

УДК (550.4:551.24.01.:552.313)(571/651)

ИСТОЧНИКИ ЭОЦЕНОВОГО МАГМАТИЗМА ЗАПАДНОЙ КАМЧАТКИ (ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ И ИЗОТОПНЫМ Sr–Nd–Pb-ХАРАКТЕРИСТИКАМ БАЗИТОВ)

П. И. Федоров^{1,*}, А. Б. Перепелов², Д. В. Коваленко³, С. И. Дриль²,
член-корреспондент РАН К. В. Лобанов³

Поступило 12.02.2019 г.

Изучены изотопно-геохимические характеристики эоцен-олигоценых магматических пород Западной Камчатки. Показано, что магматические породы эоценового (45–53 млн лет) кинкильского комплекса Западной Камчатки характеризуются геохимическими признаками надсубдукционного вулканизма. Их изотопный состав Sr, Nd и Pb, низкие концентрации HFSE и HREE относительно состава MORB предполагают формирование первичных расплавов из деплетированных или слабо обогащённых по изотопному составу источников мантийного клина, в разной степени контаминированных кварц-полевошпатовыми сиалическими осадками. С конца среднего эоцена на территории Западной Камчатки в условиях внутриплитной активизации проявился K–Na щёлочно-базальтовый магматизм (46–31 млн лет), геохимические характеристики которого сходны с E-MORB, а также ультракалиевый щёлочно-базальтовый магматизм, развитие которого продолжалось вплоть до раннего миоцена (35–17 млн лет). Геодинамическая природа позднепалеогенового щелочного магматизма предполагает реализацию процессов рассеянного рифтогенеза.

Ключевые слова: вулканизм, активная континентальная окраина, эоцен, Западная Камчатка.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524873293-298>

Предполагается, что процессы рифтогенеза на Дальнем Востоке и северо-востоке Азии, связанные с изменением надсубдукционного режима на обстановку трансформной континентальной окраины и формированием магматических ассоциаций внутриплитного (синдвигового) типа происходили практически одновременно (поздний маастрихт–ранний эоцен) [1]. Однако полученные в последние годы датировки ряда палеогеновых магматических комплексов Западной Камчатки [2], изучение их изотопных и геохимических характеристик позволяют предположить, что процесс образования синдвиговых структур с проявлениями рифтогенного вулканизма в пределах Западной Камчатки смещён во времени. Полученные новые результаты изотопных (Pb, Nd и Sr) и геохимических исследований магматических пород региона смогут способствовать расшифровке данной проблемы.

Магматические породы среднеэоценового (45,3–53,3 млн лет [3]) *кинкильского комплекса* образуют непрерывный ряд от базальтов до риолитов и по соотношению SiO₂, K₂O и FeO*/MgO относятся к известково-щелочной серии [4].

Распределение редких и редкоземельных элементов в вулканических породах типично для надсубдукционных образований. Вулканыты обогащены крупноионными (LILE) элементами относительно высокозарядных (HFSE) элементов, средних и тяжёлых редкоземельных элементов (рис. 2). Эти особенности их состава отражены в появлении на спайдерграммах резких минимумов по Nb, Ta и Ti при наличии максимумов по K, Pb и Sr. Часть высокомагнезиальных вулканытов несколько обогащена относительно MORB цирконием. Наблюдается рост концентраций LILE при увеличении SiO₂ до 63–64% и их убывание при дальнейшем увеличении кремнекислотности.

Распределение редкоземельных элементов (REE) фракционированное, с обогащением лёгкими REE. La_n/Yb_n отношения в базальтах изменяются от 2,9 до 6,4, в андезитах от 3,3 до 8,4, в дацитах от 6,1 до 9,9.

