

УДК 552.323.6

## РАННЕЮРСКИЙ МАГМАТИЗМ КОБЮМИНСКОЙ СИСТЕМЫ ГРАБЕНОВ (ВЕРХОЯНСКОЕ ОБРАМЛЕНИЕ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ) И ЕГО ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ПРИРОДА

А. И. Киселев<sup>1,\*</sup>, академик РАН В. В. Ярмолюк<sup>2</sup>

Поступило 15.05.2018 г.

Представлены данные о вулканических породах ранней юры Кобюминской системы грабенов, возникшей в пределах Верхоянской пассивной окраины Сибирской платформы. Вулканический комплекс представлен продуктами базальтовых излияний, происходивших в условиях мелководного моря. Базальты комплекса обладают повышенными содержаниями  $TiO_2$  ( $> 1,8$  мас.%), вариации их состава определяли процессы фракционирования. По геохимическим характеристикам породы вулканической серии занимают промежуточную позицию между базальтами океанических островов и обогащёнными базальтами срединно-океанических хребтов. Учитывая пространственную удалённость района Кобюминских грабенов от конвергентных границ литосферных плит и ближайших ареалов одновозрастного магматизма, полученные данные позволили сделать вывод о том, что Кобюминский тектоно-магматический ареал возник в результате воздействия на пассивную окраину Сибирского континента небольшого мантийного плюма.

*Ключевые слова:* мезозой, Верхоянская складчатая область, пассивная окраина Сибирской платформы, магматизм, грабен, мантийные плюмы.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524845584-588>

В раннем мезозое восточное обрамление Сибирского кратона развивалось в обстановке пассивной окраины, в пределах которой накапливались мощные осадочные толщи Верхоянского прогиба [1]. Этот режим сохранялся до конца юры, когда в результате столкновения Колымо-Омолонского супертеррейна и Северо-Азиатского кратона произошло формирование Верхоянского складчато-надвигового пояса, завершившееся постскладчатými гранитоидами с возрастом 150–134 млн лет [2].

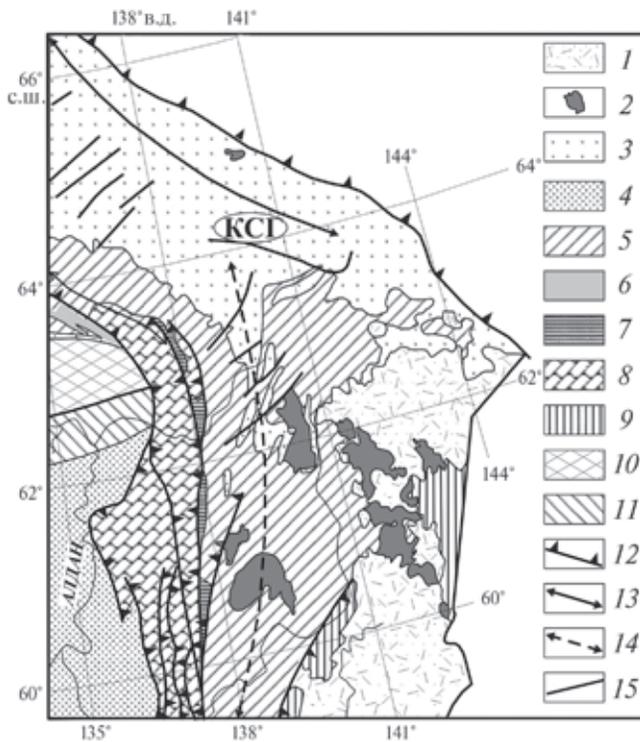
Режим тектонической и магматической пауз, предшествовавший столкновению в раннем мезозое, местами нарушался локальными проявлениями магматизма [1, 3]. Геодинамическая причина таких импульсов магматизма не вполне ясна и, как правило, нуждается в специальном анализе. В нашей работе рассмотрен вопрос о природе раннеюрского вулканического комплекса Кобюминской системы грабенов — единственного проявления раннеюрского магматизма в пределах Верхоянской складчатой области [1].

