

УДК 551.21

ПОЗДНИЕ СТАДИИ РАЗВИТИЯ ПОЗДНЕМЕЗОЗОЙСКОЙ ВОСТОЧНО-МОНГОЛЬСКОЙ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ: ВОЗРАСТ И СОСТАВ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОРОД

Академик РАН В. В. Ярмолюк, Е. А. Кудряшова*, А. М. Козловский**

Поступило 14.02.2019 г.

В строении позднемеозойской Восточно-Монгольской вулканической области выделена Мандах—Мадал-Гобийская (ММГ) зона щёлочно-базальтоидного магматизма, представленная скоплениями и единичными штоками, куполами, силлами, лакколитами, дайками, а также небольшими фрагментами лавовых потоков, сложенных тефритами, фонотефритами и трахибазальтами. В развитие зоны установлены два этапа магматизма — позднемеловой (~85 млн лет назад) и раннекайнозойский (~50 млн лет назад). Выделение этой зоны и расшифровка истории её формирования показали, что развитие Восточно-Монгольской вулканической области подчинялось тем же закономерностям, которые были установлены для других крупнейших областей позднемеозойской магматической провинции Центральной Азии, что свидетельствует о её несомненной принадлежности этой провинции. Сделан вывод, что наблюдаемая в ходе развития области корреляция между сокращением объёмов магматических продуктов и изменением их состава в сторону базальтов ОІВ-типа, по-видимому, определялась снижением теплового воздействия подлитосферных мантийных расплавов на метасоматически обогащённую литосферную мантию и постепенным исключением её из состава источников магм.

Ключевые слова: внутриплитный магматизм, надсубдукционный магматизм, платобазальты, мантийные источники магматизма.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524873283-288>

В позднем мезозое в пределах Центральной Азии возникла крупная внутриплитная вулканическая провинция, строение которой определил ряд разобшённых вулканических областей, в том числе такие крупные, как Гоби-Алтайская, Западно-Забайкальская и Восточно-Монгольская [1]. Несмотря на пространственную и структурную обособленность, развитие этих областей протекало по близкому сценарию. Их заложение произошло в конце поздней юры, а в первой половине раннего мела сформировался основной структурный каркас, характеризующийся системами грабенов и горстов, произошли крупномасштабные платобазальтовые излияния, сформировавшие регионально распространённые лавовые толщи большой мощности. К позднему мелу вулканическая активность снизилась, и собственно в позднем мелу и раннем кайнозое она протекала эпизодически. Изменения масштабов вулканотектонической деятельности сопровождались изменениями состава вулканических продуктов. Если в раннем мелу преобладали трахибазальты и трахиандезиты с промежуточными геохимическими ха-

рактеристиками между ОІВ- и ІАВ-типами, то с позднего мела стали доминировать базаниты и трахибазальты ОІВ-типа, указывающие на связь развития этих областей с активностью мантийных плюмов [2–4].

В полном объёме такая история прослеживается для Гоби-Алтайской и Западно-Забайкальской областей [2, 4, 5]. В отличие от них, развитие Восточно-Монгольской области не прослеживалось за границы раннего мела [6, 7], что ставило под сомнение применимость к ней представлений о её принадлежности к вулканической провинции. В сообщении приводятся геохимические и геохронологические данные, которые свидетельствуют, во-первых, о продолжении магматической активности в пределах Восточно-Монгольской области в позднем мелу и кайнозое и, во-вторых, о соответствии тенденций в изменении состава её магматических продуктов тем же закономерностям, которые были установлены для других вулканических областей. В целом эти данные необходимы для оценки геодинамической природы области, а также для понимания особенностей строения магматической провинции в целом и механизмов её формирования.

На рис. 1 приведена схема строения Восточно-Монгольской вулканической области (ВМО). Основной объём вулканических продуктов в её преде-

*Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии
Российской Академии наук, Москва*

