
Dy	2.38	3.31	6.84	0.00	1.00	4.21	3.49	4.96	5.69	0.34	1.30	1.05		2.53
Ho	0.49	0.68	1.41	0.00	0.21	0.85	0.71	1.00	1.16	0.07	0.23	0.00		0.53
Er	1.45	1.86		0.00	0.57	2.56	2.00	2.85	3.40	0.20	0.66	0.00		1.57
Tm	0.21	0.27		0.00	0.09	0.35	0.31	0.41	0.48	0.03	0.12	0.05	0.49	0.22
Yb	1.35	2.04	3.26	0.00	2.07	2.39	1.99	2.75	3.18	1.00	1.37	1.51	3.21	1.47
Lu	0.20	0.30	0.48	0.00	0.22	0.35	0.30	0.42	0.50	0.15	0.20	0.23	0.40	0.21
Hf	2.21	2.87	4.62	1.29	2.41	2.78	2.18	4.12	2.98	1.40	1.86	2.14	3.80	1.19
Ta	0.13	0.20	1.00	0.00	0.10	0.12	0.13	0.26	0.10	0.07	0.07	0.12	0.28	0.04
Pb	3.89	6.75	3.50	4.42	3.36	2.82	2.85	5.92	7.10	0.32	1.37	0.00		3.10
Th	0.62	1.02			1.15	0.65	0.59	1.82	1.49	0.56	0.86	0.91	1.25	0.63
U	0.38	0.67			0.37	0.44	0.39	0.92	0.78	0.35	7.01	0.46	1.10	0.34
(n)	<b>4</b>	<b>45</b>	<b>27</b>	<b>18</b>	<b>48</b>	<b>38</b>	<b>35</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>32</b>	<b>11</b>	<b>2</b>	<b>1</b>

Таблица 2. Продолжение

Table 2. Continued

№	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58
№ таб.	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	67	68	69	70	71
SiO <sub>2</sub>	49.62	52.57	52.13	52.94	55.92	51.90	49.90	51.86	54.76	53.40	55.18	51.92	52.62	55.14	54.29
TiO <sub>2</sub>	0.73	0.78	1.04	1.71	0.62	0.84	1.54	1.75	0.93	0.84	0.97	1.49	0.96	1.19	1.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.37	16.70	18.52	17.29	17.08	19.54	17.90	17.33	20.03	15.90	17.36	15.96	18.05	16.18	16.61
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.94	4.32	3.94	1.32	6.59	2.01	4.52	5.24	4.11	8.53	3.77	4.21	3.91	5.25	4.00
FeO	3.00	3.86	4.20	8.21		7.07	5.80	4.78	4.66		4.50	6.54	4.80	2.77	4.61
CaO	11.29	7.94	7.42	6.77	7.15	10.22	8.91	7.49	8.78	8.95	7.13	8.83	8.45	7.22	8.02
MgO	7.44	5.48	4.40	5.17	5.21	4.23	5.78	4.69	3.09	8.02	3.10	5.91	4.40	5.38	5.28
MnO	0.14	0.16	0.14	0.13	0.14	0.22	0.16	0.16	0.15	0.14	0.14	0.17	0.16	0.11	0.13
K <sub>2</sub> O	0.75	3.21	2.98	1.57	0.64	0.48	1.49	1.82	0.57	0.95	2.40	1.69	2.01	1.36	1.80
Na <sub>2</sub> O	2.19	3.30	3.65	4.30	3.82	2.58	3.74	4.11	3.51	3.25	3.19	3.20	3.23	4.03	3.58
K <sub>2</sub> O	0.12	0.51	0.54	0.41	0.13	0.23	0.41	0.62	0.17	0.17	0.38	0.44	0.39	0.37	0.29
Сумма	97.59	98.21	98.96	98.69	97.30	99.32	99.58	99.84	99.58	100.15	98.13	99.43	98.98	99.00	99.66
Li	5.82			16.36			8.00	11.07		6.17	9.84	13.38	0.51	0.00	9.41
Sc	49	42	23	23	18	35	24	22	22	29	21	29	2	20	25
V	340	235	260	211	104	220	237	217	194	251	222	317	21	156	263
Cr	163	453	87	104	151	31	114	67	65	411	24	188	3	206	156
Ni	34	84	90	74	70	13	74	39	5	147	7	64	2	125	51
Rb	7	51	38	18	7	5	25	29	8	15	58	47	42	20	32
Sr	733	905	728	522	429	280	648	714	405	407	674	324	663	672	620
Y	14	21	21	24	11		21	29	23	14	23	32	20	16	18
Zr	59	164	158	185	72		156	229	82	59	158	189	107	134	122
Nb	1.02	3.14	5.46	18.55	3.44		14.59	21.80	1.83	4.04	5.78	4.79	5.26	9.31	4.24
Cs	0.24		0.99	0.96		0.25	0.45	0.47	0.27	0.23	1.09	1.46	0.62	0.29	0.69
Ba	232	1650	1351	288	242	107	388	630	239	243	866	455	574	416	437
La	6.52	21.81	18.04	16.50	6.16	2.70	17.67	27.18	6.12	6.02	23.83	15.08	13.10	18.45	9.58
Ce	16.32	44.64	42.24	34.24	13.30	6.90	40.28	60.04	14.77	15.07	57.62	39.31	30.92	40.51	22.88
Pr	2.44			4.70	1.62		5.30	7.70		2.11	7.20	5.63	4.25	5.20	3.37
Nd	11.00	27.35	21.52	19.38	7.98	5.00	22.24	31.29	10.30	10.03	29.62	24.13	18.63	21.36	14.87
Sm	2.69	5.80	5.88	4.74	2.06	1.81	4.99	6.62	3.01	2.64	6.11	5.83	4.41	4.54	3.71
Eu	0.88	1.58	1.70	1.55	0.60	0.65	1.58	2.00	1.11	0.95	1.89	1.73	1.38	1.39	1.20
Gd	2.69	5.55	4.94	4.56	2.28	2.30	4.66	5.73	3.90	3.06	5.89	6.27	4.08	3.94	3.59
Tb	0.45	0.70	0.71	0.73		0.44	0.70	0.86	0.66	0.40	0.84	1.01	0.63	0.58	0.58
Dy	2.61	3.80		4.27	2.30		4.21	4.91		2.47	4.67	5.80	3.80	3.27	3.34
Ho	0.55	0.73		0.83	0.42		0.83	0.96		0.49	0.92	1.23	0.76	0.63	0.68
Er	1.64	1.91		2.22	1.36		2.24	2.55		1.45	2.67	3.54	2.12	1.68	1.92
Tm	0.22	0.37	0.37	0.32		0.29	0.32	0.37	0.41	0.22	0.38	0.50	0.31	0.24	0.28
Yb	1.54	2.05	2.22	2.08	1.38	2.08	2.05	2.32	2.61	1.39	2.46	3.21	1.98	1.51	1.78
Lu	0.22	0.29	0.32	0.31	0.09	0.30	0.31	0.35	0.38	0.21	0.37	0.48	0.30	0.22	0.27
Hf	1.53	3.60	3.62	3.77	1.54	1.20	3.53	4.78	2.23		3.98	4.48	2.90	3.47	2.71
Ta	0.06	0.22	0.40	0.95		0.045	0.83	1.24	0.10		0.32	0.30	0.35	0.59	0.25
Pb	4.01	16.22		5.44			2.95	5.96		3.02	7.62	5.62	5.34	3.48	5.11
Th	1.01	4.04	3.46	2.36	0.56	0.18	1.68	2.16	0.69	0.85	3.90	1.77	1.88	1.54	1.31
U	0.42	2.38	1.95	1.10	0.22	0.18	0.67	0.83	0.33	0.44	1.12	1.04	1.07	0.73	0.69
(n)	<b>3</b>	<b>14</b>	<b>5</b>	<b>18</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>38</b>	<b>17</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>28</b>	<b>27</b>	<b>16</b>	<b>8</b>	<b>6</b>

ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ

Таблица 2. Окончание

Table 2. Continued

№	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73
№ таб.	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	86	88
SiO <sub>2</sub>	53.86	50.18	56.07	47.95	53.17	52.58	53.01	53.29	55.70	56.07	43.93	47.77	50.34	53.3	51.15
TiO <sub>2</sub>	0.74	1.57	0.97	0.97	1.40	1.09	1.28	0.92	0.67	0.97	1.95	1.7	1.54	0.95	0.72
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.53	17.64	18.36	18.19	17.63	17.16	17.01	17.24	16.60	17.83	14.49	15.71	16.81	19.00	18.83
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			6.85	10.88			0.00	3.36		0.00	4.38	4.2	4.99	4.18	3.53
FeO	6.93	9.27	6.40		7.62	6.78	8.02	5.4	7.23	7.02	7.34	5.88	4.53	4.64	6.41
CaO	7.74	8.95	8.25	10.60	7.35	8.79	8.03	8.94	8.60	7.82	9.86	9.04	8.53	8.3	10.46
MgO	9.21	6.44	4.29	4.82	5.55	5.09	5.75	5.12	5.60	4.27	10.72	8.76	6.95	3.43	5.58
MnO	0.13	0.17	0.13	0.18	0.13	0.17	0.16	0.14	0.15	0.14	0.18	0.17	0.15	0.25	0.15
K <sub>2</sub> O	1.16	1.13	0.97	1.34	1.45	1.67	1.24	1.47	1.33	1.60	1.96	1.97	1.48	0.81	0.36
Na <sub>2</sub> O	3.50	3.78	3.27	2.36	4.16	3.53	3.84	3.24	2.74	3.55	3.5	3.31	3.70	3.29	2.25
K <sub>2</sub> O	0.21	0.48	0.25	0.37	0.35	0.25	0.50	0.24	0.14	0.33	0.67	0.66	0.46	0.27	0.14
Сумма	99.01	99.61	99.56	97.635	98.778	97.11	98.84	99.36	98.76	99.60	98.98	99.17	99.91	98.42	99.58
Li		8.3	21.92				4.96	14	8.40	10.50			7.08	5.26	
Sc	24	25	19	28	31	27	24		30	24	28	28			34
V	175	236	169	336	164		199	231	222	201	286	260		287	300
Cr	624	143	45	35	83	52	130	72	176	52	338	257		22	
Ni	193	67	36	16	53		77	17	48	32	167	125		22	22
Rb	21	13	12	22	16	39	9	21	23	18	43	41	19	13	2
Sr	435	634	614	772	515	542	623	648	408	655	864	838	721	882	277
Y	16	24	16	21	22	26	25		23	20	25	27	22		17
Zr	87	154	99	104	185	165	160		108	135	186	204	168		46
Nb	4.11	11	7.40	2.65	16.27	6.84	11.18		1.50	5.20	49.7	16.76	16.04		1.00
Cs	0.87	0.23			0.72		0.16	2.08	0.50	0.45	0.59	0.76	0.00	1.87	0.12
Ba	376	429	369	749	212	554	533	733	439	716	517	687	558	422	90
La	8.84	15	11.19	12.25	14.97	17.17	8.90		9.11	11.67	38.23	26.51		7.78	3.32
Ce	19.59	36	22.79	28.40	31.63	35.5	20.74		20.10	27.83	78.9	58.12		18.1	8.99
Pr	2.67	5	2.88	3.75	4.08		2.77		3.25	3.80	9.41	7.27		2.62	1.36
Nd	11.70	22	13.25	18.50	16.45	20.5	11.83		14.73	16.36	36.22	30.48		12.21	6.74
Sm	2.97	4.88	2.88	4.10	3.82	5.27	2.65		3.70	3.65	6.98	6.64		3.58	2.1
Eu	0.99	1.58	0.95	1.34	1.38	1.42	0.80		0.94	1.09	2.03	1.97		1.22	0.77
Gd	2.99	4.97	2.75	4.25	3.88		2.54		3.91	3.54	5.9	5.48		3.91	2.65
Tb	0.48	0.73	0.42		0.64	0.92	0.37		0.61	0.52	0.86	0.82		0.67	0.46
Dy	2.92	4.45	2.67	3.40	3.77		2.23		4.01	3.13	4.9	4.84		4.29	3.04
Ho	0.59	0.9	0.53	0.63	0.74		0.45		0.84	0.63	0.94	0.93		0.84	0.66
Er	1.58	2.53	1.53	2.15	2.02		1.26		2.48	1.80	2.39	2.48		2.34	1.89
Tm	0.23	0.35	0.22		0.29		0.18		0.36	0.25	0.33	0.35		0.34	0.29
Yb	1.41	2.24	1.49	1.95	1.92	2.54	2.28		2.31	2.00	1.99	2.17		1.94	1.89
Lu	0.22	0.37	0.22	0.18	0.28	0.38	0.35		0.36	0.31	0.29	0.32		0.31	0.29
Hf	2.34	3.64	2.14	3.05	3.59	3.63	3.64		2.76	3.38	4.2	4.66			1.23
Ta	0.25	0.63	0.41		0.87		0.75		0.10	0.31	2.77	0.93			0.09
Pb	8.00	6.61	3.88				6.53	4.8	5.74	7.53	3.2	5.79		3.9	1.52
Th	1.72	1.22	1.57	1.70		3.78	0.85		1.91	1.29	4.54	2.88			0.29
U	0.91	0.47	0.52	0.80			0.34		0.92	0.75	1.54	1.36			0.16
(n)	18	5	12	2	2	7	8	7	1	6	8	7	41	18	3

Примечание к табл. 2. № таб. (табелный) — номера образцов, соответствующих приведенным на рис. 1(a); (n) — число анализов для подсчета среднего; помимо литературы, отмеченной в примечании к табл. 1, использованы данные из (Геохимическая..., 1990; Иванов, 2008).

Note. № (tab.) — Number of samples as on Fig. 1(a); (n) — Number of samples. Published data are from Note to Table 1 and from refs (Geochemical..., 1990; Ivanov, 2008).

Сходная модель была предложена для образования NEB-адакитов ЦКД, где по мнению (Перепелов, 2014), в зоне Малкинско-Петропавловских поперечных дислокаций произошел разрыв литосферы и внедрение астеносферного материала. Обе эти модели говорят об одном и том же — нужен дополнительный подогрев для образования пород адакитового или близкого к ним состава, который может обеспечить только подток горячего астеносферного материала. Наблюдаемую изотопную зональность внедрившегося в литосферу диапира можно объяснить контаминацией его состава по периферии материалом так называемой «коро-мантийной смеси», с предполагаемым значением отношений  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.7035-0.7050$ , судя по составу нижнекоровых ксенолитов (Акинин и др., 2013). Необходимый для образования «краевых адакитов» подогрев, как раз, и обеспечивается за счет энергетики этого диапира. Локальная аномалия с теми же повышенными Sr-изотопными отношениями в северной части региона (III) интересна тем, что она имеет явно наложенный характер по отношению к аномалии I (рис. 1б) и ориентирована в СЗ направлении. По-видимому, здесь отражается влияние приложенной здесь к континентальной окраине Командорско-Алеутской островодужной системы. Но, как сказывается это влияние непонятно. Аномальная изотопия здесь определяется составом вулканических пород двух центров: вулкана Теклетунуп (57) и Шишейского комплекса (72) (рис. 1б). Первый представлен вулканическим массивом с обычной для подобных центров последовательностью развития: щитовая постройка и насаженный на нее стратовулкан с породами известково-щелочной и шошонит-латитовой сериями позднемиоцен-среднеплейстоценового возраста, затем — верхнеплейстоцен-голоценовая ареальная зона с вулканидами повышенной щелочности и титанистости (Перепелов, 2014). Появление пород внутриплитного типа связывается здесь с прекращением субдукционного режима и сменой его на рифтогенный (Волынец, 1993; Перепелов, 2014). Шишейский комплекс (72) — это ряд конусов и мелких вулканов ареального типа четвертичного возраста с высокомагнезиальными вулканидами известково-щелочной серии (Bryant et al., 2011). Внутриплитный тип вулканидов здесь не проявлен. Но позднее по этим материалам здесь также как и на вулкане Теклетунуп (57) был выделен адакитовый тип проявления вул-

канизма (Колосков и др., 2019). В таком случае мы находим здесь полную аналогию с моделью, предложенную для вулканов Шивелуч (53), Харчинский (52), Заречный (51), располагающихся в угловой части поддвигающейся литосферной плиты, с внедрением горячего астеносферного материала в низы литосферы (Yogodzinski et al., 2001). Вопрос только в том, что участие тихоокеанской астеносферы/литосферы ограничивается низкими изотопными характеристиками, поскольку Sr-изотопные отношения в базальтах Командорского бассейна и Алеутской островодужной системы не превышают обычно значений  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.7034$ . Следовательно, речь идет о той же самой модели контаминации астеносферы камчатским сублитосферным материалом. В таком случае, эта аномалия является «отторженцем» того же самого мантийного плюма. При этом наиболее реальной представляется так называемая «плюм-пудинговая модель» (Zhang et al., 2001), согласно которой астеносфера уже в значительной степени контаминирована материалом субконтинентальной литосферы, но еще не потеряла своих реологических особенностей и, даже напротив, получив дополнительный приток тепловой энергии глубинного плюма, способна к активному ротационному перемещению и апвеллингу. Несколько точек с повышенными значениями Sr-изотопных отношений (0.70330–0.703323) отмечаются в составе проявлений вулканизма Южной Камчатки, но эта часть полуострова представлена лишь единичными точками, поэтому она исключается из дальнейшего рассмотрения.