Изотопный состав Nd и Sr в породах кинкильского комплекса отчётливо демонстрирует определённые различия в составе источников (рис. 3). В породах значения ε_{Nd} меняются от +7,2 до –1,5 при

¹ Геологический институт

Российской Академии наук, Москва

² Институт геохимии им. А.П. Виноградова

Сибирского отделения Российской Академии наук, Иркутск

³ Институт геологии рудных месторождений,

петрографии, минералогии и геохимии

Российской Академии наук, Москва

*E-mail: pi_fedorov@mail.ru

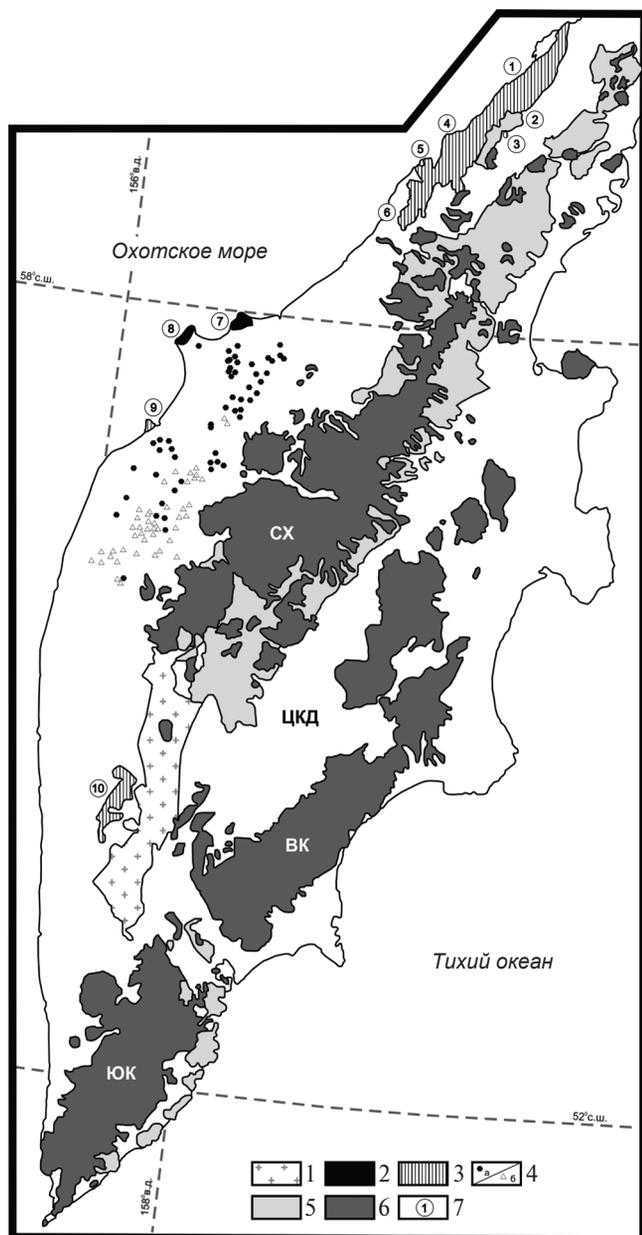


Рис. 1. Схема размещения раннекайнозойских магматических комплексов в пределах Западной Камчатки. 1 — гранитно-метаморфические комплексы Центральной Камчатки, 2–6 — магматические комплексы континентальной окраины Камчатки: 2 — палеоценовые, 3 — среднеэоценовые, 4 — среднеэоцен-раннеолигоценовый (а) и позднепалеоген-раннемиоценовый (б) (магматические тела вне масштаба), 5 — миоценовые, 6 — плиоцен-четвертичные вулканические пояса Южной Камчатки (ЮК), Восточной Камчатки (ВК) и Срединного хребта (СХ), 7 — районы исследования раннекайнозойских комплексов: 1 — бухта Подкагерная, 2 — истоки р. Шаманка, 3 — Шаманкинский интрузив, 4 — мыс Ребро, 5 — мыс Тэви, 6 — устье р. Анадырка—Кинкильский мыс, 7 — мыс Омгон, 8 — Утхолокский п-ов, 9 — мыс Хайрюзова, 10 — гора Чёрная.