*E-mail: eak@igem.ru

**E-mail: amk@igem.ru

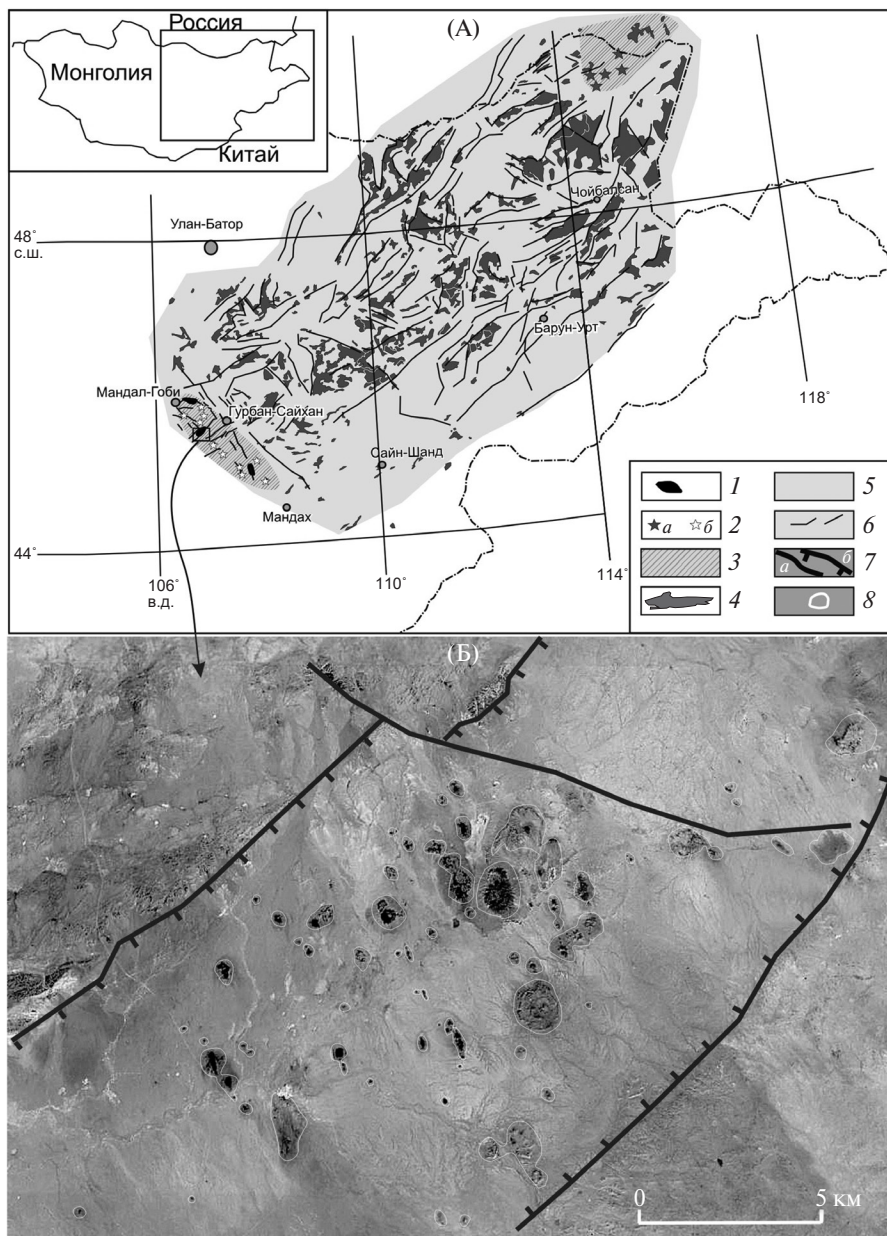


Рис. 1. (А) — схема строения Восточно-Монгольской позднемезозойской вулканической области и положение в её пределах Мандах—Мандал-Гобийской (ММГ) зоны вулканизма. (Б) — заимствованный из Google Earth космический снимок Гурван-Сайханской группы субвулканических тел. 1 — скопления субвулканических тел; 2 — отдельные лавовые купола: *a* — раннемеловые, *b* — позднемеловые и раннекайнозойские; 3 — зоны распространения субвулканических тел щелочных базальтоидов; 4 — поля раннемеловых лав; 5 — Восточно-Монгольская вулканическая область; 6 — разломы; 7: *a* — разломы, *b* — сбросы; 8 — субвулканические тела и их группы.

лах образуют толщи трахибазальтов и трахиандези-базальтов [6–8]. В меньшей степени представлены трахиты, трахидациты и трахириолиты. Ещё большую редкость составляют проявления щелочных базальтоидов — тефритов и фонотефритов. Последние в ассоциации с трахибазальтами группируются в двух ареалах. Один из них расположен в крайней восточной части пояса и, судя по имеющимся данным [7, 9], сформировался во второй половине

раннего мела одновременно или завершая основной цикл излияний в пределах области.