**Граничные значения концентраций элементов и характер трендов.** Специфика выбранных приемов графического отображению аналитических материалов требует предварительного проведения анализа их граничных значений для отдельных элементов при сравнительном рассмотрении данных по вулканидам различных вулканических поясов Камчатки. Проведем обоснование их выделения. Кремнекислотность, магнезиальность и щелочность — наиболее употребляемые характеристики при типизации магматических пород. Но они и наиболее восприимчивы к процессам малоглубинной дифференциации. Поэтому, если мы хотим максимально приблизиться к исходным составам расплавов, мы должны либо избавиться от влияния этого фактора, либо максимально его учитывать. Поэтому, для

**Рис. 1.** Схема опробования (а) и расположение усредненных характеристик Sr-изотопного состава (б) проявлений позднекайнозойского вулканизма на территории Камчатки: 1 — гранитно-метаморфический комплекс Центральной Камчатки; 2 — миоцен-четвертичные вулканические комплексы Южной Камчатки (ЮК), Восточно-Камчатского вулканического пояса (ВКВП), Центрально-Камчатской депрессии (ЦКД) и Центрально-Камчатского вулканического пояса (ЦКВП) по (Перепелов, 2018) с добавлениями и изменениями; 3 — объекты, в составе которых присутствует адакитовый компонент по (Волынец и др., 1998; Горбач, Портнягин, 2014; Колосков и др., 2017а, 2019; Перепелов, 2014; Kepezhinskas et al., 1996, 1997); 4 — объекты, в составе которых присутствует «внутриплитный» компонент по (Волынец и др., 1995; Колосков, 2006; Колосков и др., 2017а; Перепелов, 2014; Волынец и др., 1995); 5 — вулканические проявления и отдельные вулканы с указанием усредненных Sr-изотопных составов (отмечены только те объекты, для которых имеются надежные аналитические данные). I, II, III — Sr-изотопные аномалии (цветовая палитра в зависимости от выбранного интервала значений на рис. 1б). А-Б — линия геохимического профиля. Вулканические проявления: 2 — вулкан Дикий Гребень, 3 — вулкан Ильинский, 5 — вулкан Ксудач, 6 — вулкан Ходутка, 8 — вулкан Мутновский, 9 — вулкан Горелый, 11 — вулкан Б. Ипелька, 13 — лавовое плато Шиковая тундра, 14 — лавовые потоки р-на Толмачева дола, 15 — вулкан Вилючинский, 16 — вулкан Авачинский, 17 — вулкан Корякский, 18 — вулкан Ааг, 19 — вулкан Арик, 20 — вулкан Купол, 22 — покровные базальты вулкана Бакенинг, 23 — вулкан Бакенинг, 24 — адакиты и сопутствующие им породы р. Озерная Камчатка, 25 — потоки и силлы в р-не р. Степанова, 26 — вулкан Карымский, 27 — вулкан М. Семячик, 29 — вулкан Хангар, 30 — вулкан Узон, 31 — вулкан Крашенинникова, 32 — вулкан Кронцкой, 33 — вулкан Шмидта, 34 — вулкан Гамчен, 35 — вулкан Комарова, 36 — вулкан Кизимен, 37 — вулкан Николка, 38 — вулканическая группа Ахтанг, 39 — вулкан Ичинский, 40 — покровные базальты Ичинского вулкана, 41 — лавовые потоки и конусы в р-не поселка Эссо, 42 — вулкан Уксичан; 43 — группа конусов Большого трещинного Толбачинского извержения (БТТИ) 1975-76 гг., 44 — вулкан Зимина, 45 — вулкан Лавовый Шиш, 46 — вулкан Безымянный, 47 — вулкан Камень, 48 — вулкан Ключевской, 49 — вулкан Ушковский, 50 — вулкан Крюки, 51 — вулкан Заречный, 52 — вулкан Харчинский, 53 — вулкан Шивелуч, 54 — вулкан Кетепана, 55 — вулкан Орловский, 56 — покровные базальты гор Столбовая и Половинная, 57 — вулкан Теклетунуп, 58 — лавовые плато г. Плоской; 59 — вулкан Начикинский; 60 — лавовые плато вблизи поселка Тымлат, 61 — вулкан Кихпинич; 62 — Дол Геологов (ареальные проявления), 63 — вулкан Белоголовский, 64 — вулкан Козельский, 65 — лавовые покровы г. Сарайная, 67 — лавовые потоки и конусы в верховьях р. Кихчик, 68 — вулканы Острый и Плоский Толбачики, 69 — Кекукнайский массив, 70-71 — плато-вулканы в верховьях р. Озерная Камчатка (70) и Кунч (71), 72 — Шишейский комплекс ареального вулканизма, 73 — лавовое поле Седанка, 74 — лавовые потоки и конусы в верховьях р. Валовая, 75 — лавовые потоки в верховья р. Белая, 76 — вулкан Хайлюля, 77 — лавовые потоки в верховьях р. Карага (Камчатский перешеек), 78 — Озерновское лавовое поле (Озерная), 79 — вулкан Б. Удина, 80 — вулканическое плато Двухюрточная, 81 — вулканический массив Алней-Чашаконджа, 82 — дайки г. Хухч, 83 — вулканический массив Эмгучань, 84 — вулкан Б. Паялпан, 85 — вулканическое плато г. Корниловская, 86 — вулкан Жупановские востряки, 87 — лавовые потоки в р-не Курильского озера, 88 — вулкан Б. Семячик.

**Fig. 1.** Sampling plan (a) and location of average characteristics of Sr-isotope composition (b) in manifestations of late-Cenozoic volcanic activity in Kamchatka region. 1 — Granite-metamorphic complex of Central Kamchatka; 2 — Miocene-Quaternary volcanic complexes of South Kamchatka (SK), the Eastern-Kamchatka volcanic belt (EKVB), the Central-Kamchatka depression (CKD), and the Central-Kamchatka volcanic belt (CKVB) by (Perpelov, 2018, modified); 3 — objects with adakite components by (Gorbach, Portnyagin, 2014; Kepezhinskas et al., 1996, 1997; Koloskov et al., 2017a, 2019; Perpelov, 2014; Volynets et al., 1998); 4 — objects with intraplate component by (Koloskov, 2006; Koloskov et al., 2017a; Perpelov, 2014; Volynets et al., 1995); 5 — volcanic manifestations and single volcanoes with average Sr-isotope compositions. I, II, III — Sr-isotope anomalies (colour palette is based on the chosen range of values on Fig. 1b). A-B - geochemical profile. Volcanic manifestations: 2 — Dikiy Greben volcano, 3 — Ilyinsky volcano, 5 — Ksudach volcano, 6 — Khodutka volcano, 8 — Mutnovsky volcano, 9 — Gorely volcano, 11 — Bolshaya Ipelka volcano; 13 — Shikovaya tundra lava plateau, 14 — lava flows in the Tolmachyov Dol, 15 — Vilyuchinsky volcano, 16 — Avachinsky volcano, 17 — Koryaksky volcano, 18 — Aag volcano, 19 — Arik volcano, 20 — Kupol volcano, 22 — plateau basalts from Bakening Volcano, 23 — Bakening volcano; 24 — adakites and associated rocks of the Ozernaya Kamchatka river, 25 — flows and sills within the Stepanova River valley, 26 — Karymsky volcano, 27 — Maly Semiachik volcano, 29 — Khangar volcano, 30 — Uzon volcano, 31 — Krashenninnikov volcano, 32 — Kronotsky volcano, 33 — Shmidt volcano, 34 - Gamchen volcano, 35 — Komarov volcano, 36 — Kizimen volcano, 37 — Nikolka volcano, 38 — the Akhtang group of volcanoes, 39 — Ichinsky Volcano, 40 — plateau basalts from Ichinsky volcano, 41 — lava flows and cones in the area of the Esso settlement, 42 — Uksichan volcano, 43 — group of cones of the 1975-1976 Great Tolbachik Fissure Eruption (GTFE), 44 — Zimina volcano, 45 — Lavovyy Shish volcano, 46 — Bezymianny volcano, 47 — Kamen volcano, 48 — Klyuchevskoy volcano, 49 — Ushkovsky volcano, 50 — Kryuki volcano, 51 — Zarechny volcano, 52 — Kharchinsky volcano, 53 — Shiveluch volcano, 54 — Ketepana volcano, 55 — Orlovsky volcano, 56 — plateau basalts of Stolbovaya and Polovinnaya mountains, 57 — Tekletunup volcano, 58 — lava plateau on Mount Ploskaya, 59 — Nachikinsky volcano; 60 — lava plateaus in the vicinity of Tymlat settlement, 61 — Kikhpinych volcano; 62 — areal volcanic manifestations within Dol Geologov, 63 — Belogolovsky volcano, 64 — Kozelsky volcano, 65 — lava flows of Mount Saraynaya, 67 — lava flows and cones in the upstream of Kikhchik River, 68 — Ostry and Plosky Tolbachik volcanoes; 69 — the Kekuknai Massif, 70-71 — volcanic plateau in the upstream of the Ozernaya River (70) and Kunch (71), 72 — the Shisheisky complex of areal volcanic activity, 73 — Sedanka lava field, 74 — lava flows and cones in the upstream of the Valovayan River, 75 — lava flows in the upstream of the Belaya River, 76 — Khailyulya volcano, 77 — lava flows in the upstream of the Karaga River (the Kamchatka Isthmus), 78 — the Ozernovsky lava field (Ozernaya), 79 — Udina volcano, 80 — the Dvukhyurtochnoye Plateau, 81 — the Alnei-Chashakondja volcanic massif, 82 — the Mount Khukhch's dykes, 83 — the Emguchan volcanic massif, 84 — Bolshoy Payalpan volcano, 85 — the volcanic plateau of Mount Kornilovskaya, 86 — Zhupanovskiy Vostryaki volcano, 87 — lava flows in the area of Kurile Lake, 88 — Bolshoy Semiachik volcano.