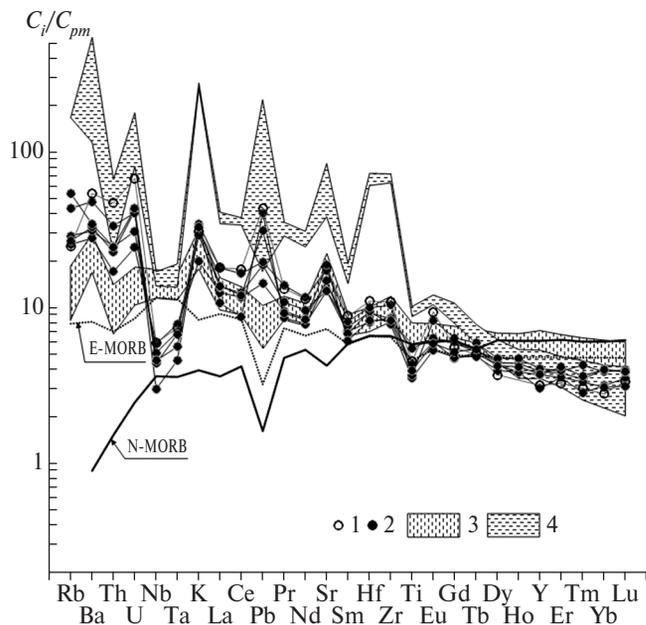


Рис. 2. Распределение несовместимых элементов в палеогеновых базальтоидах Западной Камчатки. 1 — палеоценовый утхолокский комплекс, 2 — эоценовый кинкильский комплекс, 3 — среднеэоцен-раннеолигоценовые К–Na-щелочные базальтоиды Западной Камчатки, 4 — олигоцен-раннемиоценовые К-щелочные базальтоиды. Содержания некогерентных элементов в породах нормированы к примитивной мантии [10].

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_0$, изменяющихся от 0,7038 до 0,7047, отражая в целом степень участия корового материала.

Отношения $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (табл. 1) в породах кинкильского комплекса меняются в интервале 18,245–18,408 (рис. 4); 15,483–15,529; 38,005–38,357 соответственно, и на диаграммах их фигуративные точки смещены относительно плиоцен-четвертичных и современных вулканитов Камчатки в область более обогащённых составов.

Комплекс среднеэоцен-раннеолигоценовых (46–31 млн лет [2]) даек и субвулканических тел базальтоидов *субщелочного* и *щелочного K–Na-типа* проявлен южнее основного поля развития пород кинкильского комплекса (рис. 1). Вулканиты представлены *Ne*-нормативными базальтами, эссексит-диабазами и кринанитами, характеризующимися повышенными содержаниями HFSE (Ti, Ta, Nb) и умеренными содержаниями LILE (K, Rb, Ba, Th, U, LREE). На спайдерграмме (рис. 2) составы щелочных базальтоидов в сравнении с кинкильскими базальтами не имеют Ta и Nb минимумов и располагаются в поле графиков E-MORB, отличаясь от них наличием положительных аномалий в распределении Ba, K, Pb и Sr. Базальтам свойственна низкая степень фрак-

