

УДК 551.21

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИГНИМБРИТОВ
КАЛЬДЕРЫ КАРЫМШИНА (ЮЖНАЯ КАМЧАТКА)

Рылова С. А.^{1,2}, Rogozin A. H.²

¹*Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга*

²*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

Научный руководитель: к.г. – м.н. Леонов В. Л.

В статье представлены результаты исследования игнимбритов кальдеры Карымшина, игнимбритов палеовулкана Сучуган (докальдерный этап вулканизма) и пород экструзий, развитых вдоль границ кальдеры (посткальдерный этап вулканизма). Проводится сравнительный анализ этих пород с помощью вариационных диаграмм, диаграмм Харкера и спайдер-диаграмм редких и редкоземельных элементов.

Ключевые слова: геохимия, кальдера Карымшина, Камчатка.

ВВЕДЕНИЕ

В ходе исследований на территории Южной Камчатки в 2007 году была открыта крупнейшая на полуострове кальдера – Карымшина [2]. В плане она имеет овальную форму, вытянутую в северо-западном направлении (по длинной оси – 25 км, по короткой – 15 км). По предварительным подсчетам объем изверженных продуктов, выброшенных при формировании кальдеры, составил $\sim 825 \text{ км}^3$, что позволило отнести ее к суперкальдерам. Возраст кальдеры был определен в 1.78 млн. лет [7]. В последние годы было проведено изучение разрезов вулканогенных отложений и Ar-Ar датирование пород докальдерного комплекса. На основании полученных данных вулканогенные толщи района, относящиеся предыдущими исследователями к единому Карымшинскому комплексу, нами были разделены. Было выделено, как минимум, три этапа кислого вулканизма, проявившегося в плиоцене – раннем плейстоцене на Южной Камчатке [3].

В данном сообщении рассмотрены геохимические особенности пород выделенных в [3] этапов кислого вулканизма. С помощью диаграмм

Харкера, ряда вариационных диаграмм и спайдер-диаграмм по R3Э и редким элементам проводится сравнительный анализ игнимбритов кальдеры Карымшина (кальдерообразующий этап), игнимбритов палеовулкана Сучуган (докальдерный этап) и экструзий (посткальдерный этап), развитых вдоль границ выделенной кальдеры.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД ДОКАЛЬДЕРНОГО, КАЛЬДЕРООБРАЗУЮЩЕГО И ПОСТКАЛЬДЕРНОГО КОМПЛЕКСОВ

В результате структурно-геологических, вулканологических и петрохимических исследований, проведенных на территории рассматриваемого района, были выявлены комплексы пород, отвечающие трем последовательным этапам развития Карымшинской кальдеры: докальдерный, кальдерообразующий и посткальдерный.

Докальдерный этап (I комплекс) предположительно имеет среднеплиоценовый возраст (3.4–2.6 млн. лет). В результате проведенных исследований [1] впервые были выделены и охарактеризованы вулканические постройки, которые существовали в районе, где сформировалась суперкальдера Карымшина, непосредственно перед тем, как произошло суперизвержение. Были реконструированы вулканы по краям кальдеры в ее северной, западной и южной частях (вулканические постройки, вскрытые в разрезах гор Шемедоган (1447.6 м), Ягодная (1246.3 м), Сучуган (1118.5 м), Горячая (1310.0 м) и еще ряда безымянных географических высот района).

Кальдерообразующий этап (II комплекс) имеет эоплейстоценовый возраст (1.78–1.2 млн. лет). Он представлен в основном игнимбритами и кристалловитрокластическими кварцевыми туфами, связанными с образованием суперкальдеры, которые прислонены к останцам вулканов I комплекса, сформировавших борт структуры на докальдерном этапе. Максимальная мощность игнимбритовых отложений была определена в центральной части депрессии, в верховьях р. Пр. Карымчина, где она

достигает 1000 метров. Полевые работы 2012–2013 гг. позволили откартировать ранее не выделявшееся обширное поле игнимбритов – следы мощного пирокластического потока, связанного с кальдерой Карымшина. Максимальная мощность потока – более 500 метров.