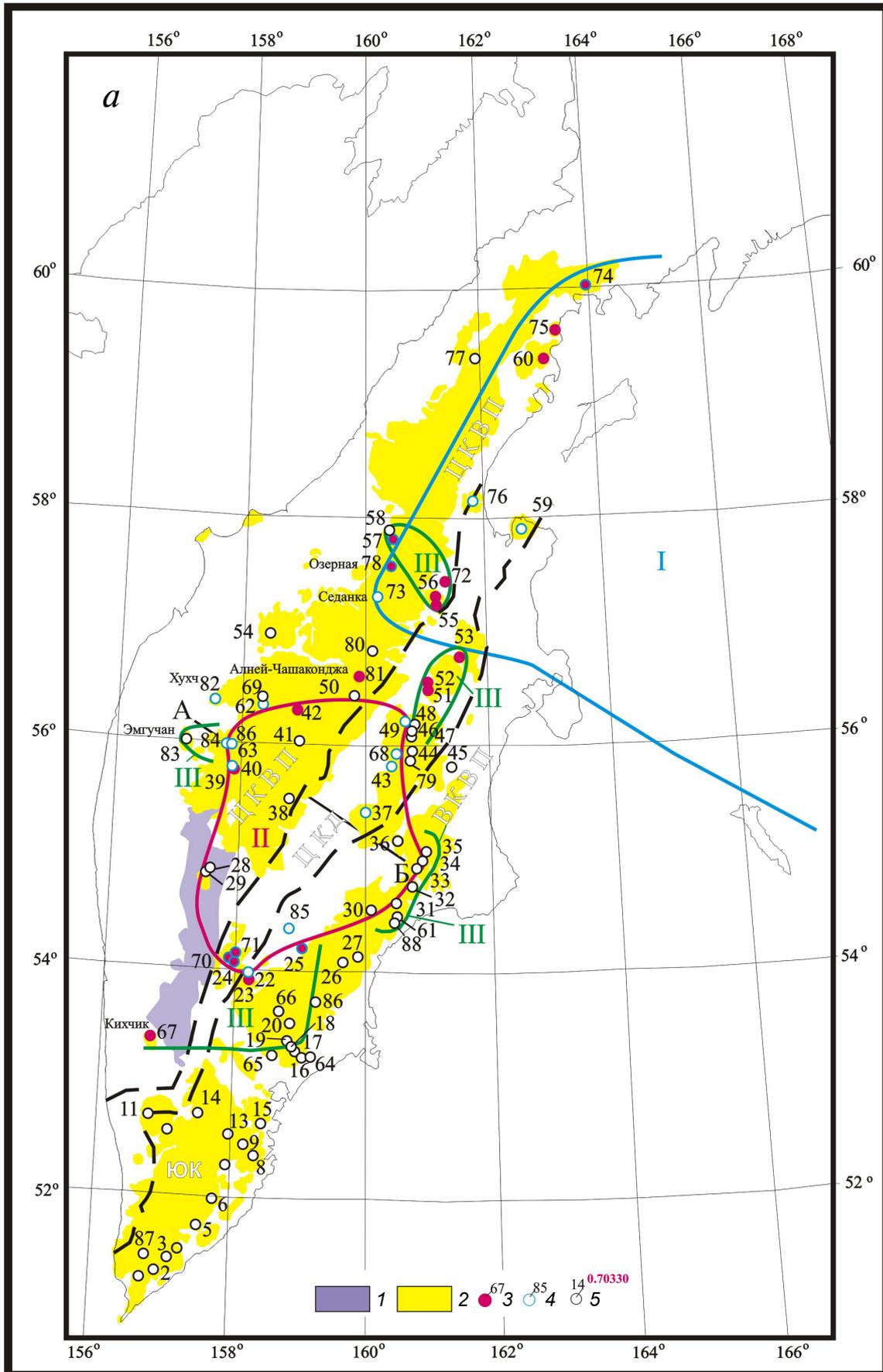


Рис. 1

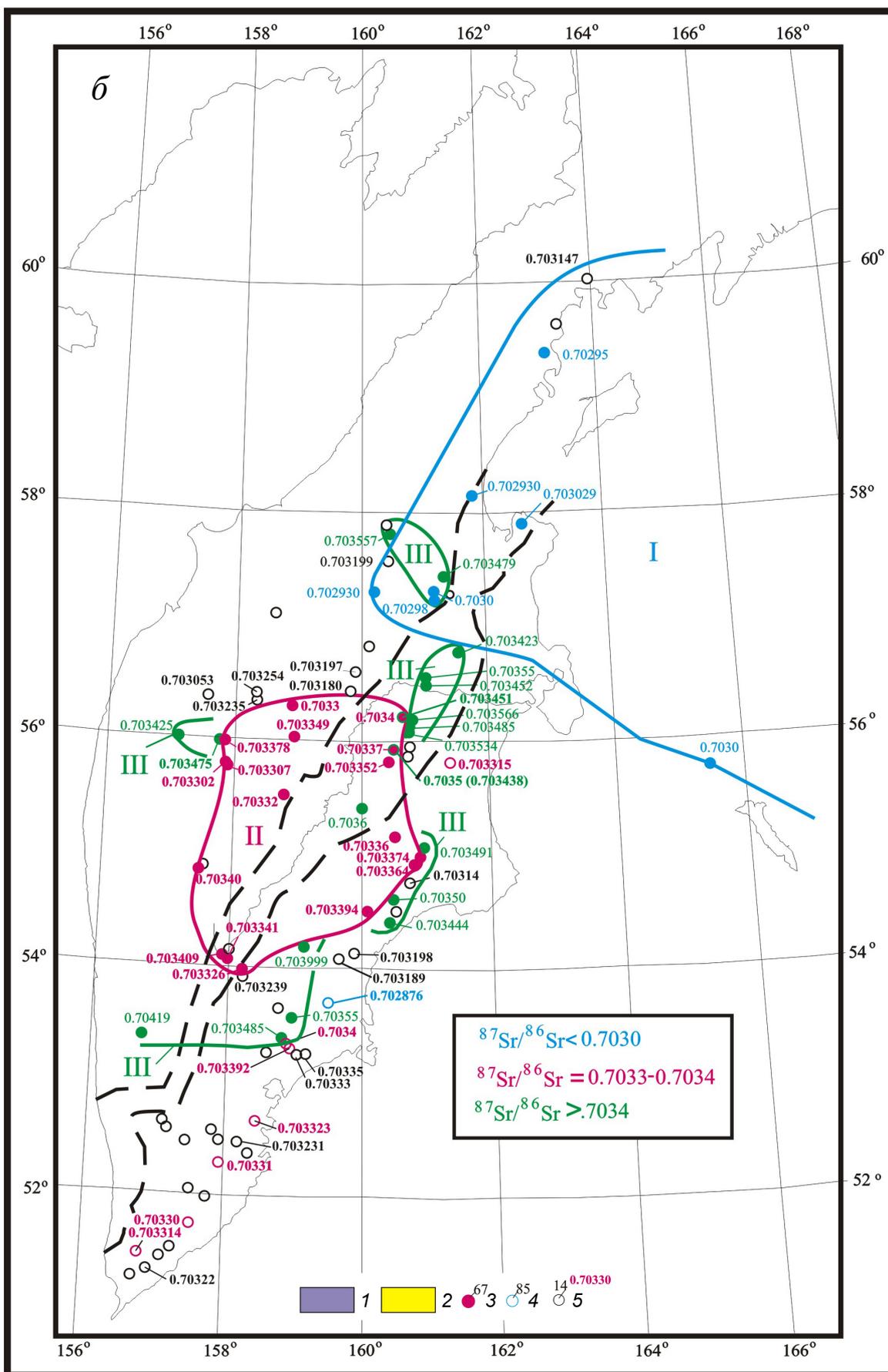


Рис. 1. Окончание

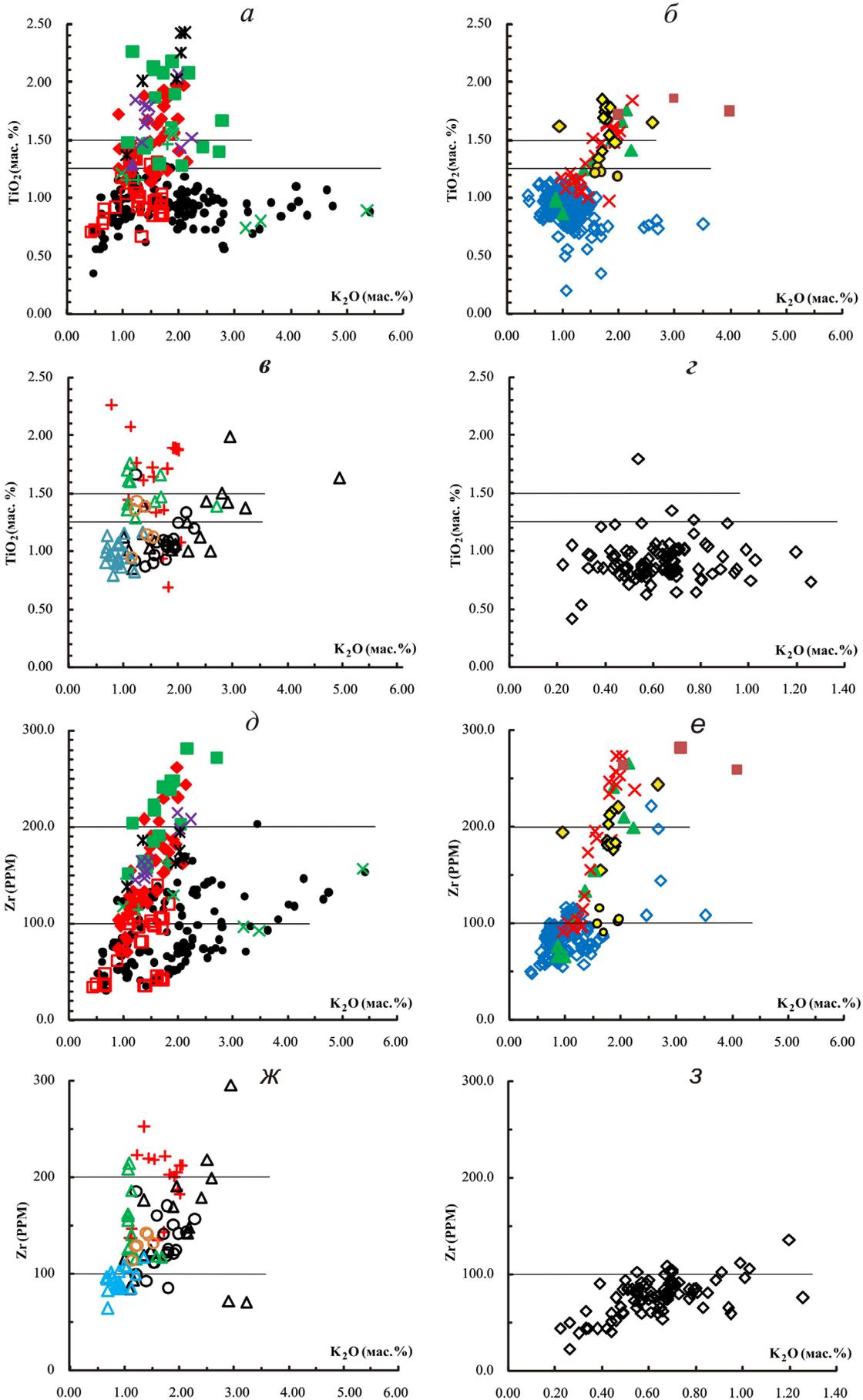
рассмотрения берутся только базальт-андезит-зальтовые составы, а для учета влияния щелочности, в качестве отправных используем ряд диаграмм, где элементы коррелируются с калием (рис. 2). Магнезиальность не стоит исключать из рассмотрения, поскольку породы разной магнезиальности могут быть в разной степени приближены к исходным составам. Подробнее остановимся на этом вопросе в дальнейшем. При типизации пород разной щелочности, вероятно, наиболее значимым критерием их разделения является появление внутриплитного компонента в отличие от обычного островодужного. Наиболее чувствительными к этому разделению являются высокозарядные элементы: Ti, Zr, Nb, Hf, Ta. Возьмем первые четыре и проведем их корреляцию с калием (рис. 2). Ранее было отмечено (Колосков, 1999), что на подобных диаграммах внутриплитный тип вулканитов, в отличие от пород островодужного типа, дает самостоятельный субвертикальный тренд, не коррелирующий с содержанием калия в породе. Проверим это положение еще

раз на имеющихся материалах. В четвертичных вулканитах фронтальной зоны внутриплитный тип неизвестен, поэтому на диаграммах  $TiO_2-K_2O$  (рис. 2а),  $Zr-K_2O$  (рис. 2з),  $Nb-K_2O$  (рис. 2м),  $Hf-K_2O$  (рис. 2р) этот тренд не проявлен. В породах Центрально-Камчатского вулканического пояса (Срединный хребет Камчатки и его тыловая зона) на диаграммах:  $TiO_2-K_2O$  (рис. 2а),  $Zr-K_2O$  (рис. 2д),  $Nb-K_2O$  (рис. 2и),  $Hf-K_2O$  (рис. 2н) выделяются два тренда — субвертикальный для пород ранее уже известного внутриплитного типа и второй тренд сопряженного или независимого от содержания  $K_2O$  концентраций элементов для пород островодужного типа, сходный с тем, что мы наблюдали для пород фронтальной зоны (рис. 2г, 2з, 2л, 2р). При этом можно выделить две границы: 1) когда эти различия трендов только начинают проявляться, но еще для ряда составов сохраняется корреляция элементов с калием (совмещение внутриплитных и островодужных характеристик) и 2) корреляция с калием полностью отсутствует. Далее такие границы для всех элементов будут использованы

**Рис. 2.** Соотношение  $TiO_2-K_2O$ ,  $Zr-K_2O$ ,  $Nb-K_2O$ ,  $Hf-K_2O$  в миоцен-четвертичных вулканитах Центрально-Камчатского вулканического пояса (а, д, и, н), Ключевской группы и вулканов Шивелуч, Харчинский, Заречный (б, е, к, о), Центрально-Камчатской депрессии (в, ж, л, н) и Восточно-Камчатского вулканического пояса (г, з, м, р). Проявления вулканизма: 1–5 — внутриплитного геохимического типа — Дол Геологов (1); вулканы: Белоголовский (2), Теклетунуп (3), Ичинский (4), р-он р. Валоваям (5); 6 — островодужного типа, вулканы: Кекукнайский (69), Теклетунуп (57), Белоголовский (63), Ичинский (39), Уксичан (42), Орловский (55); районы: Кихчик (67), Столбовая, Половинная (56), Тымлат (60), р. Белая (75), р. Валоваям (74); 7–9 — при совмещении внутриплитных и островодужных характеристик, районы: Двухюрточная, Алней-Чашаконджа, Озерная (7), вулкан Хангар (8), г. Плоская (9); 10 — Ключевская и северная группа, вулканы: Ключевской (48), Камень (47), Безымянный (46), Шивелуч (53), Харчинский (52), Заречный (51); 11–13 — вулканы: Ушковский (49): постройка вулкана (11), плато в основании (12), Острый и Плоский Толбачики (68) – (13); 14 — плато фундамента Ключевской группы вулканов; 15 — ксенолиты пород этого фундамента в лавах вулкана Безымянный (46); 16–17 — вулканы: Начикинский (16), Николка (17); 18 — плато вулканиты - Озерная Камчатка (70), Кунч (71); 19–20 — вулкан Бакенинг: плато базальты (19), постройка вулкана (20); 21 — «НЕВ-адакиты» и сопутствующие им породы, междуречье Лев. и Прав. Камчатка; 22 — плиоцен-четвертичные вулканы фронтальной зоны: Дикий Гребень (2), Ильинский (3), Ксудач (5), Ходутка (6), Авачинский (16), Козельский (64), Кихпинич (61), Крашенинникова (31), Шмидта (33), Гамчен (34), Комарова (35), Мутновский (8). Горизонтальными линиями выделены предлагаемые граничные значения концентраций элементов для нанесения на карты-схемы.

**Fig. 2.** The ratio of  $TiO_2-K_2O$ ,  $Zr-K_2O$ ,  $Nb-K_2O$ ,  $Hf-K_2O$  in the Miocene-Quaternary volcanics of the Central Kamchatka volcanic belt (а, д, и, н), the Klyuchevskoy group of volcanoes (б, е, к, о), the Central Kamchatka Depression (в, ж, л, н), and the East Kamchatka Volcanic Belt (г, з, м, р). Manifestations of volcanism: 1–5 — intraplate geochemical type — Dol Geologov (1), volcanoes: Belogolovsky (2), Tekletunup (3), Ichinsky (4), the area of the Valovayam River (5); 6 — island-arc type volcanoes: Kekuknaisky (69), Tekletunup (57), Belogolovsky (63), Ichinsky (39), Uksichan (42), Orlovsky (55), areas: Kikhchik (67), Stolbovaya, Polovinnaya (56), Tymlat (60), the Belaya River (75), the Valovayam River (74); 7–9 — when combining intraplate and island-arc characteristics, areas: Dvukhyurtochnaya, Alney-Chashakonja, Ozerneya (7), Khangar Volcano (8), Mount Ploskaya (9); 10 — Klyuchevskaya and the northern group, volcanoes: Klyuchevskoy (48), Kamen (47), Bezymianny (46), Sheveluch (53), Kharchinsky (52), Zarechny (51); 11–13 — volcano Ushkovsky (49): volcano edifice (11), a plateau at the base (12), Ostry and Plosky Tolbachik (68) – (13); 14 — basement plateau of the Klyuchevskoy group of volcanoes; 15 — xenoliths from rocks of this basement in the lavas from Bezymianny Volcano (46); 16–17 — volcanoes: Nachikinsky (16), Nikolka (17); 18 — plateau volcanics — Ozyornaya Kamchatka (70), Kunch (71); 19–20 — Bakening Volcano: plateau basalts (19), volcano edifice (20); 21 — «NEB-Adakites» and related rocks, interfluvium of Levaya and Pravaya Kamchatka rivers; 22 — Pliocene-Quaternary volcanoes of the frontal zone: Dikiy Greben (2), Ilyinsky (3), Ksudach (5), Khodutka (6), Avachinsky (16), Kozelsky (64), Kikhpinich (61), Krashenninnikova (31), Schmidt (33), Gamchen (34), Komarova (35), Mutnovsky (8). The horizontal lines indicate the proposed boundary values of the concentrations of the elements for drawing on the chart maps.

ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ



КОЛОСКОВ

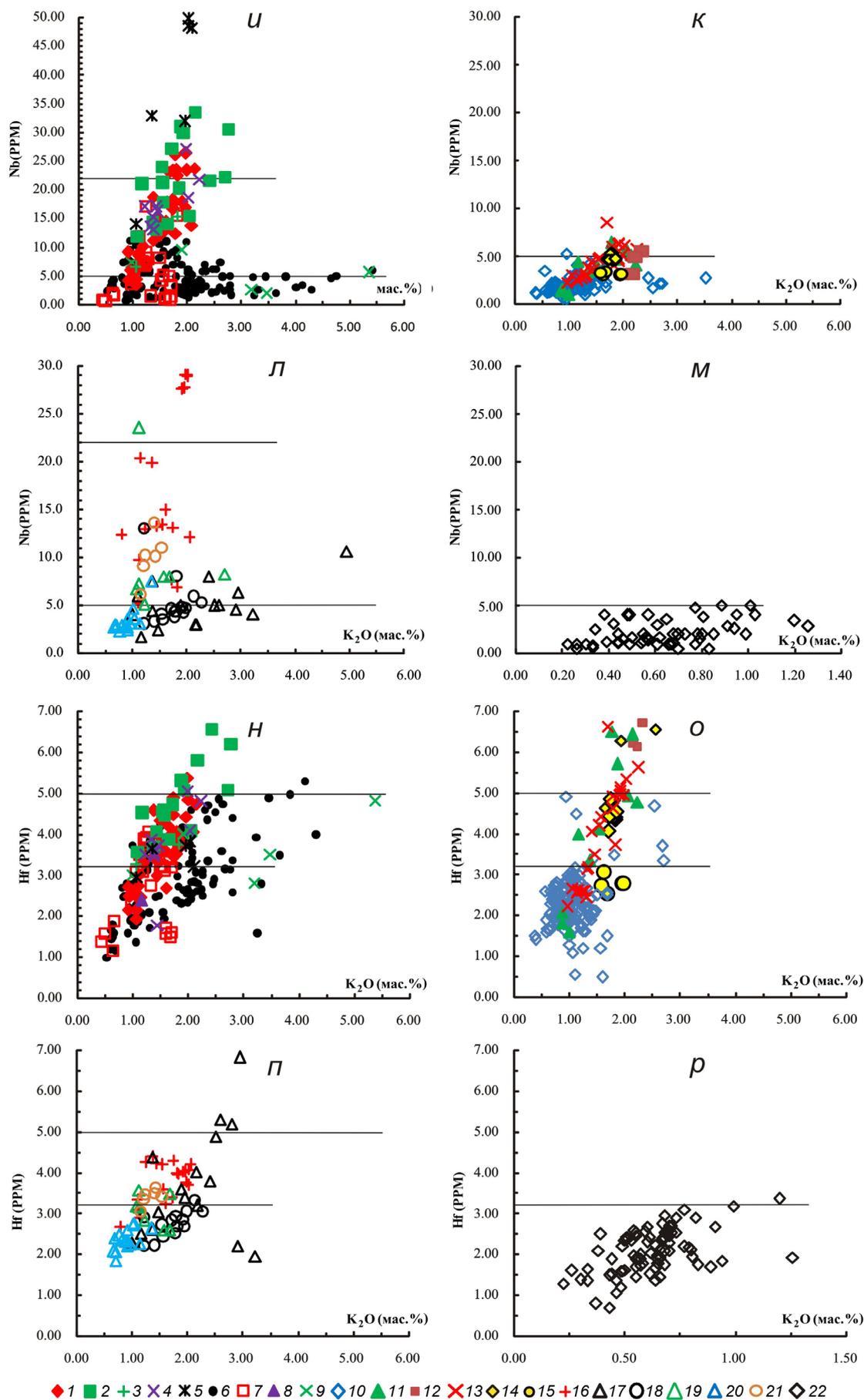


Рис. 2. Окончание

в статье для построения карт-графиков. Субвертикальные тренды «некоррелятивных» составов наблюдаются в базальт-андезиобазальтовых высококальциевых известково-щелочных сериях вулканов Ичинский (39), Белоголовский (63), Теклетунуп (57) (верхнеплейстоцен-голоценовая ареальная зона), ареальных вулканитах Дола Геологов (62), отдельных конусах и дайках р-на р. Валоваям (74) (рис. 2а, 2д, 2и, 2н), в пределах Ключевской группы на вулканах Ушковский (49) и Толбачики (68) (рис. 2б, 2е, 2к, 2о), в ЦКД на вулканах Начикинский (59), Николка (37), в платобазальтах Озерной Камчатки (24) и плато вулкана Бакенинг (22) (рис. 2в, 2ж, 2л, 2п). Те же проявления были представлены в качестве внутриплитного типа в работах (Волынец и др., 1995; Колосков, 2006; Колосков и др., 2017а, 2018, 2019). Более того, анализируя эти диаграммы, можно говорить о наличии субвертикального тренда (проявлении внутриплитного компонента) в составе базальтоидов вулканов Хангар (29), Алней-Чашаконджа (81), плато-вулканитов горы Плоская (58), Озерновского плато (Озена-78), хотя эти составы отличаются только небольшими повышениями концентраций индикаторных элементов (рис. 2а, 2д, 2и, 2н).

Рассмотрим в таком же ключе серию диаграмм, которые связаны с элементами, имеющими прямое отношение к проблеме алацитов. Характер диаграмм Sr-K<sub>2</sub>O (рис. 3а, 3б, 3в, 3д) и La-K<sub>2</sub>O (рис. 3н, 3о, 3п, 3р) в целом такой же, как для большинства элементов на предыдущем рисунке (рис. 2). Здесь можно выделить два граничных значения: нижнее, отсекающее характеристики для четвертичных пород фронтальной зоны (рис. 3г и 3р), где субвертикальные тренды не проявлены, и верхнее, которое отделяет основную часть данных для вулканитов Срединного хребта (рис. 3а и 3н) и ЦКД (рис. 3в).

В пределах Срединного хребта и его тыловой зоны почти нет аналогов пород с такими низкими содержаниями Sr и La, как во фронтальной зоне, но зато здесь широко распространены породы с высокими концентрациями этих элементов и отмечается появление субвертикальных трендов

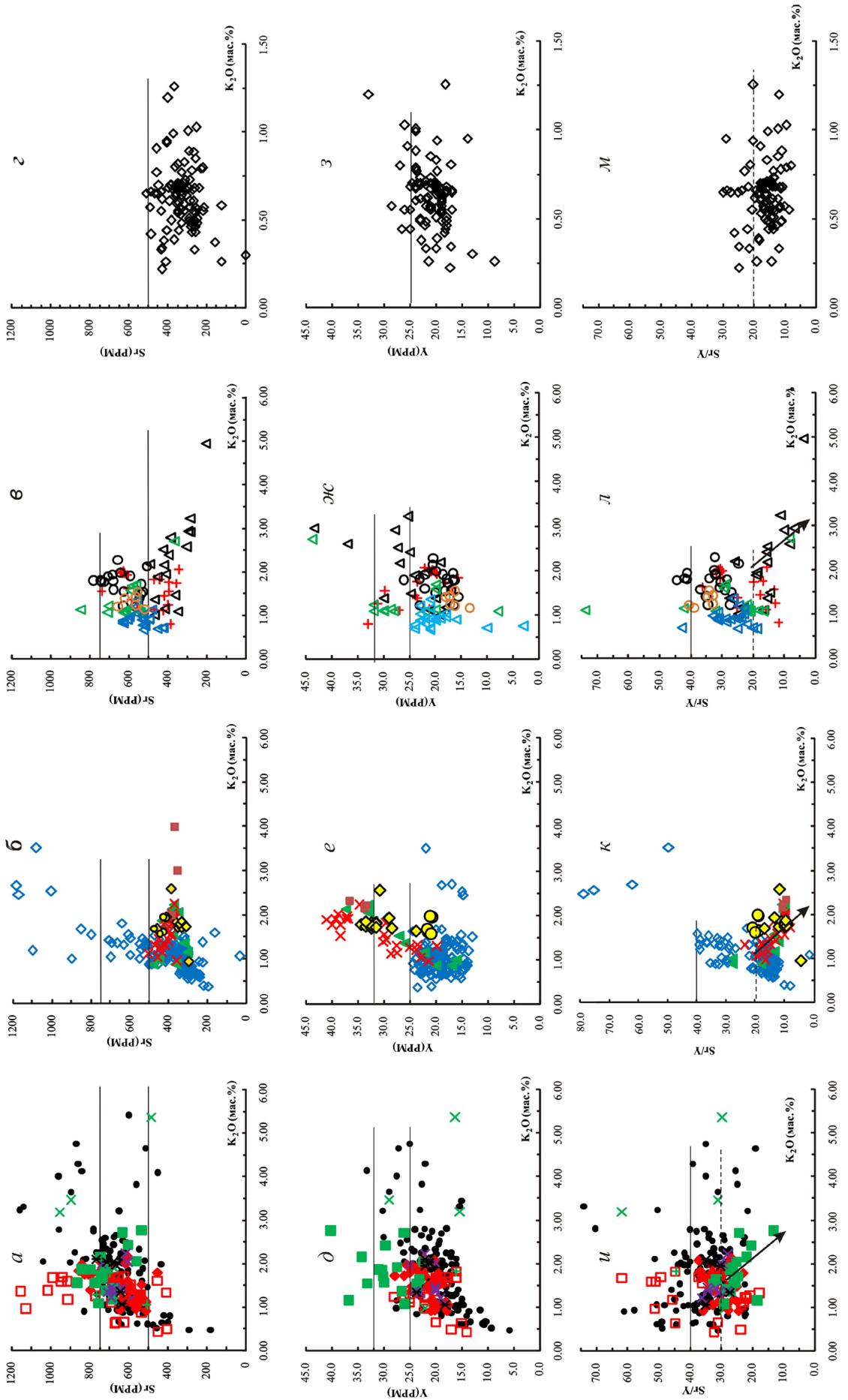
для внутриплитных базальтоидов Дола Геологов (62), вулканов: Белоголовского (63), Ичинского (39) и Теклетунуп (57), р-на Валоваям (74), а также островодужных вулканитов: Озерная (78), Кекукнайский массив (69), г. Половинная (56), вулкан Уксичан (42) (рис. 3а и 3н).

Основная масса пород Ключевской группы, а также вулканов: Шивелуч (53), Харчинский (52), Заречный (51) (рис. 3б и 3о) и значительная часть базальтоидов ЦКД, с хорошо проявленной обратной корреляционной зависимостью Sr-K (рис. 3л) и La-K для пород Николки (37) (рис. 3л и 3п) и некоторых плато-вулканитов Озерной Камчатки (24) и Кунч (71) (рис. 3в), которая проявляется и при больших значениях для La (рис. 3н), характеризуется низкими концентрациями Sr и La. Однако и здесь можно наблюдать субвертикальные тренды в составе пород вулканов Харчинского (52) и Заречного (51) (рис. 3б и 3о) и ЦКД: вулканы Начикинский (59), Бакенинг (23), некоторые плато-вулканиты — Озерная Камчатка (70), Кунч (71) (рис. 3в и 3п). Совсем иной характер имеют диаграммы Y-K (рис. 3д–3з) и Yb-K (рис. 3с–3ф). Весь тот массив точек составов, которые характеризуются повышенными содержаниями Sr и La и наличием субвертикальных трендов для базальтоидов Срединного хребта, Ключевской группы и ЦКД, смещается в область пониженных значений Y (рис. 3д, 3е, 3ж) и Yb (рис. 3с, 3т, 3у), сходных с таковыми для пород фронтальной зоны (рис. 3з и 3ф). Кроме того, здесь появляются точки повышенных значений содержания Y и Yb для внутриплитных вулканитов Белоголовского вулкана (63), Дола Геологов (62), Озерной (78) (рис. 3д, 3е), вулканов Толбачики (68), Ушковский (49) (рис. 3е, 3т), Николка (37) и внутриплитных пород Бакенинга (22) (рис. 3ж, 3у). Эти точки смещены в сторону большей К-ой щелочности и, по всей вероятности, являются показателями малой степени плавления мантийного резервуара (в соответствии с диаграммой Nb-Yb по (Pearce, Parkinson, 1993)). Возрастание содержания Sr и La, сопровождающееся уменьшением концентраций Y и Yb, создает благоприятные предпосылки для

**Рис. 3.** Соотношение Sr-K<sub>2</sub>O, Y-K<sub>2</sub>O, Sr/Y-K<sub>2</sub>O, La-K<sub>2</sub>O, Yb-K<sub>2</sub>O, La/Yb-K<sub>2</sub>O в миоцен-четвертичных вулканитах ЦКВП (а, д, и, н, с, х), Ключевской группы и вулканов: Шивелуч, Харчинский, Заречный (б, е, к, о, т, у), Центрально-Камчатской депрессии (в, ж, л, п, у, ч) и Восточно-Камчатского вулканического пояса (г, з, м, р, ф, ш). 1–22 — то же, что и на рис. 2. Сплошными горизонтальными линиями выделены предлагаемые граничные значения концентраций элементов для нанесения на карты-схемы. Пунктиром выделены предполагаемые границы соотношения элементов. Стрелками показаны тренды изменения концентраций ряда элементов и их отношений.

**Fig. 3.** The ratio of Sr-K<sub>2</sub>O, Y-K<sub>2</sub>O, Sr/Y-K<sub>2</sub>O, La-K<sub>2</sub>O, Yb-K<sub>2</sub>O, La/Yb-K<sub>2</sub>O in the Miocene-Quaternary volcanics of the CKVB (a, d, i, n, s, x), Klyuchevskoy group and volcanoes Sheveluch, Kharchinsky, Zarechny (b, e, k, o, t, u), the Central Kamchatka depression (v, zh, l, p, u, ch) and the Eastern Kamchatka volcanic belt (g, z, m, r, f, sh). 1–22 — similar to Fig. 2. The solid boundary lines indicate the proposed boundary values of the concentrations of the elements for drawing on the chart maps. Dotted lines denote the supposed boundaries of the ratio of elements. Arrows show the trends in changes in concentrations of a number of elements and their relations.