Кобюминская система грабенов находится в юго-восточной части Верхоянского складчатого пояса в междуречье Брюнгаде–Куйдусун (рис. 1). В тектоническом отношении она совпадает с Кобюминской системой складок [1], сложенных отложениями средней перми — нижней юры. В строении грабен-синклиналей вулканоогенные образования связаны с нижнеюрскими горизонтами и представлены двумя типами разрезов: восточным и западным. Восточный разрез, составленный по руч. Круг, представлен потоками базальтов, излившихся в условиях мелководного окраинного моря. Западный разрез вдоль долины р. Луговая включает базальты, туфы базальтов, ксенотуфы, туффиты, терригенные породы. На долю лавовых потоков приходится  $< 15\%$  всей толщи вулканоогенно-осадочных пород. Базальты слагают сравнительно маломощные, не всегда выдержанные потоки (0,3–3 до 15 м) или в ассоциации с туфами образуют грубо стратифицированные пачки мощностью до 35 м. Породы характеризуются миндалекаменной массивной текстурой и порфировой структурой. Вкрапленники в них представлены плагиоклазом от лабрадора до андезина включительно и клинопироксеном. Клинопироксен замещён актинолитом, хлоритом, эпидотом.

<sup>1</sup> Институт земной коры Сибирского отделения Российской Академии наук, Иркутск

<sup>2</sup> Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской Академии наук, Москва

\* E-mail: [akiselev@crust.irk.ru](mailto:akiselev@crust.irk.ru)



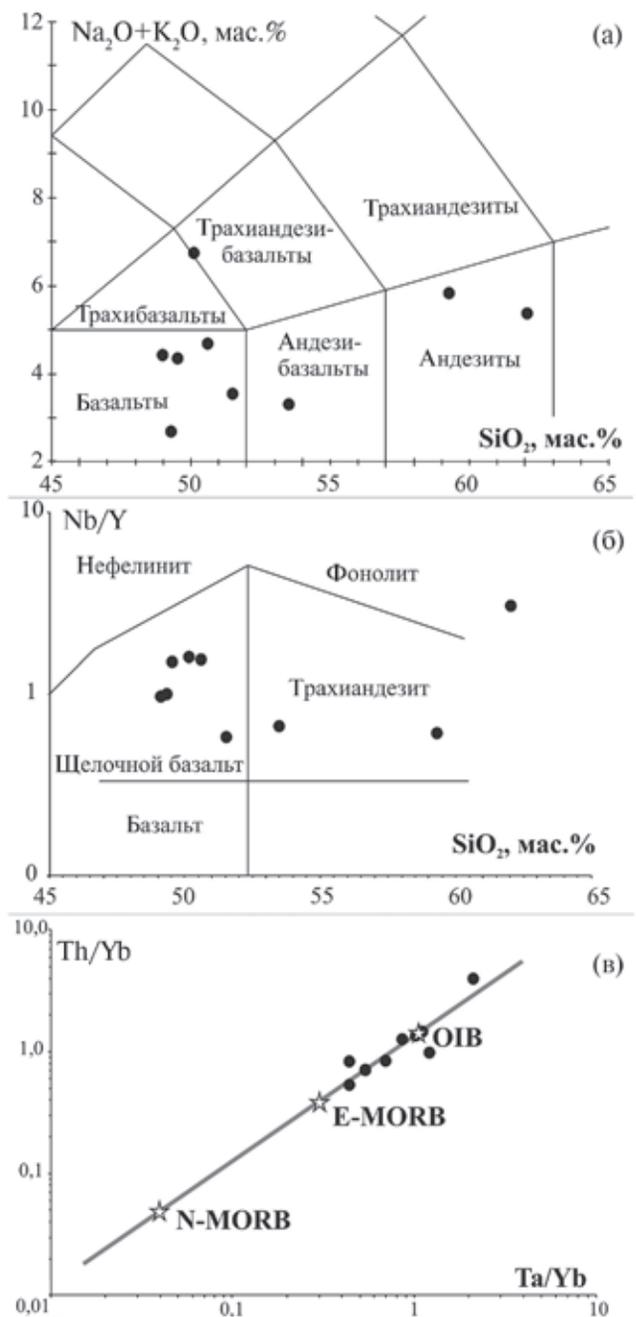
**Рис. 1.** Положение Кобюминской системы грабенов (КГС) в южном секторе Верхоянского складчато-надвигового пояса [1]. 1 — меловые вулканы Удского, Охотско-Чукотского поясов; 2 — мезозойские гранитоиды; 3 — мезозойские отложения; 4 — доюрские образования Сибирской платформы; 5 — пермские отложения; 6 — каменноугольные отложения; 7 — среднепалеозойские отложения; 8 — рифей-нижнепалеозойские отложения; 9 — охотский террейн; 10 — приверхойнский краевой прогиб; 11 — Вилойская синеклиза; 12 — надвижки; 13 — оси антиклинориев; 14 — оси синклинориев; 15 — разломы.