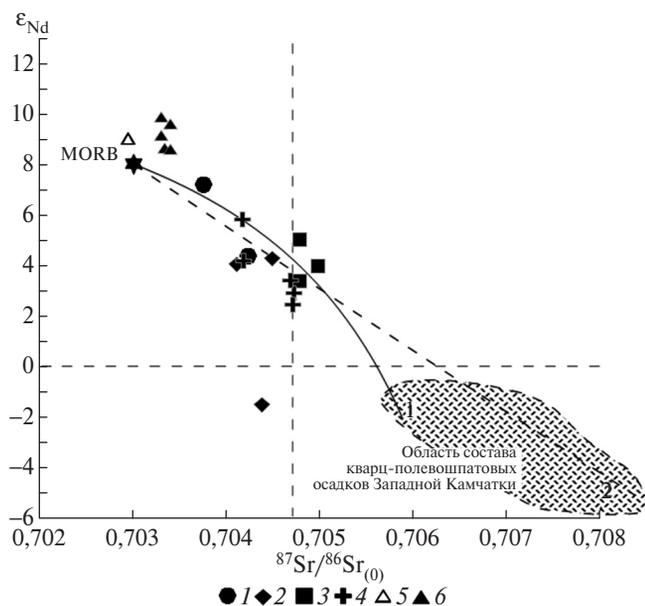


Рис. 3. Изотопный состав Sr и Nd в палеогеновых магматических породах Западной Камчатки. 1–4 — кинкильский комплекс, ареалы: 1 — мыс Ребро—бухта Подкагерная, 2 — центральная часть Камчатского перешейка, 3 — мыс Тэви, 4 — мыс Хайрюзова, 5 — среднеэоцен-раннеолигоценные К–Na-щелочные базальтоиды, 6 — олигоцен-раннемиоценовые К-щелочные базальтоиды. 1 и 2 — линии смешения, рассчитанные для составов MORB и разных групп кварц-полевошпатовых осадков.

ционирования REE ($La_n/Yb_n = 2,3–2,7$). Изотопные характеристики пород отвечают резервуару MORB (рис. 3, 4): $^{87}Sr/^{86}Sr_{(0)} = 0,702945$; $^{143}Nd/^{144}Nd_{(T)} = 0,513101$ [2]; $^{206}Pb/^{204}Pb = 18,041$; $^{207}Pb/^{204}Pb = 15,467$; $^{208}Pb/^{204}Pb = 37,834$.

Далее, начиная с границы позднего эоцена и олигоцена, проявляется *ультракалиевый щелочно-базальтовый магматизм* (трахибазальты, шонкиниты, сиениты), развитие которого продолжалось вплоть до раннего миоцена (35–17 млн лет [5]). Калиевые щелочные базальтоиды отличаются высокими содержаниями LILE (Rb, Ba, Pb), а также Zr и Hf при низких концентрациях других HFSE (Ta, Nb), что отражается в высоких величинах индикаторных микроэлементных отношений ($Ba/Nb = 90–260$) и в присутствии на мультиэлементных графиках отрицательных аномалий Ta, Nb. К-щелочные базальтоиды имеют существенно более высокий уровень фракционирования REE ($La_n/Yb_n = 8,6–16,0$). Величины индикаторных изотопных отношений для К-щелочных базальтоидов демонстрируют их отличие от изотопных характеристик резервуара MORB и слабо выраженное участие в образовании магм источника типа EM-II ($^{143}Nd/^{144}Nd_{(T)} = 0,512979–0,513019$; $^{87}Sr/^{86}Sr_{(0)} = 0,70344–0,70395$ [2];

$^{206}Pb/^{204}Pb = 18,223–18,258$; $^{207}Pb/^{204}Pb = 15,457–15,461$; $^{208}Pb/^{204}Pb = 37,809–37,817$).

Результаты проведенных исследований позволяют проследить основные закономерности развития палеогенового вулканизма на территории Западной Камчатки. В меловое время на северо-восточной окраине Азии происходит формирование протяженных окраинно-континентальных вулкано-генных поясов. В позднем маастрихте столкновение позднемеловой Западно-Камчатской дуги и Камчатского блока с Азиатским континентом привело к формированию на территории Западной Камчатки сложно построенной шовной зоны сочленения [6]. В это же время в результате коллапса возникают условия растяжения, выразившиеся в формировании в Пенжинско-Анадырско-Корякском регионе и северном Приохотье рифтогенных вулканитов и интрузивов с геохимическими признаками внутриплитного магматизма [7].

В центральной части Западной Камчатки в палеоцене (64–56 млн лет) локально проявлен известково-щелочной вулканизм, породы которого по геохимическим характеристикам относятся к надсубдукционному типу и не проявляют признаков магм других геодинамических обстановок. Синхронно с формированием утлохского комплекса в районе хребта Омгон происходит образование многочисленных силлов габбро-долеритов и ассоциирующих с ними кварцевых микродиоритов, биотитовых гранитов и гранит-аплитов (63–61 млн лет), являющихся, по мнению [8], индикаторами обстановки растяжения. Примечательно, что формирование основных расплавов происходило в результате деконпрессионного плавления литосферы, подвергавшейся метасоматической переработке флюидами субдуцирующей плиты и не обнаруживающей признаки взаимодействия с астеносферной мантией [8].