КОЛОСКОВ



ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ

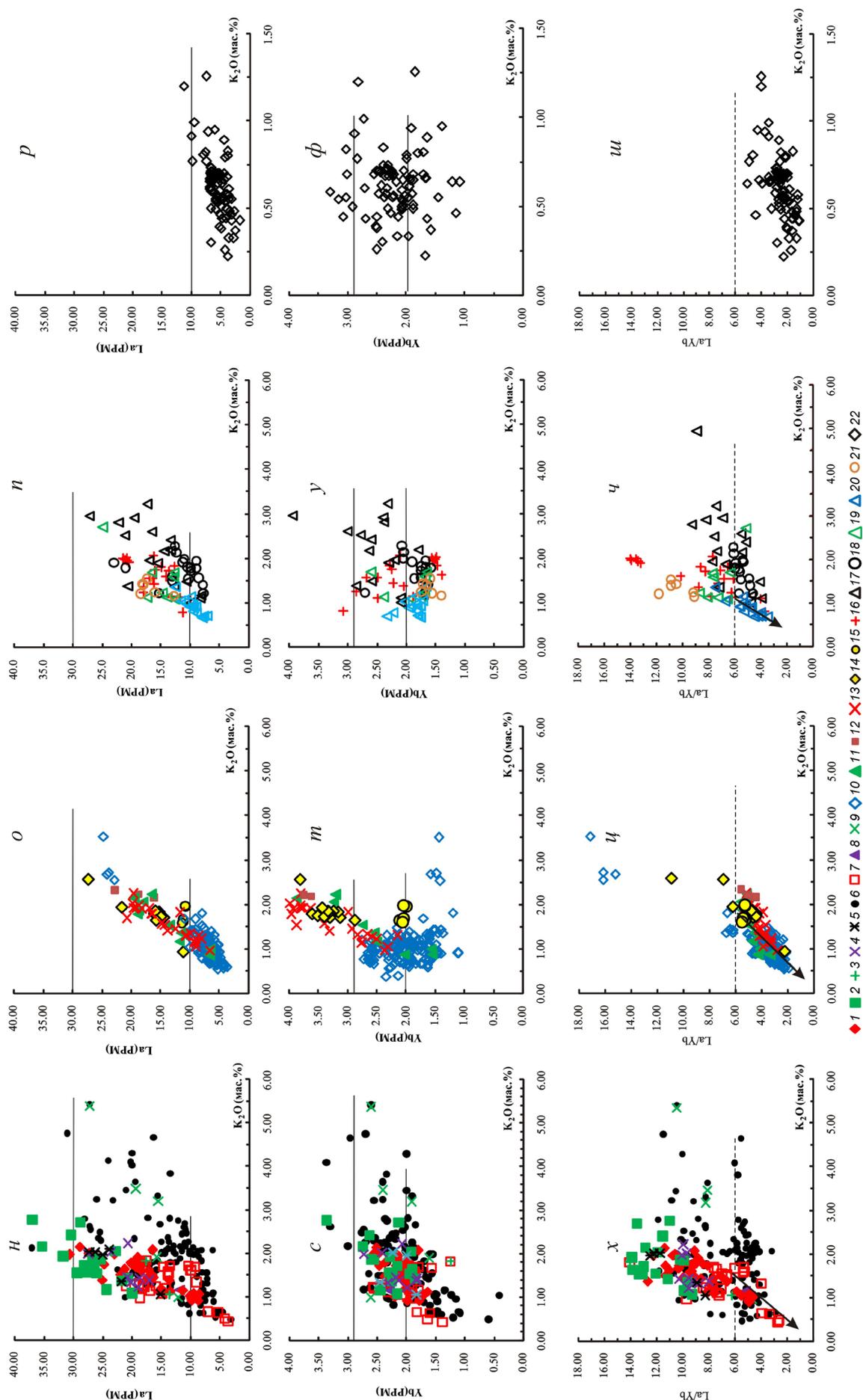


Рис. 3. Окончание

появления адакитовых характеристик вулканитов. И мы действительно отмечаем появление адакитов ( $Sr/Y \geq 40$ ) в составе пород в районах Озерная (78), Тымлат (60), Валоваям (74), гор Плоская (58), Столбовая-Половинная (56), вулканов: Теклетунуп (57), Ичинский (39), Уксичан (42), Орловский (55), Кекукнайского массива (69) (рис. 3*и*), вулканов Шивелуч (53), Харчинский (51) (рис. 3*к*), Бакенинг (23), плато-вулканитов Озерной Камчатки (70) и междуречья Лев. и Прав. Камчатки (Перепелов, 2014) (рис. 3*л*). Наличие адакитов или подобных им пород в этих районах неоднократно отмечалось в (Колосков и др., 2018, 2019; Перепелов, 2014; Kerezhinskas et al., 1997). Отношения  $La/Yb$  при этом «не дотягивают» до известной границы  $La/Yb \geq 20$ , которая обычно используется как критерий для выделения этого компонента. Однако, точки предполагаемых адакитовых составов образуют такой же суб-вертикальный тренд, который сопровождает появление внутриплитных характеристик в отличии от островодужных (рис. 2). Этот тренд начинается примерно при  $Sr/Y \geq 30$  (рис. 3*и*) или даже при  $Sr/Y \geq 20$  (рис. 3*к*, 3*л*) и  $La/Yb \geq 6$  (рис. 3*х*, 3*ц*, 3*ч*). Ни эти ли границы в действительности нужно использовать для выделения адакитового компонента вулканических серий островных дуг и континентальных окраин? По-видимому, такие границы должны быть «скользящими», различающимися для различных регионов. Ведь помимо представлений о существовании «континентальных» адакитов, НЕВ-адакитов, магнезиальных андезитов А- или П-типа с высоким  $Sr/Y$  ( $\geq 40$ ) (Вольнец и др., 1998; Перепелов, 2014) упоминаются также адакиты с умеренным  $Sr/Y$  (20–40) отношением (Моуен, 2009). Использование «скользящих» границ существенно расширяет возможности идентификации этого типа пород.

**Графическое отображение результатов и их анализ.** Усредненные геохимические характеристики для различных объектов проявления позднекайнозойского вулканизма с учетом отмеченных граничных значений представлены в виде серии диаграмм (рис. 4). Перейдем к их рассмотрению, используя иногда и диаграммы рис. 2 и 3. На фоне преобладающих умеренно

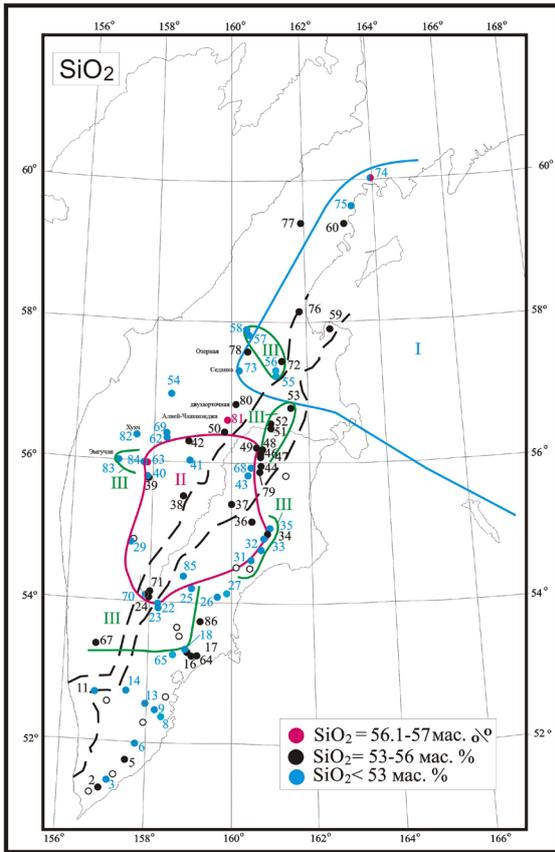
магнезиальных базальтовых составов некоторое возрастание кремнекислотности отмечается в районе аномалий I, II и III (рис. 4*а*). Хотя и здесь наблюдается совмещение глиноземистых и магнезиальных характеристик (рис. 4*в*). На фоне в целом низкой, «островодужной» титанистости повышение содержаний  $TiO_2$  наблюдается в пределах аномалии II, ЦКД и возможном ее продолжении до района Валоваям (74) (рис. 4*б*). Только за счет участия внутриплитных базальтов (или близких к ним составов) отмечается возрастание этой характеристики в породах Срединного хребта и его тыловой зоны (рис. 2*а*, 4*б*), некоторых вулканов Ключевской группы: Толбачики (68), Ушковский (49), (рис. 2*б*, 4*б*), ЦКД — Начикинский (59), Бакенинг (23), Николка (37) (рис. 2*в*, 4*б*). От фронтальной к тыловой зоне наблюдается возрастание содержаний K (рис. 4*д*), Sr (рис. 3*а*, 4*д*), Ba (рис. 4*е*), La (рис. 3*и*), Ce (рис. 4*ж*), Zr (рис. 2*д*, 4*з*), Nb (рис. 2*д*, 4*к*), Hf (рис. 2*н*, 4*и*), Pb (рис. 4*л*), хотя повышенные концентрации этих элементов начинают проявляться независимо в пределах аномалии II и многих — III (за исключением восточной), а также ЦКД и ее возможного продолжения в р-не Валоваям (74) (кроме Pb). В отношении Y и Yb картина не ясная (рис. 4*м*), хотя, скорее, можно говорить об уменьшении концентраций этих элементов в общей совокупности составов пород Срединного хребта и его тыловой зоны (рис. 3*д*, 3*с*), но возрастании в породах повышенной К-ой щелочности в отдельных объектах Ключевской группы (рис. 3*е*, 3*м*) и ЦКД (рис. 2*ж*, 2*у*). В область пониженных Sr-изотопных значений I попадает также одна из аномалий высоких Sr-изотопных отношений III, отражающая эффект сочленения Камчатской окраины с Командорско-Алеутской островодужной системой, а также часть ЦКД, возможно, значительная, если она продолжается до р-на Валоваям (74). Поэтому, оценить собственный геохимический вклад этой области в общую картину распределения геохимических характеристик достаточно сложно. Тем более, что здесь опробована только часть континентальной окраины. По-видимому, эта область представлена низкотитанистыми умеренномагнезиальными андезибазальтами с невысокими

**Рис. 4.** Карты-схемы распространения базальтоидов Камчатки с различными относительными содержаниями компонентов:  $SiO_2$  (а),  $TiO_2$  (б), MgO (в),  $K_2O$  (г), Sr (д), Ba (е), Ce (ж), Zr (з), Hf (и), Nb (к), Pb (л), Yb (м). Цветовая палитра соответствует интервалам концентраций элементов, указанных во врезках. Отмечены границы Sr-изотопных аномалий: I —  $^{87}Sr/^{86}Sr \leq 0.7030$ ; II —  $^{87}Sr/^{86}Sr = 0.70332-0.7034$ ; III —  $^{87}Sr/^{86}Sr > 0.7034$  (также, как и на рис. 1) и контуры ЦКД (черный пунктир).

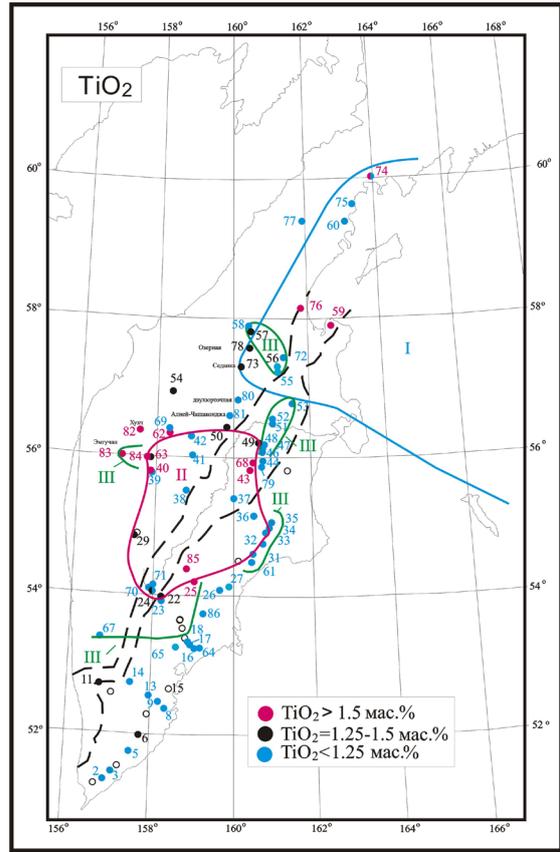
**Fig. 4.** Maps of the distribution of Kamchatka basaltoids with different relative contents in components:  $SiO_2$  (a),  $TiO_2$  (b), MgO (v),  $K_2O$  (g), Sr (d), Ba (e), Ce (zh), Zr (z), Hf (i), Nb (k), Pb (l), Yb (m). The color palette corresponds to the concentration ranges of the elements indicated in the sidebars. The boundaries of Sr-isotopic anomalies are marked: I —  $^{87}Sr/^{86}Sr \leq 0.7030$ ; II —  $^{87}Sr/^{86}Sr = 0.70332-0.7034$ ; III —  $^{87}Sr/^{86}Sr > 0.7034$  (same as on Fig. 1) and the circuits of the CKD (black dotted line).

ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ

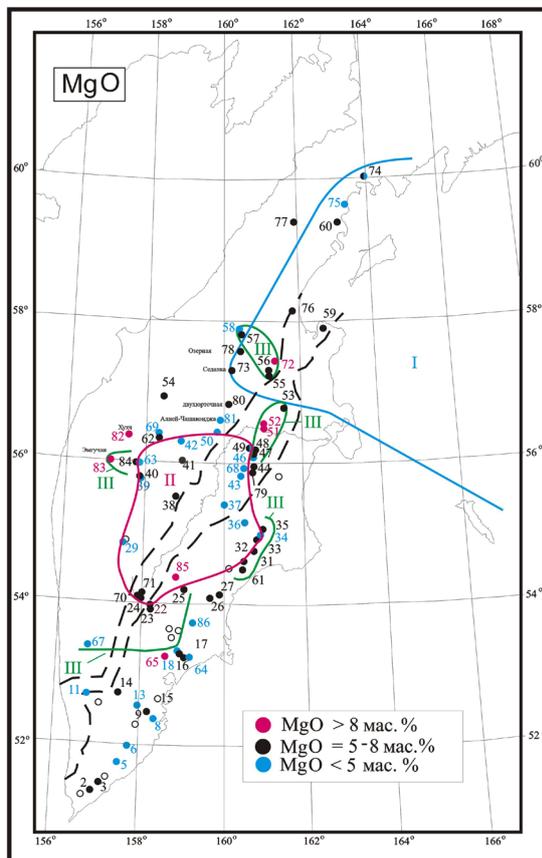
*a*



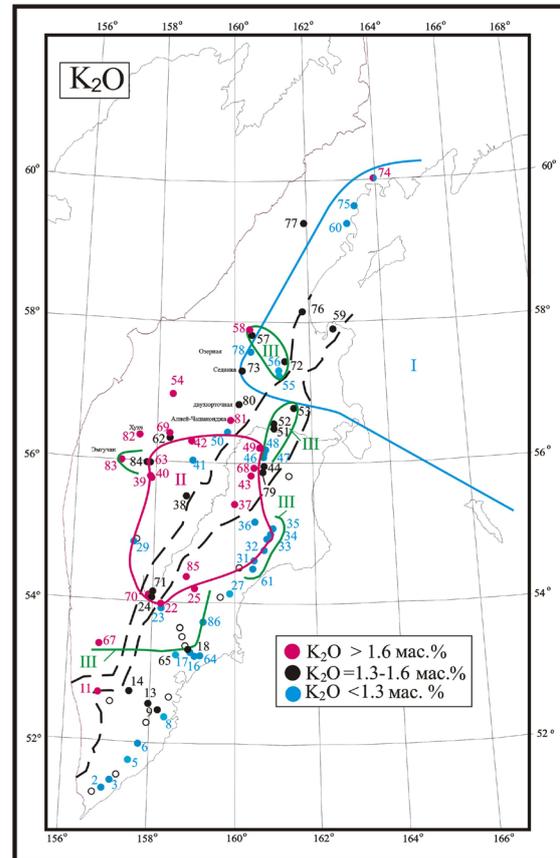
*б*



*в*



*г*



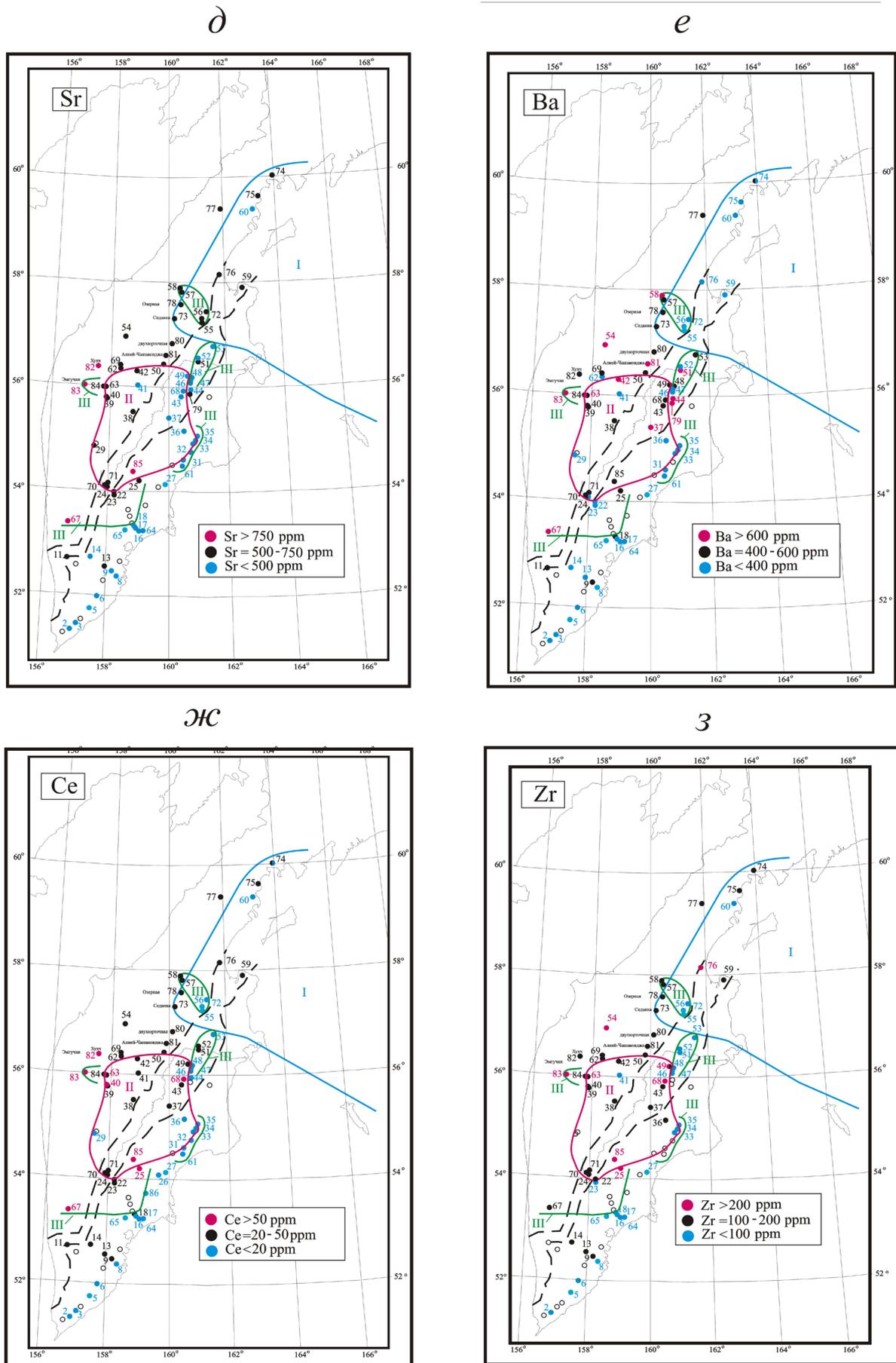
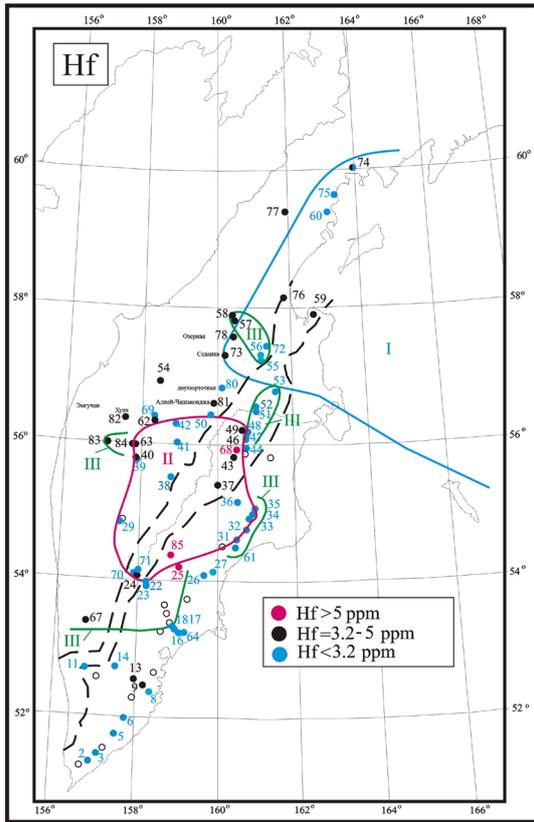


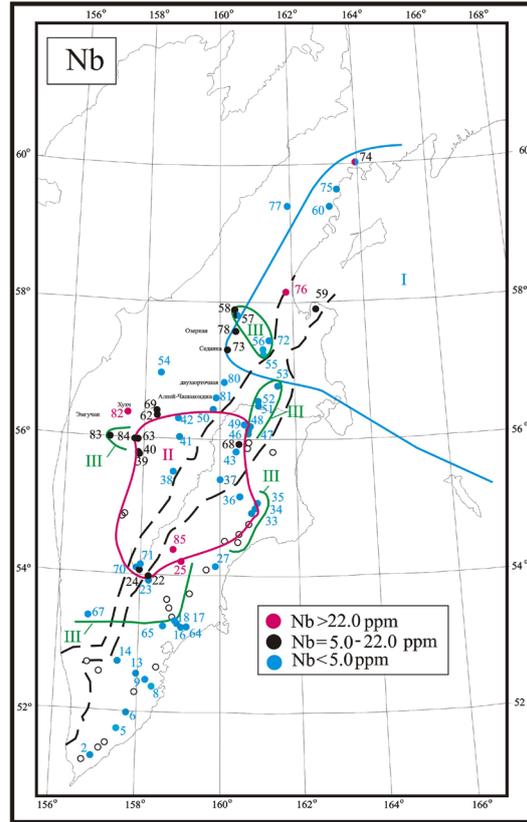
Рис. 4. Продолжение

ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ

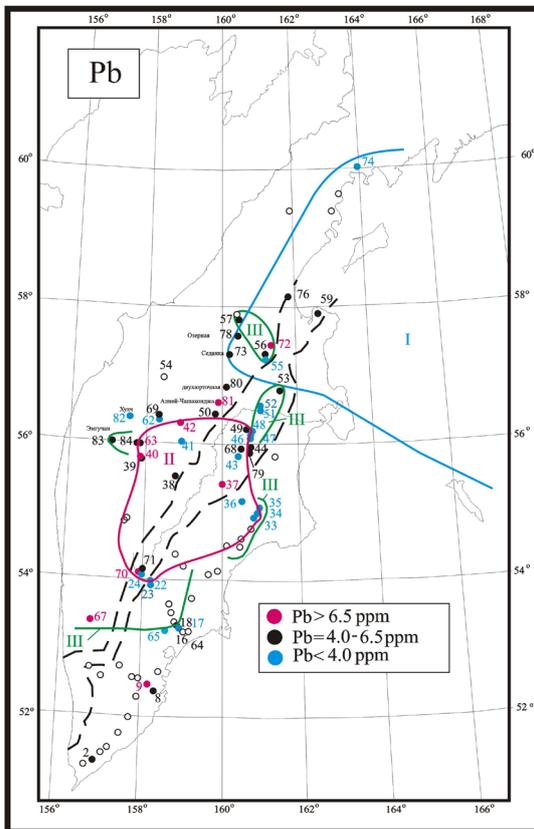
И



К



Л



М

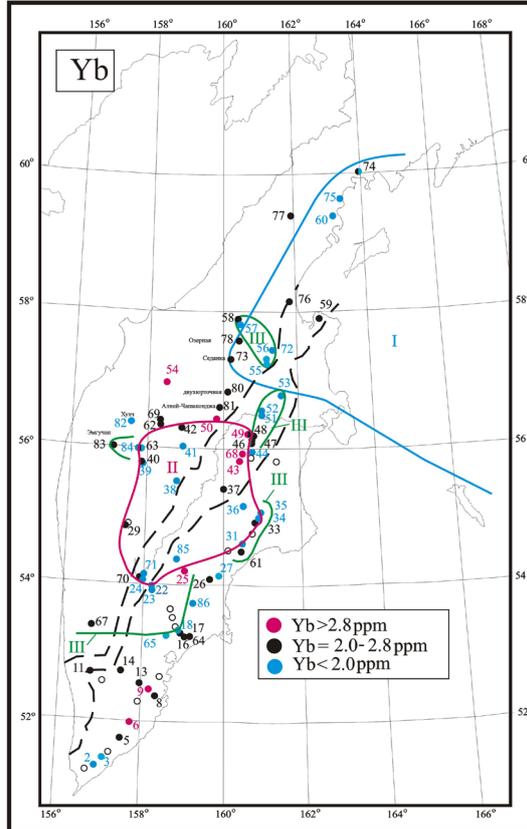


Рис. 4. Окончание

концентрациями К, Ва, Nb, Hf, Yb, умеренным содержанием Sr, низким или умеренным Се и Zr. Северная аномалия III, включая также вулканы Шивелуч (53), Харчинский (52) и Заречный (51) характеризуется повышенной магнезиальностью базальтоидов (рис. 4в) и более высокими концентрациями в них Sr (рис. 3б), Ва (рис. 4е), К (рис. 4з), Pb (рис. 4л), La (рис. 3о), Се (рис. 4ж), Zr (рис. 2е), Hf (рис. 2о).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведено графическое сопоставление изотопно-геохимического материала плиоцен-четвертичных вулканических пород Камчатки. Сделано это двумя методами: 1) в виде сравнительного рассмотрения корреляционных диаграмм элементы-калиевая щелочность для пород Срединного хребта Камчатки и его тыловой зоны, Ключевской группы и вулканов: Шивелуч (53), Харчинский (52), Заречный (51), Центральной Камчатской депрессии и Фронтальной зоны и 2) путем рассмотрения отдельных карт-графиков, на которых для отдельных центров проявления вулканизма вынесены усредненные содержания элементов в установленных первоначально границах концентраций. Корреляционные диаграммы элементы-калиевая щелочность показали наличие двух геохимических трендов: субвертикального, когда изменение концентраций элементов не зависит от меняющейся К-ой щелочности, и полого наклонного (либо субгоризонтального), когда элементы коррелируются с изменением щелочности пород, либо эта щелочность проявляется не зависимо от содержания других элементов. Первый тип трендов отражает появление известных в пределах Камчатского региона пород внутриплитного геохимического типа и адацитов. Но предельные границы концентраций индикаторных элементов (Ti, Nb, Zr, Hf) или их отношений (Sr/Y, La/Yb), которые обычно используются для выделения этих специфических типов пород, могут быть существенно расширены (в сторону более низких значений), что дает большие возможности для их идентификации. Поскольку оба типа субвертикальных трендов «внутриплитный» и «адацитовый» в отношении пород Срединного хребта, его тыловой зоны и вулканитов ЦКД располагаются в одном диапазоне калиевой щелочности ( $K_2O=0.6-2.25$ ), можно предположить существование для них единого мантийного источника, который, судя по изотопным характеристикам, имеет плюмастеносферный состав (Колосков и др., 2014). Полоса «адацитовых» субвертикальных трендов для базальтов вулканов Шивелуч (53) и Харчинский (52) располагается в области большей калиевой щелочности ( $K_2O=0.8-3.5$ ), поэтому

они могут быть связаны с иным мантийным или сублитосферным источником в зоне сочленения континентальной окраины Камчатки и Командорско-Алеутской островодужной системы. Проявления внутриплитного и адацитового вулканизма отчетливо концентрируются вблизи центральной «плюмогенной» Sr-изотопной аномалии II или ее «ожерелья» III (рис. 1а), поэтому их в равной степени можно рассматривать как индикаторными в отношении плюмовой геодинамики. Сравнительное рассмотрение карт-графиков, а также рис. 5, где представлен поперечный геохимический профиль по линии А-Б (рис. 1а), показало наличие поперечной геохимической зональности — возрастание частоты встречаемости пород с повышенными содержаниями К, Ti, Sr, Ва, La, Се, Zr, Nb, Hf, Pb, Yb при движении от фронтальной к тыловой области Камчатского региона. В отношении  $SiO_2$  и  $MgO$  наблюдается двоякая картина: кремнекислотность уменьшается, а магнезиальность возрастает в породах островодужного типа, но проявляется обратным образом в связи с вулканитами внутриплитного типа (рис. 5). И она существенно нарушается в области проявления центральной (II) и большинства небольших, непосредственно ее окружающих (III), Sr-изотопных аномалий, а также на всем протяжении ЦКД. Происходит это в основном за счет появления пород с внутриплитными или адацитовыми характеристиками. Вряд ли проявление поперечной зональности каким-либо образом связано с геометрией сейсмофокальной зоны. Это было отмечено еще в (Колосков, 2001). Исключить влияние неоднородности мантийного субстрата мы не можем, хотя и здесь требуются серьезные доказательства (например, различие в составе мантийных ксенолитов). Однако, главным фактором влияния здесь может быть энергетический — явное ослабление и прекращение вулканизма при движении от Тихоокеанской к Охотоморской окраине связано, по-видимому, с проблемой энергетики. Угасание Охотоморского плюма сопровождается уменьшением степени плавления мантийных источников и как следствие ведет к повышению щелочности пород и возрастанию концентраций всех несовместимых элементов.

Конечно, существуют различные варианты интерпретации наблюдаемых закономерностей. Большинство исследователей, признавая существование внутриплитных вулканитов в составе проявлений позднекайнозойского вулканизма Камчатки, тем не менее приоритет отдают субдукционному фактору (Churikova et al., 2001; Kepezhinskas et al., 1997; Portnyagin et al., 2007, 2015; Volynets et al., 2010 и др.). Существуют также представления о возникновении в пределах Срединного хребта Камчатки, начиная

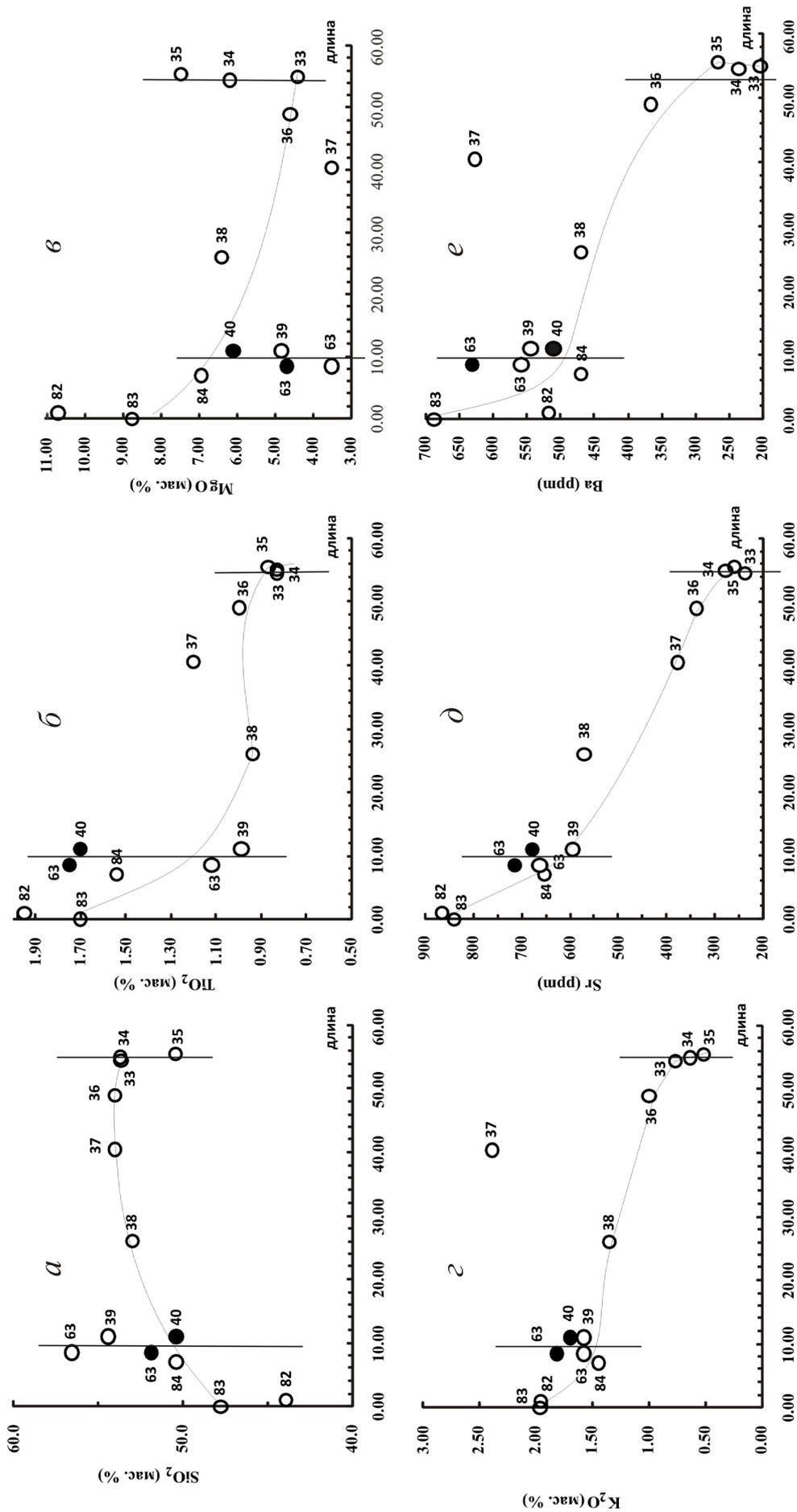


Рис. 5. Геохимический профиль по линии А-Б. Цифры соответствуют номерам объектов на рис 1а. 1–2 — геохимические типы: внутриплитный (1) и островодужный (2).