Другой ареал приурочен к западной границе вулканической области. Он прослеживается в северо-западном направлении между населёнными пунктами Мандал-Гоби и Мандах. Его протяжённость составляет 180 км при ширине до 20 км. Развитые в его пределах породы стали объектом нашего исследования. Они представлены базанитами, гавай-

итами, трахибазальтами, обычно содержащими ксенолиты лерцолитов. Породы слагают многочисленные лавовые купола, штоки, лакколлиты, питающие их дайки, а также отмечаются в виде редких фрагментов лавовых потоков. Тела этих пород образуют три скопления, в пределах которых сосредоточены десятки субвулканических тел, а также формируют отдельные проявления, расположенные между этими скоплениями.

Одно из таких скоплений отмечается в районе города Мандал-Гоби, где многочисленные субвулканические тела группируются по периферии гранитоидного массива с поперечником около 20 км. Другая группа выходов щелочных базальтоидов расположена в 25 км к ЮЗ от сомона Гурван-Сайхан. Она контролируется коротким грабеном северо-восточного простирания, в пределах которого распространены многочисленные, разные по морфологии (дайки, штоки, лакколлиты, купола) и размеру субвулканические тела (рис. 1). Третье скопление расположено в 50 км к северо-западу от сомона Мандах. Оно выделяется в виде субмеридиональной цепочки лавовых куполов, прослеживающейся на протяжении более 25 км.

Несмотря на общую принадлежность этих полей к единой магматической зоне, очевидно, что в каждом скоплении отмечаются свои закономерности структурного контроля. Это может служить показателем их разновозрастности. Были проведены К–Аг-геохронологические исследования пород из разных участков магматической зоны, результаты которых отражены в табл. 1. Возраст пород одного из штоков южной группы Душ-Ула составил $87 \pm 2,5$ млн лет. Близкий возраст ($82,5 \pm 2,5$ млн лет) оказался у трахибазальтов единственного фрагмента лавового чехла, сохранившегося в районе г. Хан-Ула, который расположен между полями субвулканических образований Мандал-Гоби и Гурбан-Сайхан. Возраст лавового штока из поля Гурбан-Сайхан оценён в 51 ± 2 млн лет. К этому же возрастному диапазону в пределах ошибки измерений относятся также базаниты группы субвулканических интрузий ($47,5 \pm 2,5$ млн лет) Мандал-Гоби. Полученные дан-

ные позволяют говорить по крайней мере о двукратном проявлении магматической активности в пределах Мандах—Мандал-Гобийской (ММГ) зоны вулканизма в середине позднего мела и раннем кайнозое.

Связь ММГ-зоны с развитием ВМО не вызывает сомнений и обосновывается, во-первых, структурной позицией зоны, определяемой приуроченностью к торцовой границе ВМО, и, во-вторых, тем, что наиболее ранние проявления вулканизма в ММГ-зоне по возрасту близки к наиболее поздним (94 ± 3 млн лет) из зафиксированных к настоящему времени всплеск активности в пределах вулканической области [9]. Особенности структурной позиции ММГ-зоны, скорее всего, указывают на её связь с рифтогенными процессами. Она имеет узкую линейную форму, подчёркиваемую поясом сонаправленных с ней разломов. Можно полагать, что контроль за её формированием осуществляла та же литосферная граница, которая определила соответствующее ограничение ВМО.

Для пород ММГ-зоны в целом характерны основной состав ($\text{SiO}_2 < 51$ мас.%) и высокая щёлочность ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ до 7 мас.%) при относительно низких содержаниях K_2O (от 0,6 до 2,5 мас.%) (табл. 2). Преобладают базаниты, ассоциирующие с трахибазальтами. Геохимические характеристики пород (рис. 2) сближают их с базальтами ОИВ-типа. Они обладают близкими спектрами распределения РЗЭ, характеризуются отчётливым обогащением Та и Nb. Отличия связаны с более низкими содержаниями К и более высокими Ва и Rb. Все эти показатели позволяют связать источник магматизма ММГ с обогащённым мантийным источником, близким к источнику базальтов океанических островов. На графике для сравнения приведены характеристики раннемеловых базитов ВМО (наши данные). По сравнению с ними породы ММГ-зоны имеют более низкие содержания большинства рассеянных элементов, прежде всего РЗЭ, однако содержат более высокие содержания Та и Nb. Подобные же закономерности изменения состава на рубеже раннего и позднего мела отмечаются и в дру-