Основная масса в базальтах состоит из лейст плагиоклаза, актинолита, хлорита. Рудные минералы в виде редких вкрапленников и мелких ксеноморфных зёрен отвечают по составу магнетиту, титаномагнетиту.

Представительные анализы эффузивных пород Кобюминского грабена приведены в табл. 1. Породы подвержены низкоградному метаморфизму и карбонатизации, что подчёркивается значительными потерями при прокаливании (до 5,25%) и высокими содержаниями в некоторых образцах  $\text{CO}_2$  (до 5,39%). При пересчёте к сухому остатку породы можно классифицировать как базальты с единичными отклонениями в трахибазальты, андезибазальты, андезиты (рис. 2а). В целом базальты отличаются повышенными содержаниями  $\text{TiO}_2$  (> 1,8 мас.%) и имеют отчётливо выраженную натровую специализацию. В отдельных случаях (обр. 37/к-0,3) высокое содержание Na

( $\text{Na}_2\text{O}$  5,81%), вероятно, связано с альбитизацией. Андезиты характеризуются повышенным содержанием К.

Результаты гипергенных изменений пород, искажающих их исходный состав, могут быть нивелированы с помощью диаграмм, использующих соотношения микроэлементов, неподвижных при вторичных изменениях. Так, на графике  $\text{Nb/Y-SiO}_2$  [4] лавы Кобюминского грабена попадают



**Рис. 2.** Положение эффузивов Кобюминской системы грабенов на классификационных диаграммах: а —  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{SiO}_2$ , б —  $(\text{Nb}/\text{Y}-\text{SiO}_2)$  [4], в —  $(\text{Th}/\text{Yb}-\text{Ta}/\text{Yb})$  [5].