Fig. 5. Geochemical profile on line A-B. Numbers subjects as on Fig. 1a. 1–2 — geochemical types: intraplate geochemical type (1), island-arc type (2).

КОЛОСКОВ

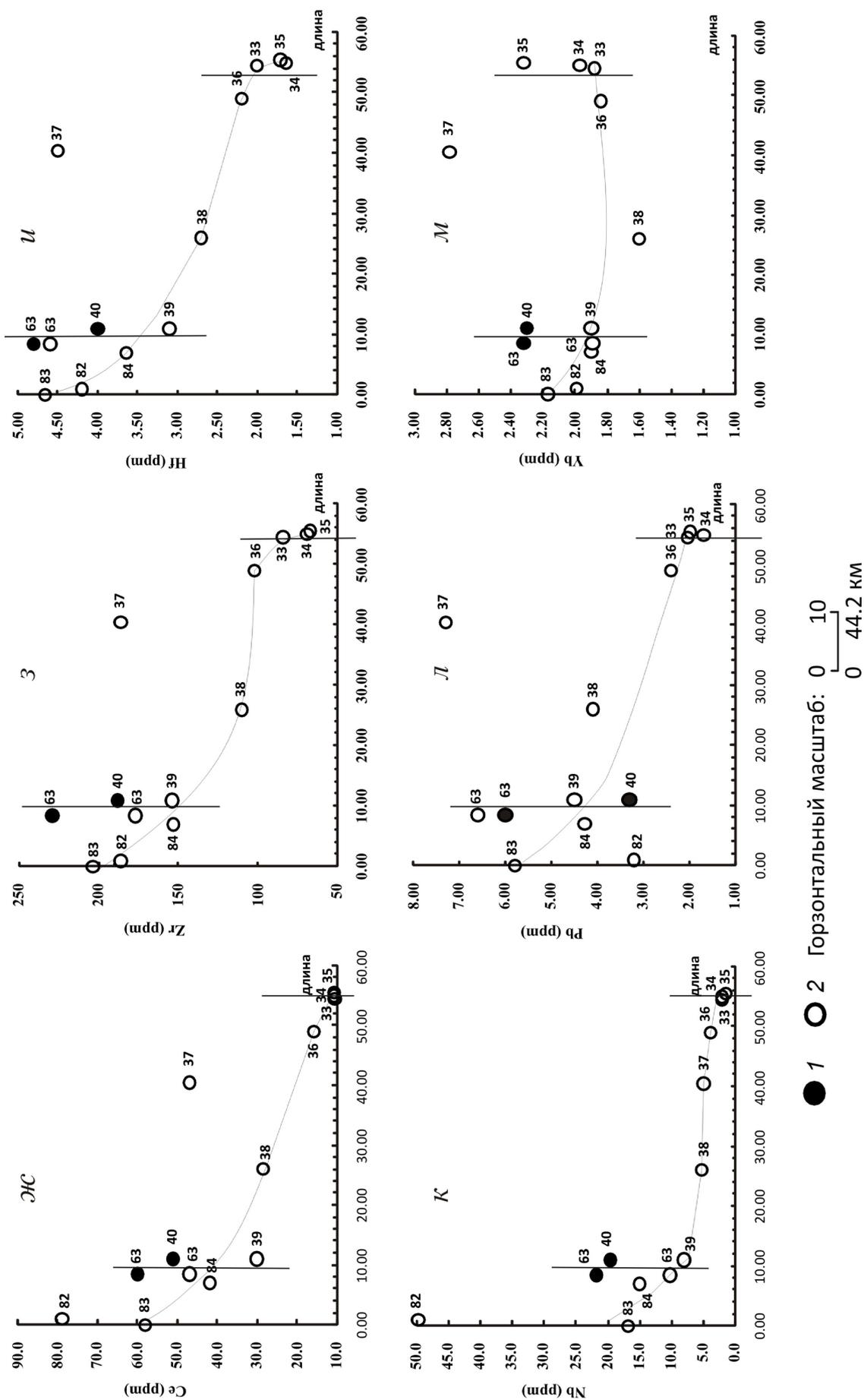


Рис. 5. Окончание

со среднего плиоцена, некоторой паузы, когда субдукционный механизм перестает работать, а в открывшееся литосферное окно происходит апвеллинг вещества Западно-Камчатского астеносферного плюма, участием которого определяются появление внутриплитного субщелочного K-Na магматизма в этом регионе (Перепелов, 2014). Можно также сослаться на работу П.И. Федорова (2006), в которой «установлено, что влияние субдукционного компонента становится незначительным (чаще отсутствует) в плиоцен-четвертичных вулканитах» на восточной окраине Азии. Наконец, следует отметить и концепцию «глобального» плюмового диапиризма и рифтогенеза А.Ю. Антонова (2008). Эта концепция, по-видимому, может объяснить многие отмеченные в работе закономерности: пространственно-временное сочетание пород с внутриплитными и островодужными характеристиками, возникновение поперечной геохимической зональности в результате наклонного (с перегибом) положения мантийных диапиров и их угасания, появление продольных (ЦКД) и поперечных рифтогенных структур и особенности связанного с ними магматизма. К этому можно добавить, что известная модель образования «нестандартных» адакитов на краю подвигаемой холодной океанической плиты за счет вторичного нагрева внедрившимся горячим астеносферным материалом (Yogodzinski et al., 2001) является лишь возможным частным примером участия энергетики мантийных плюмов в образовании адакитов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сделана еще одна попытка обобщения изотопно-геохимического материала для плиоцен-четвертичных вулканитов Камчатского региона на картографической основе. Использование значительного объема нового, наиболее прецизионного аналитического материала позволило существенно уточнить границы изотопных и геохимических аномалий и дать им во многом новую интерпретацию на основе предложенных петрологических моделей. Так пространственная сопряженность Sr-изотопных аномалий умеренной и повышенной радиогенности позволила интерпретировать их не только как отражение в составе пород плюмогенного источника, но и его окружающего «ожерелья» как следствия появления гибридных пород — результат контаминации краевых частей плюма литосферным материалом. Проявление разнонаправленных геохимических трендов (и их анализ) в породах внутриплитного типа и адакитах позволили предложить концепцию «скользящих» граничных значений, что существенно расширило

возможности их диагностики. Выделенные Sr-изотопные аномалии получили хорошее геохимическое подтверждение. Изотопно-геохимическая неоднородность базальтоидов региона определяется в целом особенностями концентрации пород с внутриплитными и адакитовыми геохимическими характеристиками, что позволяет считать астеносферный диапиризм основным фактором петрогенеза плиоцен-четвертичного вулканизма Камчатки.

## Список литературы [References]

- Акинин В.В., Андроников А.В., Мукаса С.Б. и др.* Меловая нижняя кора континентальной окраины севера Тихоокеанского региона: петролого-геохронологические данные по нижне-средне коровым ксенолитам // Петрология. 2013. Т. 21. № 1. С. 34–42. <https://doi.org/10.7868/S0869590313010032> [*Akinin V.V., Andronikov A.V., Mukasa S.B. et al.* Cretaceous lower crust of the continental margins of the northern Pacific: petrological and geochronological data on lower to middle crustal xenoliths // *Petrology*. 2013. V. 21. № 1. P. 28–65. <https://doi.org/10.1134/S0869591113010032>].
- Антонов А.Ю.* Геохимия и петрология мезо-кайнозойских магматических образований и мантийный диапиризм. Новосибирск: «ГЕО», 2008. 250 с. [*Antonov A.Yu.* Geochemistry and Petrology of Mesozoic igneous formations and mantle diapirism. Novosibirsk: GEO, 2008. 250 p. (in Russian)].
- Ант Ю.Е., Акинин В.В., Райт Дж.Е.* Изотопы Sr, Nd, и Pb в неогеновых меланефелинитах и в глубинных ксенолитах на Северо-Востоке России // Геохимия. 1998. № 1. С. 28–37 [*Ant Yu.E., Akinin V.V., Right J.E.* Sr, Nd, and Pb Isotopes in Neogene melanephelinites and deep xenoliths in the North-East of Russia // *Geochemistry*. 1998. № 1. P. 28–37 (in Russian)].
- Вольнец О.Н., Успенский В.С., Аношин Г.Н. и др.* Позднекайнозойские внутриплитные базальты восточной Камчатки // ДАН. 1990. Т. 313. № 4. С. 955–959 [*Volynets O.N., Uspensky V.S., Anoshin G.N. et al.* Late Cenozoic intra-plate basalts of eastern Kamchatka // *Doklady Earth Sciences*. 1990. V. 313. № 4. P. 955–959 (in Russian)].
- Вольнец О.Н.* Петрология и геохимическая типизация вулканических серий современной островодужной системы. Автореф. дис. докт. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 1993. 670 с. [*Volynets O.N.* Petrology and geochemical typification of the modern island-arc system volcanic series. Abstract M.: MSU, 1993. 670 p. (in Russian)].
- Вольнец О.Н., Колосков А.В., Виноградов В.И. и др.* Изотопный состав стронция и кислорода позднекайнозойских K-Na - щелочных базальтов внутриплитного геохимического типа, Камчатка // Петрология. 1995. Т. 3. № 2. С. 207–213 [*Volynets O.N., Koloskov A.V., Vinogradov V.I. et al.* Isotope composition of strontium and oxygen of the Late Cenozoic K-Na alkaline basalts of the intra-plate geochemical type, Kamchatka // *Petrology*. 1995. V. 3. № 2. P. 207–213 (in Russian)].

- Волынец О.Н., Карпенко С.Ф., Кэй Р.У. и др. Изотопный состав позднеэоценовых К-На – щелочных базальтоидов Восточной Камчатки: отражение гетерогенности мантийного источника магм // Геохимия. 1997. № 10. С. 1005–1018 [Volynets O.N., Karpenko S.F., Kay R.U. et al. Isotopic composition of Late Neogene K-Na - alkaline basaltoids of Eastern Kamchatka: reflection of heterogeneity of the mantle source of magmas // Geochemistry. 1997. № 10. P. 1005–1018 (in Russian)].
- Волынец О.Н., Овчаренко А.Н., Бояринова М.Е. и др. Первая находка магнезиальных андезитов А (Адак)-типа на Камчатке // Геология и геофизика. 1998. Т. 39. № 11. С. 1553–1564 [Volynets O.N., Ovcharenko A.N., Boyarinova M.E. et al. The first occurrence of magnesian andesites of the A (Adakite) type in Kamchatka // Geology and Geophysics. 1998. V. 39. № 11. P. 1553–1564 (in Russian)].
- Геохимическая типизация магматических и метаморфических пород Камчатки / Науч. ред. Кривенко А.П. Новосибирск. 1990. 250 с. [Geochemical typification of igneous and metamorphic rocks of Kamchatka / Scientific. ed. Krivenko A.P. Novosibirsk, 1990. 250 p. (in Russian)].
- Горбач Н.В., Портнягин М.В. Геологическое строение и петрология лавового комплекса вулкана молодой Шивелуч, Камчатка // Петрология. 2011. Т. 19. № 2. С. 140–172 [Gorbach N.V., Portnyagin M.V. Geological structure and petrology of the Molodoy Shiveluch Volcano lava complex, Kamchatka // Petrology. 2011. V. 19. №. 2 P. 140–172. <https://doi.org/10.1134/S086959111020068> (in Russian)].
- Грачев А.Ф. Идентификация мантийных плюмов на основе изучения вещественного состава вулканических пород и их изотопно-геохимических характеристик // Петрология. 2003б т. 11. № 6. С. 618–654 [Grachev A.F. Identification of mantle plumes based on the research of material composition of volcanic rocks and their isotope-geochemical characteristics // Petrology. 2003b t. 11. № 6. P. 618–654 (in Russian)].
- Давыдова В.О., Плечов П.Ю., Щербаков В.Д. и др. Ксенолиты высококальциевых трахиандезитов в пирокластических отложениях вулкана Безымянный (Камчатка) // Геология и геофизика. 2018. Т. 59. № 9. С. 1357–1371 <https://doi.org/10.15372/GiG20180903> [Davydova V.O., Plechov P.Yu., Scherbakov V.D. et al. High-K basaltic trachyandesite xenoliths in pyroclastic deposits from the Bezymianny volcano (Kamchatka) // Russian Geology and Geophysics. 2018. T. 59. № 9. P. 1087–1099 <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2018.08.003>].
- Давыдова М.Ю., Мартынов Ю.А., Перепелов А.Б. Эволюция изотопно-геохимического состава пород вулкана Уксичан (Срединный хребет, Камчатка) и ее связь с неогеновой тектонической перестройкой Камчатки // Петрология. 2019. Т. 27. № 3. С. 282–307. <https://doi.org/10.31857/S0869-5903273282-307> [Davydova M.Yu., Martynov Yu.A., Perepelov A.B. Evolution of isotope-geochemical composition of rocks from Uksichan Volcano (Sredinny Range, Kamchatka) and its association with the Neogene tectonic reconstruction of Kamchatka // Petrology. 2019. V. 27. № 3. P. 265–290. <https://doi.org/10.1134/S0869591119030020>].
- Жао Д., Пираино Ф., Лиу Л. Структура и динамика мантии под Восточной Россией и прилегающими регионами // Геология и геофизика, 2010. Т. 51. № 9. С. 1188–1203 [Zhao D., Piraino F., Liu L. Structure and dynamics of the mantle under Eastern Russia and adjacent regions // Geology and Geophysics, 2010. V. 51. № 9. P. 1188–1203. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2010.08.003> (in Russian)].
- Иванов Б.В. Андезиты Камчатки. М.: Наука. 2008. 470 с. [Ivanov B.V. Andesites of Kamchatka. M.: Science. 2008. 470 p. (in Russian)].
- Колосков А.В. Ультраосновные включения и вулканы как саморегулирующаяся геологическая система. М.: Научный Мир, 1999. 223 с. [Koloskov A.V. Ultrabasic inclusions and volcanics as the self-regulating geological system. M.: Scientific World, 1999. 223 p. (in Russian)].
- Колосков А.В. Изотопно-геохимическая неоднородность плиоцен-четвертичных вулканических Камчатки, геометрия субдукционной зоны, модель флюидно-магматической системы // Вулканология и сейсмология. 2001. № 6. С. 16–42 [Koloskov A.V. Isotope-geochemical heterogeneity of pliocene-quaternary volcanics from Kamchatka, geometry of subduction zone, model of fluid-magmatic system // Volcanology and Seismology. 2001. № 6. P. 16–42 (in Russian)].
- Колосков А.В. Аномальные магматические зоны современных островодужных систем. Корякско-Камчатская вулканическая зона Геодинамика, магматизм и металлогения востока России. Кн. 1. Под ред. Ханчука А.И.. Дальнаука. 2006. С. 398–417 [Koloskov A.V. Anomalous magmatic zones of the modern island arc systems. Koryak-Kamchatka volcanic zone. Geodynamics, magmatism and metallogeny of Eastern Russia. Book 1. Ed. Khanchuk A.I. Dalnauka. 2006. P. 398–417 (in Russian)].
- Колосков А.В., Флеров Г.Б., Перепелов А.Б. 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 [Koloskov A.V., Flerov G.B., Perepelov A.B. Stages of evolution and petrology of the Kekuknai Volcanic Massif as the reflection of magmatism of the rear zone of the Kuril-Kamchatka island-arc system. Pt. 1. Geological position and geochemical composition of volcanic rocks // Volcanology and Seismology. 2011. № 5. P. 17–41. <https://doi.org/10.1134/S074204631104004x>].
- Колосков А.В., Флеров Г.Б., Перепелов А.Б. и др. 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. <https://doi.org/10.7868/S0203030613020053> [Koloskov A.V., Flerov G.B., Perepelov A.B. et al. Stages of evolution and petrology of the Kekuknai Volcanic Massif as the reflection of magmatism of the rear zone of the Kuril-Kamchatka island-arc system. Pt. 2. Petrology-mineralogy peculiarity. The model of pathogenesis //