Таблица 1. Результаты определения К–Аг-возраста

Номер пробы	Координаты		Калий, % $\pm\sigma$	$^{40}\text{Ar}_{\text{рад}}$ (нг/г) $\pm\sigma$	Возраст, млн лет $\pm 2\sigma$
	широта	долгота			
СГ-4/4	44°48,935'	107°38,710'	2,00±0,03	12,34±0,04	87,0±2,5
СГ-4/24	45°30,814'	106°33,290'	0,980±0,015	5,73±0,02	82,5±2,5
СГ-4/20	45°20,048'	106°34,913'	1,05±0,02	3,75±0,03	51±2
СГ-4/28	45°47,048'	106°36,658'	0,566±0,015	1,889±0,010	47,5±2,5

Примечание. Анализы выполнены В.А. Лебедевым в лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ИГЕМ РАН по методике [12].

Таблица 2. Химический состав вулканических пород Мандах—Мандал-Гобийской зоны

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	СГ-4/1	СГ-4/4	СГ-4/5	СГ-4/10	СГ-4/13	СГ-4/20	СГ-4/24	СГ-4/22	СГ-4/25	СГ-4/27	СГ-4/28	СГ-4/29
SiO ₂	44,73	49,42	45,21	42,88	44,77	44,57	51,25	43,68	44,77	45,03	43,79	42,69
TiO ₂	2,54	1,90	2,72	3,01	2,44	2,99	1,87	2,66	3,17	2,26	2,41	2,58
Al ₂ O ₃	13,17	14,41	14,00	13,71	13,11	14,35	15,31	14,20	13,32	13,06	12,22	11,95
FeO	10,88	10,85	11,05	12,14	11,05	11,77	11,89	11,42	12,74	11,91	11,48	12,05
MnO	0,15	0,15	0,15	0,17	0,16	0,16	0,16	0,15	0,18	0,18	0,19	0,18
MgO	10,79	7,17	8,56	8,84	10,43	8,42	5,10	9,04	8,54	10,53	11,87	11,78
CaO	9,10	7,53	8,57	9,87	9,36	8,75	8,10	9,40	9,44	9,50	10,26	10,40
Na ₂ O	3,70	3,40	5,16	4,49	3,75	4,60	3,74	3,69	3,71	3,31	3,29	3,99
K ₂ O	2,22	2,50	1,17	1,18	1,10	1,16	1,09	1,92	1,47	1,50	0,73	0,75
P ₂ O ₅	0,71	0,51	0,67	0,86	0,63	0,77	0,32	0,73	0,68	0,72	0,79	0,80
п.п.п.	2,05	1,97	2,63	3,00	3,04	2,33	1,13	2,92	2,17	1,97	4,00	2,94
Сумма	97,99	97,83	97,26	97,15	96,79	97,54	98,83	96,91	98,01	98,00	97,02	97,15
V	188	126	208	222	200	203	162	210	214	192	207	223
Cr	335	185	190	146	290	163	173	226	188	389	433	432
Co	48	35	43	48	48	43	34	48	45	46	51	53
Ni	183	88	104	130	181	92	77	135	107	173	252	249
Rb	87	47	43	62	16	64	31	44	47	31	30	29
Sr	759	759	833	1140	741	861	373	931	776	952	778	916
Y	24	22	25	28	25	27	28	25	32	28	26	27
Zr	257	236	320	251	286	283	148	301	328	291	254	283
Nb	60,6	43,5	63,8	72,9	59,5	62,2	22,4	56,6	65,0	54,2	61,5	67,7
Ba	904	427	1010	1390	850	798	384	687	735	634	569	621
La	51	35	57	59	51	50	20	44	45	45	47	48
Ce	94	66	106	108	94	96	39	85	88	86	93	91
Pr	10,8	7,3	11,6	12,5	10,3	11,0	4,5	10,0	10,3	10,0	10,6	10,7
Nd	41,2	28,9	43,3	48,0	40,1	42,1	19,7	39,7	41,2	41,3	39,6	41,9
Sm	8,74	6,10	8,09	10,60	7,37	8,13	5,15	8,27	8,97	7,99	7,43	8,51
Eu	2,35	2,10	2,44	2,94	2,37	2,78	1,72	2,54	2,97	2,70	2,58	2,53
Gd	7,21	5,95	7,31	7,85	6,94	7,76	5,29	7,23	9,04	7,78	7,09	7,35
Tb	0,95	0,84	0,96	1,14	0,96	1,06	0,88	0,95	1,25	1,10	0,97	1,07
Dy	5,24	4,56	5,05	5,76	5,07	5,62	5,05	5,29	6,67	5,78	5,20	5,55
Ho	0,90	0,79	0,86	1,07	0,94	0,98	0,94	0,90	1,16	1,06	0,96	0,99
Er	2,44	2,15	2,20	2,90	2,39	2,47	2,47	2,55	2,97	2,71	2,44	2,72
Tm	0,31	0,29	0,32	0,35	0,32	0,34	0,40	0,31	0,40	0,39	0,30	0,36
Yb	1,89	1,71	1,91	2,38	1,80	1,95	2,02	1,95	2,16	2,09	2,15	2,01
Lu	0,25	0,23	0,28	0,32	0,25	0,26	0,33	0,30	0,31	0,33	0,31	0,31
Hf	5,75	5,27	6,70	5,91	6,40	6,40	3,88	6,14	7,41	6,71	5,28	5,90
Ta	3,48	2,51	3,78	4,15	3,50	3,78	1,29	3,43	3,89	3,16	3,73	3,84
Pb	5,19	4,58	4,32	13,30	5,47	4,99	4,08	6,63	5,19	4,20	4,79	6,50
Th	5,34	4,33	6,13	6,36	5,60	4,89	2,73	4,57	4,72	4,20	5,16	5,25
U	1,21	1,04	1,34	1,46	1,27	1,31	0,87	1,20	1,15	1,05	1,23	1,37