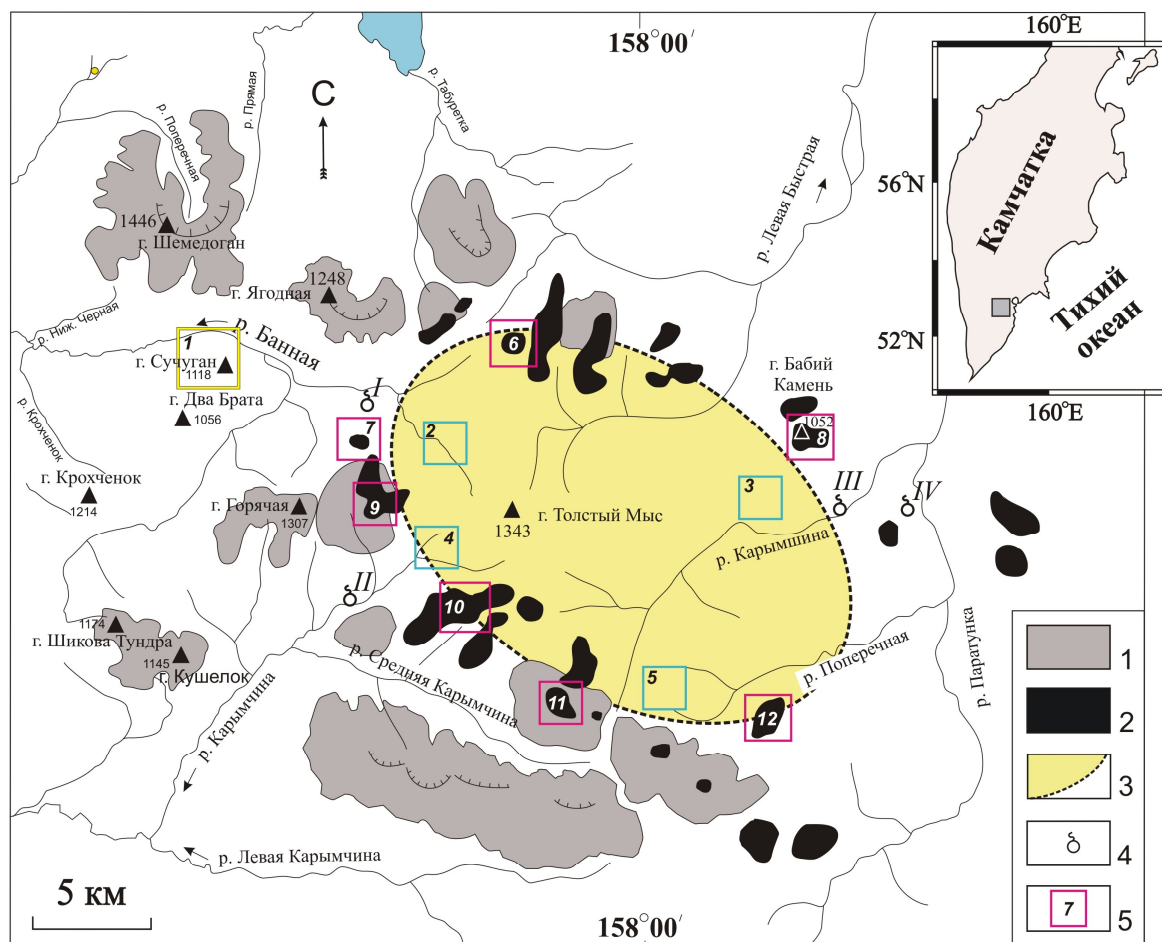


Рис. 1. Обобщенная схема расположения мест отбора образцов пород, используемых в работе. 1 – докальдерные вулканы (I комплекс), 2 – посткальдерные экструзии и лавовые потоки кислого состава (III комплекс), 3 – границы кальдеры и область распространения игнимбритов (II комплекс), 4 – термальные источники (I – Больше-Банная, II – Карымчинские, III – Карымшинские, IV – Верхне-Паратунские), 5 – районы, где отбирались пробы (1 – игнимбриты палеовулкана Сучуган, 2-5 – игнимбриты кальдеры Карымшина, 6-12 – риодацит-риолитовые экструзии посткальдерного этапа).