Таблица 1. Химический состав базальтов Кобьюминских грабен

Компонент	5/к-03	10/к-03	11/к-03	12/к-03	15/к-03	21/к-03	25к-03	37к-03	38/к-03
SiO <sub>2</sub>	45,58	49,76	45,23	47,64	54,88	56,50	50,63	48,45	49,00
TiO <sub>2</sub>	1,69	1,80	2,26	2,04	1,33	1,34	1,77	1,96	2,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,90	13,90	16,42	14,90	12,74	9,45	13,42	14,75	15,30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,20	2,75	5,85	2,86	1,95	2,47	1,42	1,26	2,12
FeO	11,54	9,73	5,25	10,27	7,83	4,70	10,27	10,04	9,79
MnO	0,14	0,13	0,08	0,11	0,07	0,12	0,12	0,16	0,13
MgO	7,34	6,79	3,74	5,39	5,50	2,25	4,69	5,54	5,49
CaO	8,38	8,13	9,06	8,51	2,81	8,93	9,00	7,60	8,16
Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,29	3,10	3,71	3,76	5,11	2,92	2,85	5,81	3,90
K <sub>2</sub> O	0,19	0,36	0,38	0,45	0,32	2,01	0,30	0,73	0,65
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,24	0,16	0,27	0,25	0,09	0,40	0,20	0,32	0,31
CO <sub>2</sub>	3,19	2,28	2,33	0,55	1,10	5,39	2,42	0,11	
п.п.п.	4,01	0,39	4,15	2,34	5,25	2,98	2,47	2,98	2,58
Сумма	99,69	99,28	98,73	99,07	98,98	99,46	99,56	99,71	99,47
Mg#	0,53	0,54	0,43	0,47	0,55	0,41	0,46	0,51	0,50
Sc	19	22	21	16	21	8	20	20	19
V	163	165	177	171	139	88	152	165	160
Cr	175	200	225	175	193	69	195	216	146
Co	45	43	34	38	42	24	41	32	32
Ni	126	89	58	62	107	46	98	60	58
Rb	2	6	6	7	10	34	6	8	15
Sr	310	277	568	340	734	1161	456	445	561
Y	16	17	20	12	17	16	17	19	20
Zr	72	82	71	78	68	144	80	125	137
Nb	16	10	20	18	11	48	11	31	31
Cs	0,8	0,2	0,2	0,1	9,8	3,4	1,7	0,1	0,9
Ba	106	203	246	148	177	683	314	404	426
La	10,9	7,8	16,5	9,0	11,7	36,5	8,9	19,4	18,6
Ce	23,5	17,6	34,7	18,2	25,9	74,6	19,3	41,4	39,0
Pr	3,4	2,5	4,5	2,4	3,5	8,1	2,7	5,1	4,8
Nd	13,6	11,0	18,1	9,9	14,1	28,4	11,9	19,2	18,5
Sm	3,8	3,4	4,7	2,6	4,2	5,4	3,5	4,8	4,6
Eu	1,4	1,4	1,7	0,9	1,7	1,7	1,4	1,8	1,8
Gd	4,7	4,4	5,7	3,1	5,3	5,6	4,3	5,9	5,4
Tb	0,67	0,70	0,80	0,43	0,82	0,63	0,63	0,78	0,79
Dy	3,68	3,83	4,36	2,50	4,31	3,55	3,60	4,32	4,30
Ho	0,71	0,77	0,84	0,48	0,78	0,66	0,70	0,82	0,82
Er	1,77	1,91	2,02	1,21	1,83	1,60	1,73	2,05	2,08
Tm	0,25	0,27	0,27	0,17	0,25	0,22	0,24	0,28	0,30
Yb	1,52	1,75	1,67	1,06	1,58	1,42	1,53	1,82	1,91
Lu	0,20	0,23	0,22	0,13	0,18	0,16	0,20	0,24	0,25
Hf	2,3	3,1	2,0	2,7	1,9	3,5	2,5	3,8	4,1
Ta	1,05	0,76	1,42	1,29	0,69	2,97	0,82	1,96	2,00
Pb	0,51	1,17	0,48	3,14	10,46	4,67	42,65	1,13	4,76
Th	1,30	0,95	2,16	1,04	1,33	5,74	1,09	2,62	2,70
U	0,37	0,34	0,48	0,49	0,55	1,27	0,36	0,67	0,68

Примечание. Окислы, мас.%; элементы, г/т.

в поля составов щелочных базальтов, трахиандезитов (рис. 2б).

Содержания рассеянных элементов в породах вулканической серии в табл. 1. Взаимное поведение малоподвижных элементов (Y, Th, Zr, Hf, Nb, Ta, REE) в лавах определяют прямые линейные корреляции, свидетельствующие о том, что их распределение контролировали процессы фракционирования. Такие зависимости можно проследить, построив графики распределения элементов, например относительно Nb, выбранного в качестве индекса дифференциации. При этом наиболее высокими содержаниями большинства литофильных элементов отличаются трахиандезиты (табл. 1), что позволяет рассматривать их в качестве наиболее дифференцированного члена вулканической серии.