Примечание. Окислы в мас.%, микроэлементы в г/т. Пробы из групп экструзий: 1–5 — Мандахской, 6–8 — Гурван-Сайханской, 9–12 — Мандал-Гобийской.

гих вулканических областях позднемезозойской вулканической провинции Центральной Азии [2–4, 10], что связывается с эволюцией состава источников магматизма в сторону источников типа ОИВ.

В заключение отметим — приведённые данные свидетельствуют, что развитие Восточно-Монгольской вулканической области отвечало тем же закономерностям, что и формирование других крупнейших областей позднемезозойской магматической

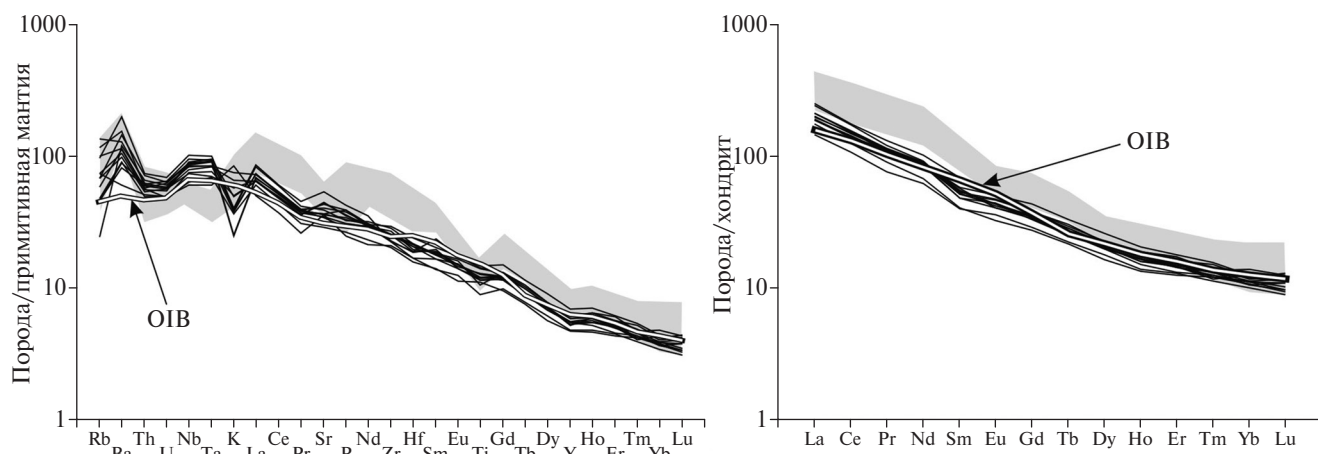


Рис. 2. Содержания рассеянных элементов в породах ММГ, нормированные к примитивной мантии [11], и редкоземельных элементов, нормированные к хондриту [11]. Серое поле — составы раннемеловых основных вулканических пород ВМО, ОІВ — по [11].