Посткальдерный этап (комплекс III) относится нами к нижнему и среднему неоплейстоцену (0.5–0.8 млн. лет). Были исследованы экструзии и потоки кислых (риодацит-риолитовых) лав, большая их часть расположена вдоль границ выделенной кальдеры. Определены размеры отдельных экструзивных тел, мощности лавовых потоков. В ходе полевых

исследований установлено, что с некоторыми экструзивными куполами связаны мощные лавовые потоки, которые залегают с пологим наклоном от центральной части структуры к ее краям [5]. Подсчитаны объемы кислых экструзий и их потоков, общий их объем составляет – 2.68 км³, площадь – 26.44 км². В ходе проведенных исследований на настоящий момент нами установлено, что формирование столь больших объемов кислой магмы – явление для Камчатки особое. Пока нигде в других местах на полуострове столь крупных объемов извергнутого пирокластического материала не обнаружено. Уникальными также являются объемы кислых экструзий и связанных с ними лавовых потоков, сформировавшихся на посткальдерном этапе – таких объемов кислых лав на Камчатке в других местах нет.

ГЕОХИМИЯ ПОРОД

Изучение петрохимии докальдерных, кальдерообразующих и посткальдерных пород кальдеры Карымшина показало, что их состав изменяется от андезитов до риолитов (SiO₂ от 62,3 до 77,7%). Для того, чтобы показать особенности игнимбритов кальдеры Карымшина, были построены диаграммы Харкера, вариационные диаграммы и спайдер-диаграммы концентрации редкоземельных элементов этих пород, проведено их сравнение с до- и посткальдерными породами исследуемого района.

Для вариационных диаграмм использовались валовые силикатные анализы (23 штуки), которые были сделаны в Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН методом рентгенофлуоресцентной спектromетрии на приборе «S4 PIONEER» по методике Geo-Quant фирмы Bruker AXS, аналитики – Е.В. Карташева, И.Ф. Тимофеева. Анализы содержания редких элементов и элементов-примесей проводились в лаборатории анализа минерального вещества ИГЕМ РАН (зав. лаб. к.х.н. Я.В. Бычкова) методом ICP-MS (масс-спектрометрия с индуктивно-связной плазмой).

Рассмотрим диаграмму «сумма щелочей – кремнезем» (TAS) (рис. 2а). Игнимбриды палеовулкана Сучуган на диаграмме TAS располагаются на границе умереннощелочных и нормальнощелочных пород, большей частью попадающих в поле трахидацитов. Игнимбриды кальдеры Карымшина занимают поле от низкощелочных риодацитов и риолитов до нормальнощелочных риодацитов. Породы экструзий посткальдерного этапа относятся к риодацитам и риолитам нормальной щелочности. По содержанию K_2O (рис. 2б) игнимбриды палеовулкана Сучуган занимают поле высококалиевых пород, в то время как игнимбриды кальдеры Карымшина – поле умереннокалиевых пород. Породы экструзивных посткальдерных построек попадают как в поле высококалиевых пород, так и в поле умереннокалиевых. По критерию Мияширо (FeO^*/MgO) (рис. 2в) игнимбриды палеовулкана Сучуган попадают в область средне-Fe разности пород и располагаются на границе толеитовой и известково-щелочной серий пород. Игнимбриды кальдеры Карымшина попадают в область известково-щелочной серии пород. В тоже время риодацит-риолиты посткальдерных экструзий равномерно распределяются как в поле толеитовой серии пород, так и в известково-щелочной.