Распределение нормированных содержаний несовместимых элементов в базальтах вулканической серии отражено на рис. 3. В целом следует отметить обогащение пород лёгкими REE ((La/Yb)<sub>n</sub> = 3–7, в трахиандезите до 18). Спектры REE в этих породах подобны их спектру в базальтах океанических островов (ОИВ). По сравнению с ОИВ базальты имеют более низкие содержания REE и других несовместимых элементов. В них относительно повышенные содержания Ba, Sr и пониженные K. В спектре распределения несовместимых элементов следует отметить отсутствие Nb–Ta-минимума (рис. 3). Породы обогащены Nb относительно La ((Nb/La)<sub>n</sub> = 1,15–1,8), что указывает на геохимические особенности, типичные для внутриплитных базитов. В то же время (рис. 3) по сравнению с ОИВ эти породы являются геохимически обеднёнными и по своим характеристикам занимают промежуточную позицию между составами ОИВ и обогащёнными базальтами

срединно-океанических хребтов (E-MORB). Другие характеристики базальтов — величина магниевого числа Mg\* 0,43–0,55 и в целом низкие содержания Ni (58–126 ppm), Cr (146–225 ppm), вероятно, указывают на то, что составы инициальных мантийных расплавов могли быть модифицированы в результате фракционирования и, возможно, коровой контаминации.

О высокой вероятности участия процессов фракционирования в формировании пород серии свидетельствует наличие в эффузивах порфировых выделений клинопироксена, оксидов Ti, Fe. Отсутствие Eu-аномалии в базальтах может быть связано с тем, что плагиоклаз кристаллизовался в условиях излияний и не успевал фракционировать из магматической системы. На это, в частности, указывают также повышенные содержания Sr в породах. Уменьшение в химическом составе трахиандезитов Fe, Ti (табл. 1), скорее всего, контролировалось фракционированием Ti-содержащих минералов: ильменита, титаномагнетита. Последнее по сравнению с сосуществующими расплавами, как правило, обогащены Ta, поэтому остаточные трахиандезитовые расплавы обогащены Nb, что и отмечено в породах вулканической серии: Nb/Ta = 16,1 в трахиандезитах, тогда как в базальтах 13,4–15,3.

Роль коровой контаминации в формировании состава вулканитов можно оценить по содержанию в эффузивах Th, Ta [5, 7], так как при коровой контаминации расплавы обогащаются Th относительно Ta [5]. На графике Th/Yb–Ta/Yb (рис. 2в) такого обогащения не фиксируется и исследуемые базальты образуют последовательность, которая прослеживается в пределах мантийного тренда между E-MORB и ОИВ при существенном смещении составов к ОИВ. Такое их положение