провинции Центральной Азии. Основные магматические и структурообразующие события в её пределах протекали в раннем мелу, когда был сформирован структурный каркас области и произошло образование её лавового чехла. К позднему мелу магматическая активность снизилась, но тем не менее не прекратилась. Область её проявления была резко сокращена и ограничивалась ММГ-зоной, контролируемой литосферным расколом рифтогенного типа. Сокращение магматической активности сопровождалось изменением состава источников расплавов. Если в раннем мелу состав базитов области отвечал мантийному источнику с повышенными концентрациями рассеянных элементов, но несущего признаки обогащения водой (наличие Ta–Nb-минимума), то в позднем мелу и раннем кайнозое источником расплавов ОІВ-типа служили более примитивные “сухие” мантийные породы. Подобная корреляция между сокращением объёмов выплавки и трендом изменения состава пород, по-видимому, определялась снижением теплового воздействия подлитосферных мантийных расплавов на метасоматически обогащённую литосферную мантию и постепенным исключением её из состава источников магм.

Источники финансирования. Работа выполнена в ИГЕМ РАН рамках Государственного задания № 0136–2019–0012 и при поддержке гранта РФФИ 17–05–00167.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Иванов В.Г. // Геотектоника. 1995. № 5. С. 41–67.
2. Yarmolyuk V.V., Kudryashova E.A., Kozlovsky A.M., et al. // J. Asian Earth Sci. 2015. V. 111. P. 604–623.
3. Ступак Ф.М., Ярмолюк В.В., Кудряшова Е.А., Лебедев В.А. // Тихоокеан. геология. 2018. Т. 37. С. 95–106.
4. Воронцов А.А., Ярмолюк В.В., Комарицына Т.Ю. // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. С. 920–946.
5. Воронцов А.А., Ярмолюк В.В. // Вулканология и сейсмология. 2007. № 4. С. 3–28.
6. Bars A., Miao L., Fochin Zh., et al. // Geol. J. 2018. V. 53. P. 2449–2470.
7. Dash B., Yin A., Jiang N., et al. // Gondwana Res. 2013. V. 27. P. 281–299.
8. Фрих-Хар Д.И., Лучицкая А.И. Позднемеозойские вулканы и связанные с ними гипабиссальные интрузивы Монголии. М.: Наука, 1978. 170 с.
9. Ступак Ф.М., Кудряшова Е.А., Лебедев В.А., Гольцман Ю.В. // Вулканология и сейсмология. 2018. № 1. С. 35–47.
10. Ярмолюк В.В., Иванов В.Г., Коваленко В.И. // Петрология. 1998. Т. 6. С. 115–138.
11. Sun S.-S., McDonough W.F. // Geol. Soc. London. Spec. Publ. 1989. № 42. P. 313–345.
12. Чернышев И.В., Лебедев В.А., Аракелянц М.М. // Петрология. 2006. Т. 14. С. 69–89.

LATE STAGES IN THE EVOLUTION OF THE LATE MESOZOIC EAST MONGOLIAN VOLCANIC AREAL: ROCK AGE AND COMPOSITION

Academician of the RAS V. V. Yarmolyuk, E. A. Kudryashova, A. M. Kozlovsky

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

Received February 14, 2019

The Mandakh–Madal–Gobi (MMG) zone of alkali basalt magmatism has been delineated in the Late Mesozoic East Mongolian volcanic areal. It comprises clusters of igneous rock bodies and isolated stocks, domes, sills, laccoliths, dikes, and limited fragments of lava flows composed of tephrite, phono–tephrite, and trachybasalt. Two pulses of magmatism in the MMG zone have occurred in the Late Cretaceous (about 85 Ma) and Early Cenozoic (about 50 Ma). Recognition of this zone and deciphering of its formation history demonstrated that the development of the entire East Mongolian volcanic areal had the same regularities as those identified in other major regions of the Late Mesozoic Central Asia magmatic province. This indicates that the areal undoubtedly belongs to the latter. These facts support the conclusion that the correlation observed through the zone's evolution between reduction in the volume of igneous products and the change in their composition towards the OIB was apparently determined by a decrease in the effect of thermal sublithospheric mantle melts upon a metasomatically enriched lithospheric mantle, leading to its gradual elimination from the magma sources.

Keywords: intraplate magmatism, suprasubduction magmatism, flood basalt, mantle magmatic sources.