- Volcanology and Seismology. 2013. № 2. P. 63–89. <https://doi.org/10.1134/S0742046313020048>.
- Колосков А.В., Гонтова Л.И., Попруженко С.В.* Верхняя мантия Камчатки в изотопно-геохимических и геофизических аномалиях. Роль астеносферного диапиризма // Тихоокеанская геология. 2014. № 5. С. 118–122 [*Koloskov A.V., Gontovaya L.I., Popruzhenko S.V.* Upper mantle of Kamchatka in isotope-geochemical and geophysical anomalies. The role of asthenospheric diapirism // Pacific Geology. 2014. № 5. P. 118–122 (in Russian)].
- Колосков А.В., Давыдова М.Ю., Избеков П.Э. и др.* Эволюция состава пород Новых Толбачинских вулканов в ходе извержения 2012–2013 гг. Мантийный контроль в формате «онлайн» // Тихоокеанская геология. 2015. Т. 34. № 5. С. 19–39 [*Koloskov A.V., Davydova M.Yu., Izbekov P.E. et al.* Evolution of rock compositions observed during the 2012–2013 eruptions of the New Tolbachik volcanoes: Online mantle control // Russian Journal of Pacific Geology, 2015. V. 9. № 5. P. 338–358. <https://doi.org/10.1134/S1819714015050036> (in Russian)].
- Колосков А.В., Давыдова М.Ю., Ананьев В.В. и др.* Толбачинский вулканический центр: состав продуктов, этапность проявления, петрологическая модель // Вулканология и сейсмология. 2017а. № 4. С. 3–29 <https://doi.org/10.7868/S02030617040010> [*Koloskov A.V., Davydova M.Yu., Ananiev V.V. et al.* The Tolbachik Volcanic Center: The composition of ejecta, phases of activity, a petrologic model // Journal of Volcanology and Seismology. 2017. V. 11. № 4. P. 235–265. <https://doi.org/10.1134/S0742046317040042>].
- Колосков А.В., Мартынов Ю.А., Ананьев В.В.* Новые изотопно-геохимические и минералогические данные о составе ксенолитов ультрамафитов в вулканитах Камчатско-Корякского региона. Два типа мантийного субстрата в современной островодужной системе // Тихоокеанская геология. 2017б. Т. 36. № 2. С. 17–31 [*Koloskov A.V., Martynov Yu.A., Ananyev V.V.* New isotope-geochemical and mineralogical data on the ultramafic xenoliths in the volcanic rocks of the Kamchatka–Koryak region: Two types of mantle protolith in the modern island-arc system // Russian Journal of Pacific Geology. 2017b. V. 11. № 2. P. 95–109. <https://doi.org/10.1134/S1819714017020051> (in Russian)].
- Колосков А.В., Коваленко Д.В., Ананьев В.В.* Адакитовый вулканизм на континентальной окраине и его проблематика. Ч. 1. Адакиты верховьев р. Валоваям – новые возрастные и вещественные характеристики, петрологическая модель // Тихоокеанская геология. 2018. Т. 37. № 4. С. 3–37. <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2018-37-4-3-27> [*Koloskov A.V., Kovalenko D.V., Ananyev V.V.* Adakite Volcanism at the Continental Margin and Associated Problems. Pt. 1. Adakites from the Upper Reaches of the Valovayam River: New Age, Mineral, and Chemical Data and Petrological Modeling // Russian Journal of Pacific Geology. 2018. V. 12. № 4. P. 3–27. <https://doi.org/10.1134/S1819714018040024>].
- Колосков А.В., Коваленко Д.В., Ананьев В.В.* Адакитовый вулканизм на континентальной окраине и его проблематика. Ч. 2. Адакиты в составе пород Охотоморского, Камчатского и Беринговоморского регионов: типизация и петрогенезис // Тихоокеанская геология. 2019. Т. 38. № 5. С. 25–44. <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2019-38-5-25-44> [*Koloskov A.V., Kovalenko D.V., Ananyev V.V.* Adakite Volcanism at Continental Margin and Associated Problems. Pt. 2. Adakites from the Sea of Okhotsk, Kamchatka, and Bering Sea Regions: Typification and Genesis // Russian Journal of Pacific Geology. 2019. V. 13. № 5. P. 417–435. <https://doi.org/10.1134/S1819714019050051>].
- Перепелов А.Б.* Кайнозойский магматизм Камчатки на этапах смены геодинамических обстановок. Дисс. док. геол-мин наук. Иркутск: ИГХ СО РАН. 2014. 361 с. [*Perpelov A.V.* Cenozoic magmatism of Kamchatka at the stages of changing geodynamic settings. Diss. doc geol-min of sciences. Irkutsk: IHC SB RAS. 2014. 361 p. (in Russian)].
- Федоров П.И.* Кайнозойский вулканизм в зонах растяжения на восточной окраине Азии // Труды Геологического института. Вып. 573. 2006. 316 с. [*Fedorov P.I.* Cenozoic volcanism in extension zones on the eastern margin of Asia // Proceedings of GIN: V. 573. 2006. 316 p. (in Russian)].
- Флеров Г.Б., Перепелов А.Б., Пузанков М.Ю. и др.* Пространственно-временные соотношения вулканических ассоциаций разной щелочности Белоголовского массива (Срединный хребет Камчатки). Ч. 1. Геология, минералогия и петрология вулканических пород // Вулканология и сейсмология. 2014. № 3. С. 3–23. <https://doi.org/10.7868/S020303061403002x> [*Flerov G.B., Perpelov A.B., Puzankov M.Yu. et al.* The Space–Time Relationships between Volcanic Associations of Different Alkalinities: The Belogolovskii Massif in Kamchatka’s Sredinnyi Range. Pt. 1. The Geology, Mineralogy, and Petrology of Volcanic Rocks // Journal of Volcanology and Seismology. 2014. V. 8. № 3. P. 135–155. <https://doi.org/10.1134/S0742046314030026>].
- Флеров Г.Б., Колосков А.В., Пузанков М.Ю. и др.* Пространственно-временные соотношения вулканических ассоциаций разной щелочности Белоголовского массива (Срединный хребет Камчатки). Ч. 2. Геохимия вулканических пород и источники магм // Вулканология и сейсмология. 2016. № 4. С. 3–26. <https://doi.org/10.7868/S0203030616040027> [*Flerov G.B., Koloskov A.V., Puzankov M.Yu. et al.* Space–Time Relationships between Volcanic Associations of Different Alkalinities: The Belogolovskii Massif, Sredinnyi Range, Kamchatka. Pt. 2. Geochemistry of Volcanic Rocks and Magma Sources // Journal of Volcanology and Seismology. 2016. V. 10. № 4. P. 219–241. <https://doi.org/10.1134/S0742046316040023>].
- Чащин А.А., Мартынов Ю.А.* Петрология пород вулканов Горелый, Мутновский (Южная Камчатка). Владивосток: Дальнаука. 2011. 270 с. [*Chashchin A.A., Martynov Yu.A.* Petrology of rocks from Gorely and Mutnovsky Volcanoes (South Kamchatka). Vladivostok: Dalnauka. 2011. 270 p. (in Russian)].
- Almeev R.R., Kimura Jun-Ichi, Ariskin A.A. et al.* Decoding crystal fractionation in calc-alkaline magmas from the Bezymianny Volcano (Kamchatka, Russia) using mineral and bulk rock compositions // Journal of Volcanology and Geothermal. Research. 2013.

- V. 263. P. 141–171. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2013.01.003>.
- Bryant J.A., Yogodzinski G.M., Churikova T.G.* High-Mg# andesitic lavas of the Shisheisky complex, Northern Kamchatka: implications for primitive calc-alkaline magmatism // *Contributions to Mineralogy and Petrology* 2011. V. 161. P. 791–810. <https://doi.org/10.1007/S00410-010-0565-4>.
- Churikova T., Dorendorf F., Woerner G.* Sources and fluids in mantle wedge below Kamchatka, evidence from across-arc geochemical variation // *Journal of Petrology*. 2001. V. 42. P. 1567–1593. <https://doi.org/10.1093/ptrology/42.8.1567>.
- Churikova T.G., Gordeychik B.N., Ivanov B.V. et al.* Relationship between Kamen volcano and Klyuchevskaya group of volcanoes (Kamchatka) // *Journal Volcanology and Geothermal. Research*. 2013. V. 263. P. 3–21. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2013.01.003>.
- Churikova T.G., Gordeychik B.N., Iwamori H. et al.* Petrological and geochemical evolution of the Tolbachik volcanic massif, Kamchatka, Russia // *Journal Volcanology and Geothermal. Research*. 2015. V. 307. P. 156–181. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.10.026>.
- Dorendorf F., Churikova T., Koloskov A. et al.* Late Pleistocene to Holocene activity at Bakening volcano and surrounding monogenic centers (Kamchatka): volcanic geology and geochemical evolution // *Journal Volcanology and Geothermal. Research*. 2000. V. 104. P. 131–151. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(00\)00203-1](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(00)00203-1).
- Kepezhinskas P., Defant M.J., Drummond M.S.* Progressive enrichment of island arc mantle by melt-peridotite interaction inferred from Kamchatka xenoliths // *Geochimica Cosmochimica Acta*. 1996. V. 60. № 7. P. 1217–1229. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(96\)00001-4](https://doi.org/10.1016/0016-7037(96)00001-4).
- Kepezhinskas P.K., Mc Dermott F., Defant M.J. et al.* Trace element and Sr-Nd-Pb isotopic constraints on a three-component model of Kamchatka Arc petrogenesis // *Geochimica Cosmochimica Acta*. 1997. V. 61. № 3. P. 577–600. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(96\)00349-3](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(96)00349-3).
- Mogen J-F High Sr/Y and La/Yb ratios: The meaning of the "adakitic signature" // *Lithos*. 2009. V. 112. P. 556–574. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2009.04.001>.
- Pearce J.A., Parkinson I.J.* Trace element models for mantle melting: application to volcanic arc petrogenesis. From Prichard, H.M., Alabaster T., Harris N.B. W. et al. (eds). *Magmatic Processes and Plate Tectonics*. Geological Society Special Publication. 1993. № 76. P. 373–403.
- Petrone C.M., Francalanci L., Carlson R.W. et al.* Unusual coexistence of subduction-related and intraplate-type magmatism: Sr, Nd and Pb isotope and trace element data from the magmatism of the San Pedro-Ceboruco graben (Nayarit, Mexico) // *Chemical Geology*. 2002. V. 193. P. 1–24.
- Portnyagin M., Hoernle K., Avdeiko G. et al.* Transition from arc to oceanic magmatism at the Kamchatka-Aleutian junction // *Geology*. 2005. V. 33. № 1. P. 25–28. <https://doi.org/10.1130/G20853.1>.
- Portnyagin M., Bindeman I., Hoernle K. et al.* Geochemistry of primitive lavas of the Central Kamchatka Depression: Magma generation at edge of the Pacific Plate. Volcanism and tectonics of the Kamchatka peninsula and adjacent arcs // *Geophys. Monograph. Series / Ed. J. Eichelberger*. 2007. V. 172. P. 199–239.
- Portnyagin M., Duggen S., Hauff F. et al.* Geochemistry of the late holocene rocks from the Tolbachik volcanic field, Kamchatka: Quantitative modelling of subduction-related open magmatic systems // *Journal Volcanology and Geothermal. Research*. 2015. V. 307. P. 133–155. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.08.015>.
- Scholl D.M., Marlow M.S., MacLod N.S. et al.* Episodic Aleutian Ridge igneous activity: Implications of Miocene and younger submarine volcanism west of Bulder island // *Geological Society of America Bulletin*. 1976. V. 87. P. 547–554.
- Volynets A.O., Churikova T.G., Woerner G. et al.* Mafic Late Miocene-Quaternary volcanic rocks in the Kamchatka back arc region: implication for subduction geometry and slab history at the Pacific-Aleutian junction // *Contribution to Mineralogy and Petrology*. 2010. V. 159. № 5. P. 659–687. <https://doi.org/10.1007/S00410-009-0447-9>
- Volynets A.O., Edwards B.R., Melnikov D.V. et al.* Monitoring of the volcanic rocks compositions during the 2012–2013 fissure eruption of Tolbachik volcano, Kamchatka // *Journal Volcanology and Geothermal. Research*. 2015. V. 307. P. 120–132. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.07.014>.
- Wanke M., Portnyagin M., Hoernle K. et al.* Bowers Ridge (Bering Sea): An Oligocene–Early Miocene island arc // *Geology*. 2012. V. 40. № 8. P. 687–690. <https://doi.org/10.1130/G33058.1>
- Winer G.S., Feeley T.C., Cosca M.A.* Basaltic volcanism in the Bering Sea: geochronology and volcanic evolution of St. Paul Island, Pribilof Islands, Alaska // *Journal Volcanology and Geothermal. Research*. 2004. V. 134 P. 277–301. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2004.02.003>.
- Yogodzinski G.M., Kay R.M., Volynets O.N. et al.* Magnesianandesites in the western Aleutian Komandorsky region: Implications for slab melting and processes in the mantle wedge // *Geological Society of America Bulletin*. 1995. V. 107. P. 505–519.
- Yogodzinski G.M., Lees J.M., Churikova T.G. et al.* Geochemical evidence for the melting of subduction oceanic lithosphere et plate edges // *Nature*. 2001. V. 409. P. 500–504.
- Zhang M., Stephenson P.J., O'Reilly S.Y. et al.* Petrogenesis and geodynamic implications of late Cenozoic basalts in North Queensland, Australia: Trace-element and Sr-Nd-Pb isotope evidence // *Journal to Petrology*. 2001. V. 42. № 4. 685–719. <https://doi.org/10.1093/ptrology/42.4.685>.

ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ  
**ISOTOPE-GEOCHEMICAL HETEROGENEITY  
OF PLIOCENE-QUATERNARY VOLCANICS FROM KAMCHATKA  
AND THE ASTHENOSPHERIC DIAPIRISM PROBLEM**

**A.V. Koloskov**

*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, 683006*

Isotope-geochemical material for Pliocene-Quaternary volcanoes of the Kamchatka region is generalized on a cartographic basis. The Sr-isotope anomalies of moderate and elevated radiogenicity, geochemically confirmed, are spatially conjugated. This made it possible to interpret these anomalies not only as a reflection of mantle plume material in the composition of volcanic rocks, but also of its hybrid environment, as a consequence of plum-lithosphere remobilization. The presence of multi-directional geochemical trends made it possible to propose the concept of moving boundary values for the composition of indicator rocks of the intraplate type and adakites, which significantly expanded the possibilities of their diagnostics. The isotope-geochemical heterogeneity of basaltoids of the region is generally determined by the peculiarities of concentration of rocks with intraplate and adakite geochemical characteristics, which allows considering the asthenospheric diapirism as the main factor of petrogenesis of Pliocene-Quaternary volcanism in Kamchatka.

*Keywords: Kamchatka, isotopy, geochemistry, asthenospheric diapirism, Pliocene-Quaternary volcanic rocks.*

Поступила в редакцию 14.01.2020 г.  
После доработки 28.07.2020 г.  
Принята в печать 31.07.2020 г.