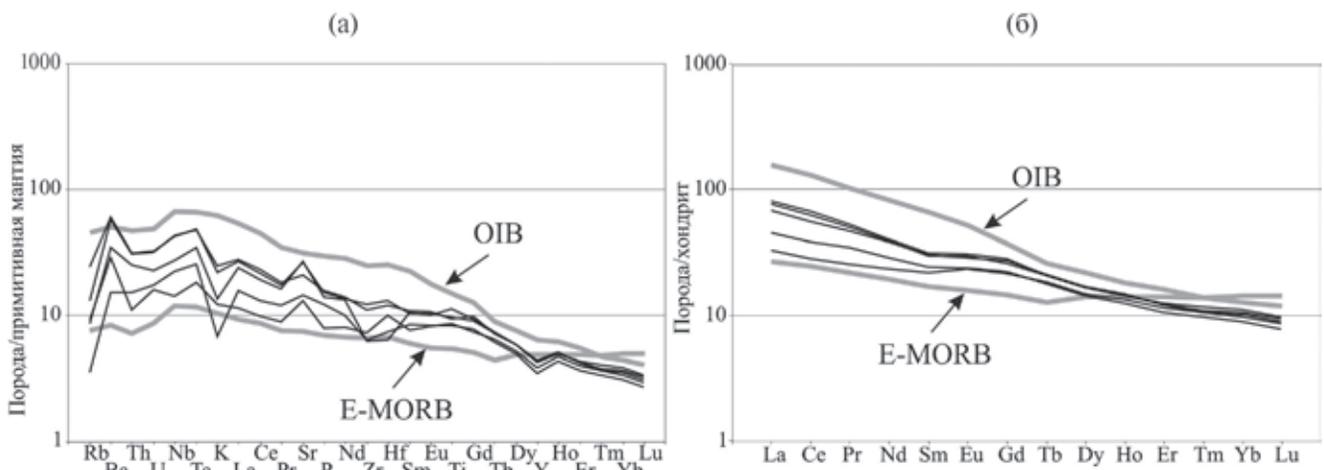


Рис. 3. Содержания редких элементов в базальтах Кобюминской системы грабенов, нормализованных к составу примитивной мантии (а) и хондрита (б) [6].

исключает заметное влияние коровой контаминации на состав расплавов и отражает решающую роль в их формировании обогащённого мантийного источника.

В заключении отметим следующее. Формирование Кобюминских грабенов и связанного с ними магматизма произошло в пределах пассивной окраины Сибирского континента вдали от разновозрастных центров магматизма. Характеристики магматических пород грабенов однозначно свидетельствуют об их связи с мантийными источниками, близкими по параметрам к источнику ОИВ. Последние, по-видимому, испытали взаимодействие с деплетированной мантией в области плавления. Эволюция первичных магм определяли главным образом процессы фракционирования, контролировавшие вариации состава вулканитов.

Локальный характер проявления процессов грабенообразования, магматизма и ОИВ-подобный стиль последнего позволяют предполагать связь магматического ареала с воздействием раннеюрского мантийного плюма на пассивную окраину Сибирского континента.

**Источник финансирования.** Работа выполнена в ИЗК СО РАН и ИГЕМ РАН при финансовой поддержке гранта РФФИ 17–05–00167.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Под ред. М.И. Кузьмина, Л.М. Парфенова. М.: МАИК Наука/Интерпериодика, 2001. 627 с.
2. *Layer P.W., Newberry R., Fujita K., Parfenov L.M.* // *Geology*. 2001. V. 29. P. 167–170.
3. *Летникова Е.Ф., Изох А.Э., Николенко Е.И. и др.* // *ДАН*. 2014. Т. 459. № 3. С. 327–331.
4. *Macdonald J.A., Katsura I.* // *J. Petrol.* 1964. V. 5. № 1. P. 82–133.
5. *Rudnick R.L., Fountain D.M.* // *Rev. Geophys.* 1995. V. 33. P. 267–309.
6. *Sun S.S., McDonough D.* // *Geol. Soc. Spec. Amer. Publ.* 1989. № 42. P. 313–345.
7. *Pearce J.A.* *Continental Basalt and Mantle Xenolith.* Nantwich; Shiwa, 1983. P. 230–249.

## EARLY JURASSIC MAGMATISM OF THE KOPYUMINSKY SYSTEM OF GRABENS (VERKHAYANSK FRAME OF THE SIBERIAN PLATFORM) AND ITS GEODYNAMIC NATURE

A. I. Kiselev<sup>1</sup>, Academician of the RAS V. V. Yarmolyuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Received May 15, 2018

The Kopyuminsky system of grabens was formed in the Early Jurassic within the Verkhoyansk passive margin of the Siberian platform. The volcanic complex of grabens is represented by basalts with elevated TiO<sub>2</sub> contents (> 1.8 wt%). According to geochemical characteristics, the rocks of the volcanic series occupy an intermediate position between the basalts of the oceanic islands (OIB) and the basalt-rich mid-oceanic ridges (E-MORB). The data obtained led to the conclusion that the Kopyuminsky system of grabens within the passive margin of the Siberian continent arose in connection with the activity of a small mantle plume.

**Keywords:** mesozoic, Verkhoyansk folded area, passive margin of the Siberian platform, magmatism, graben, mantle plumes.