В середине эоцена вслед за аккреционно-коллизийными событиями возобновление вулканической деятельности привело к формированию ряда ареалов известково-щелочных пород, рассматриваемых в данной работе как кинкильский комплекс и протягивающихся вдоль побережья Охотского моря и западного склона Срединного хребта на широте камчатского перешейка. Источником первичных магм кинкильского комплекса, вероятно, по-прежнему являлась умеренно деплетированная мантия: гранатсодержащие перидотиты [4], подвергнувшись в доэоценовое время метасоматической переработке и плавлению в области протекания субдукционных процессов. Зависимости изотопных отношений (рис. 3, 4) показывают, что мантийные магмы

Таблица 1. Результаты U/Pb-изотопных исследований магматических пород кинкильского комплекса Западной Камчатки и эоценовых терригенных пород

№ образца	Порода	Содержание, ppm			Изотопные отношения					
		U	Th	Pb	Измеренные			Начальные		
					²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb
Мыс Ребро – бухта Подкагерная – п-ов Островной										
4482	Базальт	0,65	2,1	3,49	18,3117	15,5088	38,1808	18,229	15,505	38,093
8158	Базальт	0,51	1,46	2,66	18,2597	15,4907	38,0644	18,175	15,487	37,985
1087/2	Андезибазальт	0,74	1,81	6,09	18,2445	15,4867	38,0138	18,191	15,484	37,971
0987	Андезибазальт	0,74	1,81	6,09	18,2616	15,4835	38,0047	18,208	15,481	37,962
Мыс Тэви										
20/6	Базальт	1,6	3,04	10,74	18,3499	15,5260	38,2635	18,284	15,523	38,222
515	Андезит	2,22	5,05	13,74	18,3602	15,5082	38,1863	18,289	15,505	38,133
8173-4	Андезит	1,41	5,39	6,49	18,4080	15,5286	38,3565	18,312	15,524	38,235
20/3	Андезибазальт	1,80	4,95	11,54	18,2800	15,4955	38,1101	18,211	15,492	38,048
мыс Кинкиль – устье р. Анадырки										
0388	Андезибазальт	0,91	2,1	5,79	18,3295	15,5194	38,2245	18,260	15,516	38,172
Мыс Хайрюзова										
105/00	Андезит	2,22	4,57	12,12	18,3247	15,5157	38,2376	18,235	15,511	38,177
118/00	Базальт	1,81	4,55	10,37	18,3155	15,5109	38,2215	18,230	15,507	38,151
110/00	Базальт	0,86	2,67	5,4	18,2989	15,5011	38,1565	18,221	15,497	38,077
бассейн р. Быстрая-Хайрюзовская										
ПП-3018	Песчаник	1,19	4,22	10,23	18,272	15,5158	38,2354	18,221	15,513	38,175
ПП-3023	Аргиллит	1,18	4,38	11,25	18,2645	15,5203	38,2397	18,218	15,518	38,183
ПП-3008/1	Аргиллит	1,76	6,05	14,86	18,3191	15,5271	38,2887	18,267	15,525	38,229