Анализ диаграмм концентрации петрогенных компонентов в зависимости от содержания SiO_2 (рис. 3) показывает, что составы исследуемых пород образуют отрицательные корреляции по TiO_2 , P_2O_5 , MgO , CaO , FeO^* при увеличении содержания SiO_2 в исследуемых породах. Концентрации представленных элементов колеблются в следующих диапазонах: TiO_2 – от 0,93 до 0,12%; P_2O_5 – от 0,271 до 0,02%; MgO – от 2,21 до 0,02%; CaO – от 3,79 до 0,57%; и наконец, с повышением содержания SiO_2 в породах сумма FeO и Fe_2O_3 уменьшается от 5,69 до 0,94%. Содержание Al_2O_3 в игнимбридах палеовулкана Сучуган с увеличением SiO_2 возрастает от 15,1 до 16,3%, далее в игнимбридах кальдеры Карымшина и экструзиях посткальдерного этапа происходит резкий спад содержания Al_2O_3 с 15 до 12,1%.

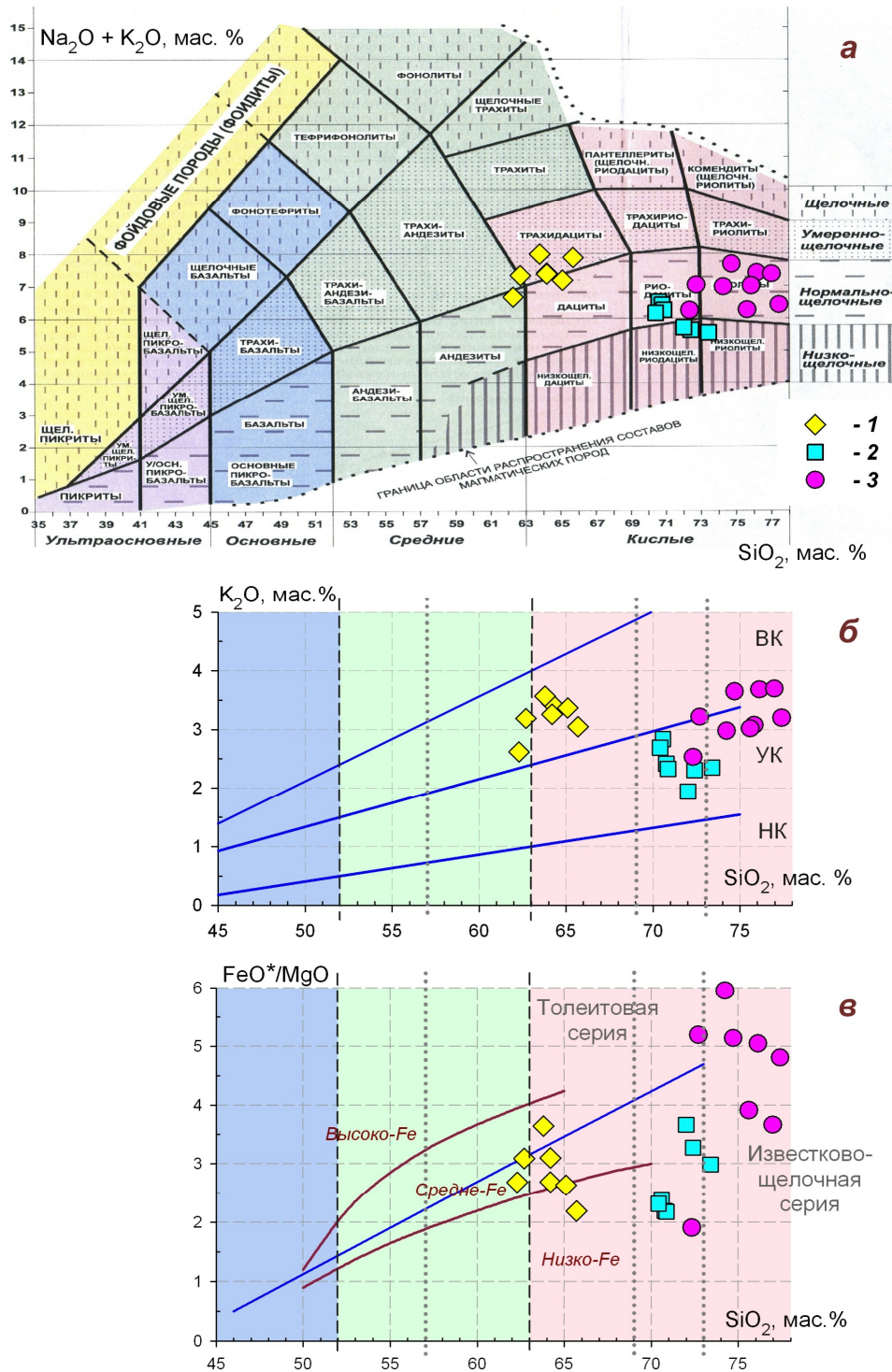


Рис. 2. Вариационные диаграммы для исследуемых пород района кальдеры Карымшина. (а) – сумма щелочей – кремнезем (TAS). Подложка взята из [4]; (б) – SiO_2 - K_2O , поля составов различных по калиевости пород приведены по [8], поля высоко, умеренно и низкокалиевых пород отмечены, соответственно, буквами ВК, УК и НК; (в) – критерий Мияширо (FeO^*/MgO – SiO_2), дискриминационная линия, разделяющая толейтовую и известковощелочную серии пород, проведена по [9]. $\text{FeO}^* = \text{FeO} + (\text{Fe}_2\text{O}_3 \times 0,9)$. Линии Высоко-Fe, Средне-Fe и Низко-Fe приведены по [6]. Пунктирные границы между типами пород в (б) и (в) приведены по [4]. Условные обозначения: 1 – игнимбриты палеовулкана Сучуган, 2 – игнимбриты кальдеры Карымшина, 3 – экструзии посткальдерного этапа вулканизма.