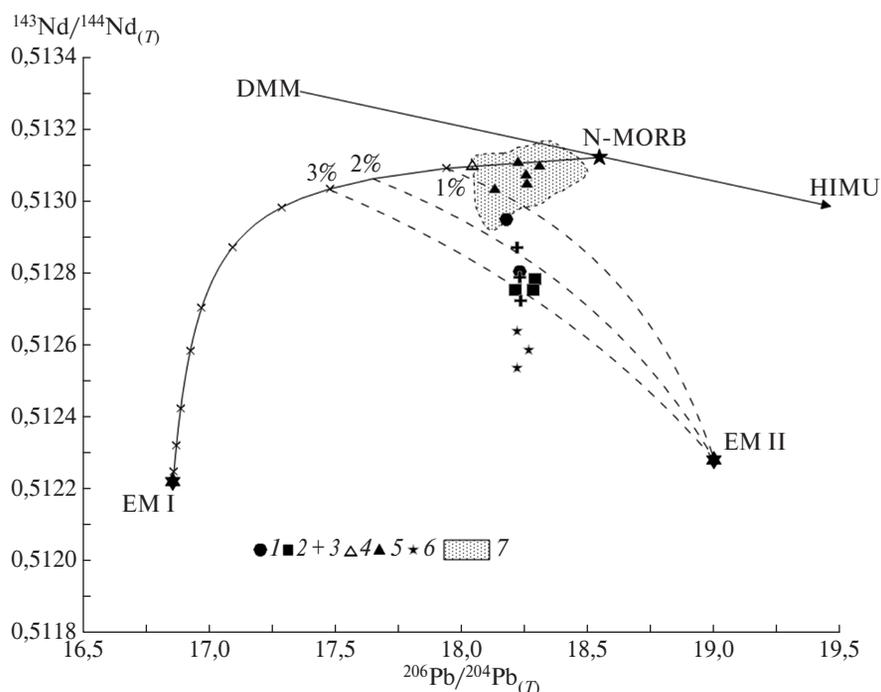


Рис. 4. Зависимость $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(T)}$ – $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(T)}$ в эоцен-олигоценых магматических породах Западной Камчатки. 1–3 – кинкильский комплекс, ареалы: 1 – мыс Ребро – бухта Подкагерная, 2 – мыс Тэви, 3 – мыс Хайрюзова, 4 – среднеэоцен-раннеолигоценые К–Na-щелочные базальтоиды Западной Камчатки, 5 – олигоцен-раннемиоценовые К-щелочные базальтоиды, 6 – кварц-полевошпатовые осадки Западной Камчатки, 7 – область состава плиоцен-четвертичных базальтов и андезитов Камчатки по литературным данным. Состав изотопных резервуаров EM I, EM II, DMM, HIMU по [11].

были контаминированы коровым материалом, обогащённым радиогенным Nd и представляющим собой кварц-полевошпатовые породы терригенных толщ Западной Камчатки.

В течение эоцена продолжавшиеся присдвиговые перемещения между Охотоморским и Западно-Камчатским блоками могли привести к образованию сближенных левосторонних сдвигов и сбросо-сдвигов и формированию серий даек и крупных субвулканические тел щелочных базальтоидов K–Na- и K-типа. Образование магм внутриплитного геохимического типа происходило на уровне переходной гранат-шпинелевой фации глубинности мантии в связи с утонением литосферы и в результате подъёма к области магмогенерации астеносферного мантийного вещества. Калиевый магматизм связывается с процессами образования магм из флогопитсодержащего гарцбургитового субстрата верхней мантии. Подъём астеносферного вещества вызвал плавление метасоматизированного флогопитсодержащего субстрата верхней мантии с формированием K-щелочных базитовых расплавов и синхронное проявление по глубинным расколам литосферы мантийных K–Na-щёлочно-базальтовых магм.

Таким образом, в конце палеогена вслед за завершением формирования Западно-Камчатского вулканического пояса в его тыловой области в пределах субконтинентального блока Западно-Камчатской микроплиты были реализованы процессы рассеянного рифтогенеза с формированием мантийных “окон” (slab-window) и внедрением в литосферную мантию горячей астеносферы, обусловившие образование щелочного магматизма.

Изучение изотопно-геохимических характеристик палеогеновых магматических пород Западной Камчатки позволяет сделать следующие выводы.

1. Магматические породы эоценового (45–53 млн лет) кинкильского комплекса Западной Камчатки характеризуются геохимическими признаками надсубдукционного вулканизма, унаследованными от предыдущего, палеоэоценового (56–64 млн лет, Удско-Утхолокская островная дуга [9]), этапа развития континентальной окраины. Их изотопный состав Sr, Nd и Pb, низкие концентрации HFSE и HREE относительно состава MORB предполагают формирование первичных расплавов из деплетированных или слабо обогащённых по изотопному составу источников мантийного клина, в разной сте-

пени контаминированных кварц-полевошпатовыми сиалическими осадками. Распределение LIL-элементов в породах комплекса характерно для источников расплавов, обогащённых водным флюидом.