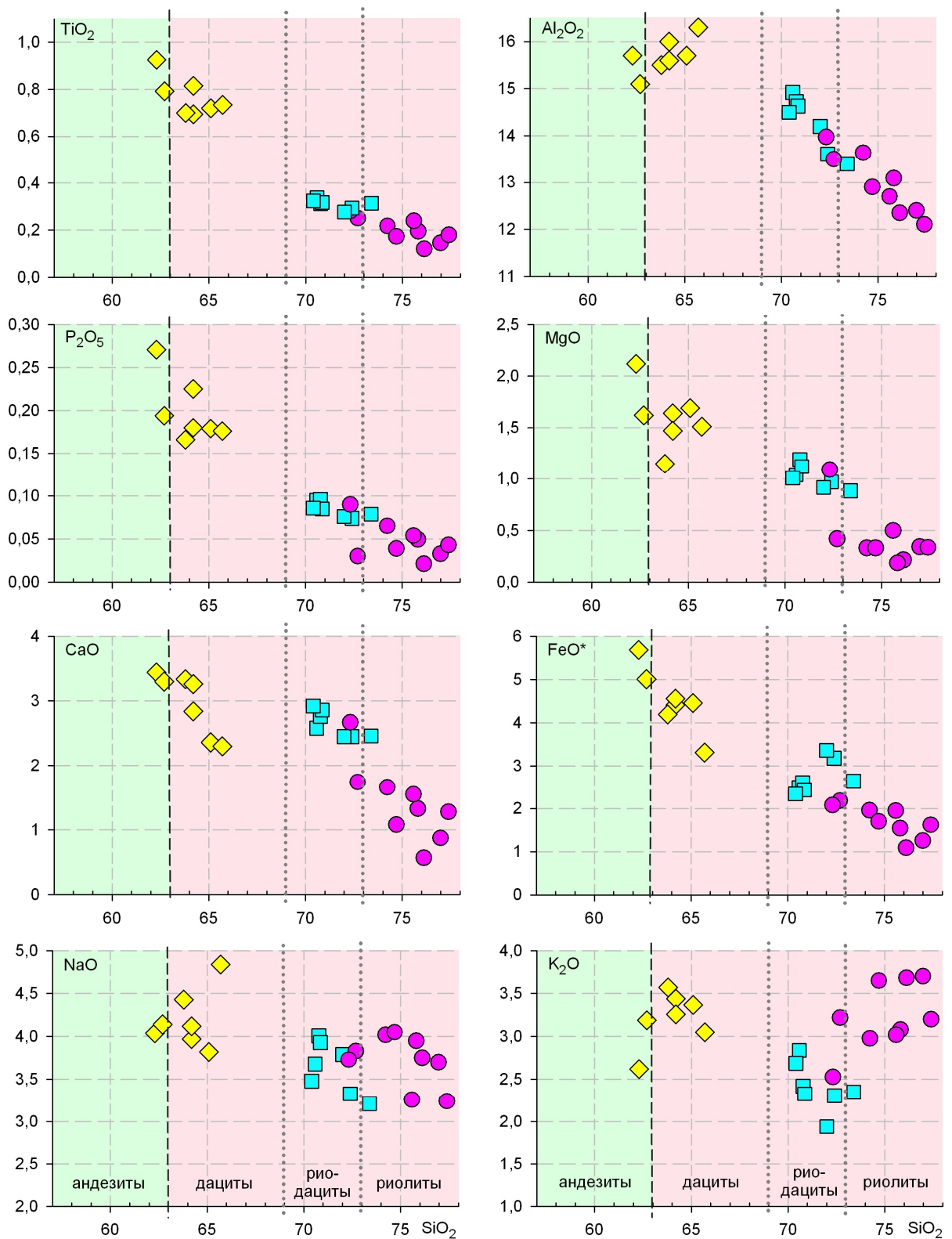


Рис. 3. Диаграммы концентраций петрогенных компонентов в зависимости от содержания SiO₂. Петрогенные окислы приведены в массовых %. Условные обозначения см. рис. 2. Пунктирные границы между типами пород приведены по [4]

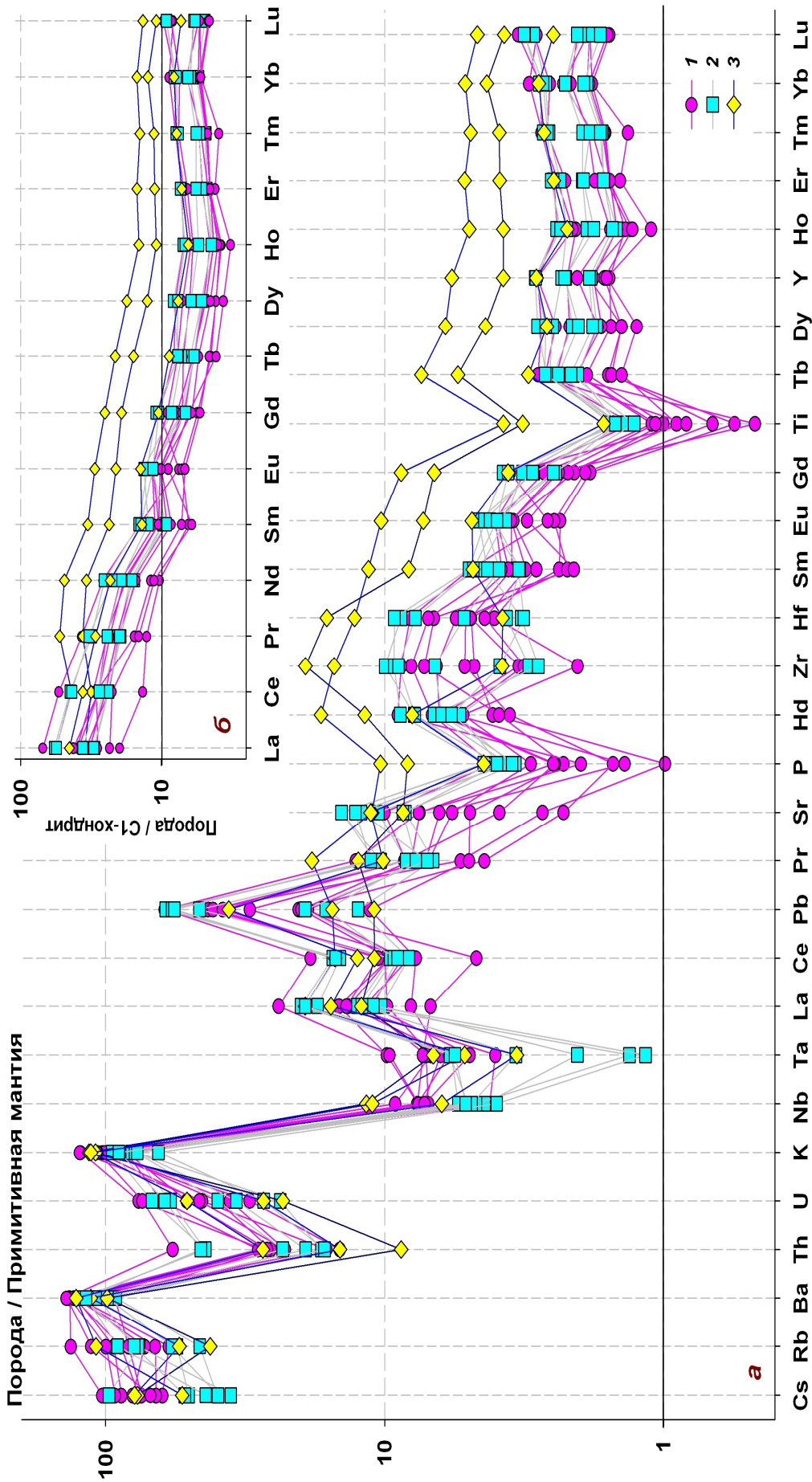


Рис. 4. Распределение редких и редкоземельных элементов в породах района кальдеры Карымшина: (а) – спектры редких элементов, нормированные к примитивной мантии; (б) – содержания РЗЭ, нормированные на С1-хондрит. Условные обозначения: 1 – кислые экстракции посткальдерного этапа, 2 – игнимбриты кальдеры Карымшина, 3 – игнимбриты палеовулкана Сучуган. Концентрации элементов в примитивной мантии и С1-хондрите по [10].

Концентрация Na_2O в игнимбритах кальдеры Карымшина и посткальдерных экструзиях не зависит от содержания SiO_2 и колеблется в пределах от 3,21 до 4,15%. Во всех группах рассматриваемых пород отмечается возрастание содержаний K_2O (по мере увеличения количества SiO_2) в породах рассматриваемых комплексов.

Кривые распределения гигромагматофильных элементов докальдерных, кальдерообразующих и посткальдерных пород, нормированных к примитивной мантии (рис. 4а), имеют сложную конфигурацию с выраженными Nb и Ta минимумами и отчетливыми максимумами в распределении флюидомобильных литофильных элементов (Ba, K и Pb). Это характерно для магм островодужных геодинамических обстановок, в процессе магмообразования которых принимали участие надсубдукционные флюиды. Низкое содержание P и Ti, возможно, связано с участием в процессах фракционирования акцессорных минералов и плагиоклаза.

На диаграмме концентраций редкоземельных элементов (рис. 4б) наблюдается отрицательный уровень наклона нормированной кривой, что говорит об обогащении легкими лантаноидами относительно тяжелых РЗЭ.

ВЫВОДЫ

1. Состав рассмотренных образцов игнимбритов кальдеры Карымшина изменяется в диапазоне от 70,4 до 73,4% SiO_2 , породы докальдерной постройки палеовулкана Сучуган относятся к андезидацитам (62,3–65,7% SiO_2), а состав пород посткальдерных экструзивных построек позволяет их относить к риодацит-риолитам (72,3–77,4 % SiO_2).

2. На вариационных диаграммах породы кальдерообразующего этапа относятся как к нормальнощелочным, так и к низкощелочным породам, умереннокалиевым. Породы экструзий посткальдерного этапа относятся к нормальнощелочным, умереннокалиевым, область пород относится к

известково-щелочной серии. Докальдерные породы палеовулкана Сучуган большей частью относятся к умеренно-щелочным и высоко-калиевым породам.