2. С конца среднего эоцена на территории Западной Камчатки в условиях внутриплитной активизации проявился K–Na-щёлочно-базальтовый магматизм (46–31 млн лет), геохимические характеристики которого сходны с E-MORB, а также ультракалиевый щёлочно-базальтовый магматизм, развитие которого продолжалось вплоть до раннего миоцена (35–17 млн лет). Геодинамическая природа позднепалеогенового щелочного магматизма предполагает реализацию процессов рассеянного рифтогенеза.

Источники финансирования. Работа выполнена в рамках государственного плана научно-исследовательских работ, проект № 0135–2016–0022 (ГИН РАН) и при частичной финансовой поддержке РФФИ, грант № 17–05–00883.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ханчук А.И., Иванов В.В. // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. № 11. С. 1635–1645.
2. Перепелов А.Б. Кайнозойский магматизм Камчатки на этапах смены геодинамических обстановок: Дис. д-ра геол.-минерал. наук. Иркутск: Ин-т геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, 2014. 361 с.
3. Федоров П.И., Коваленко Д.В., Агеева О.А. // Геохимия. 2011. № 8. С. 813–838.
4. Федоров П.И., Коваленко Д.В., Баянова Т.Б., Серов П.А. // Петрология. 2008. Т. 16. № 3. С. 277–295.
5. Перепелов А.Б., Иванов А.В. В кн.: Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2006. С. 369–382.
6. Чехович В.Д., Сухов А.Н. В сб.: Западная Камчатка: геологическое развитие в мезозое. М.: Науч. мир, 2005. С. 195–220.
7. Федоров П.И., Филатова Н.И. // Геохимия. 1999. № 2. С. 115–132.
8. Леднева Г.В., Носова А.А., Соловьев А.В. // Петрология. 2006. Т. 14. № 2. С. 168–202.
9. Богданов Н.А., Чехович В.Д. // Геотектоника. 2002. № 1. С. 72–85.
10. Sun S.S., McDonough W.F. // Geol. Soc. London. Spec. Publ. 1989. V. 42. P. 313–345.
11. Zindler A., Hart S. // Ann. Rev. Earth Planet. Sci. 1986. V. 14. P. 493–571.

**SOURCES OF EOCENE MAGMATISM OF WESTERN KAMCHATKA
(ACCORDING TO GEOCHEMICAL AND ISOTOPE Sr–Nd–Pb
CHARACTERISTICS OF BASITES**

**P. I. Fedorov¹, A. B. Perepelov², D. V. Kovalenko³,
S. I. Dril², Corresponding Member of the RAS K. V. Lobanov³**

¹*Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

²*Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
Irkutsk, Russian Federation*

³*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrology, Mineralogy, and Geochemistry,
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

Received February 12, 2019

The isotope-geochemical characteristics of the Eocene-Oligocene magmatic rocks of Western Kamchatka were studied. It is shown that the igneous rocks of the Eocene (45–53 Ma) Kinkil complex of Western Kamchatka are characterized by geochemical signs of super-subduction volcanism. Their isotopic composition of Sr, Nd and Pb, low concentrations of HFSE and HREE relative to the composition of MORB, suggest the formation of primary melts from depleted or poorly enriched in isotopic composition of the mantle wedge sources in different contaminated quartz-feldspathic sediments. From the end of the Middle Eocene on the territory of Western Kamchatka, K–Na alkaline-basalt magmatism (46–31 million years), whose geochemical characteristics are similar to E–MORB, as well as ultrapotassic alkaline-basalt magmatism, which continued to develop to the early Miocene (35–17 million years). The geodynamic nature of Late Paleogene alkaline magmatism involves the implementation of processes of diffuse rifting.

Keywords: volcanism, active continental margin, Eocene, Western Kamchatka.