3. Анализ диаграмм Харкера показывает, что составы исследуемых пород образуют отрицательные корреляции оксидов Al, Ti, Mg, Ca, P и суммы Fe. Видна прямая зависимость концентраций этих элементов от увеличения SiO₂ и возраста пород.

4. Распределение редких и редкоземельных элементов в породах района кальдеры Карымшина отличаются выраженными Nb и Ta минимумами и отчетливыми максимумами в распределении флюидомобильных литофильных элементов (Ba, K и Pb). Это характерно для магм островодужных геодинамических обстановок, в процессе магмообразования которых принимали участие надсубдукционные флюиды.

Авторы выражают искреннюю благодарность к.г.-м.н. Леонову В.Л и к.г.-м.н. Гриб Е.Н. за помощь в написании работы. Работа выполнена в рамках проектов ДВО РАН № 12-III-A-08-171 (рук. В.Л. Леонов), №14-III-B-08-042 (рук. А.Н. Рогозин) и РФФИ № 14-05-31319 мол_а (рук. А.Н. Рогозин).

ЛИТЕРАТУРА

1. Леонов В.Л., Биндеман И.Н., Rogozin A.N. Новые данные о вулканизме, предварявшем суперизвержение и формирование кальдеры Карымшина (Южная Камчатка) // Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога, 29–30 марта 2012, г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2012. С. 56–63.
2. Леонов В.Л., Rogozin A.N. Карымшина – гигантская кальдера – супервулкан на Камчатке: границы, строение, объем пирокластики // Вулканология и сейсмология, 2007, № 5. С. 14–28.
3. Леонов В.Л., Rogozin A.N. Эпизодичность кислого вулканизма на Южной Камчатке (по новым данным К-Аг и Аг-Аг датирования и результатам изучения разрезов) // Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога, 30–31 марта 2009, г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2010. С. 62–74.
4. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. Издание третье, исправленное и дополненное. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 200 с.
5. Rogozin A.N. Новые данные о кислых экструзиях Банно-Карымшинского района, Камчатка // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле, 2007, № 2(10). С. 156–164.
6. Arculus, R.J. Use and abuse of the terms Calcalkaline and Calcalkalic // J. Petrol., 2003, V. 44, № 5. P. 929–933.
7. Bindeman, I.N., Leonov, V.L., Izbekov, P.E. et al. Large-volume silicic volcanism in Kamchatka: Ar-Ar, U-Pb ages, isotopic, and geochemical characteristics of major pre-Holocene caldera-forming eruptions // J. Volcanol. Geotherm. Res., 2010, V. 189, № 1-2. P. 57–80.
8. Gill, J.B. Orogenic andesites and plate tectonics. xiv, 109 fig. V. 16, Minerals and Rocks, Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag, 1981. 390 p.
9. Miyashiro, A. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins // American J. of Science, 1974, V. 274, P. 321–355.
10. Sun, S., McDonoug, W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes // Magmatism in the Ocean Basins / Eds. Saunders, A.D., Norry, M.J., London, Geology Society, 1989, V. 42. P. 313–345.

**GEOCHEMICAL FEATURES OF KARYMSHINA CALDERA
IGNIMBRITES (SOUTH KAMCHATKA)*****S.A. Rylova^{1,2}, A.N. Rogozin²****¹ Kamchatka State University named after Bering**² Institute of Volcanology and Seismology FED RAS**Scientific adviser: Dr. Vladimir L. Leonov*

The observed ignimbrites of Karymshina caldera, Suchugan paleovolcano (precaldera stage of volcanism) and extrusion rocks scattered along the caldera edges (postcaldera stage of volcanism) are covered in this paper. The comparative analysis of these rocks has been done via variation diagram, Harker's diagram and spider diagram of rare and rare-earth series.

Key words: Geochemistry, Karymshina caldera, Kamchatka.