

УДК 552.313:551.72(571.53/.55)

## НОВОЕ СОБЫТИЕ БАЗИТОВОГО МАГМАТИЗМА ЭКТАЗИЙСКОГО ВОЗРАСТА В ЮЖНОЙ ЧАСТИ СИБИРСКОГО КРАТОНА

Член-корреспондент РАН Д. П. Гладкочуб<sup>1,2,3,\*</sup>, Т. В. Донская<sup>1</sup>,  
Р. Е. Эрнст<sup>4,5</sup>, М. А. Гамильтон<sup>6</sup>, А. М. Мазукабзов<sup>1</sup>, С. А. Писаревский<sup>7</sup>, С. Камо<sup>4</sup>

Поступило 14.09.2018 г.

На основании U–Pb-датирования циркона и бадделеита из габбро-долерита дайкового роя Голоуспенского блока Байкальского выступа фундамента Сибирского кратона установлен возраст базитов, составляющий  $1338,0 \pm 2,9$  млн лет. Показано, что близковозрастные базитовые интрузии районов Голоустная и Листвянка (юг Сибирского кратона) и выступа Веллингтон (комплекс Баркинг Дог, север Лаврентии) могли быть образованы под воздействием единого мантийного плюма и принадлежать к единой крупной магматической провинции (КМП) эктазийского возраста

*Ключевые слова:* долериты, дайки, U–Pb-возраст, мезопротерозой, крупные магматические провинции, Сибирский кратон.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524863326-330>

Временной период 1,70–0,75 млрд лет в геологической литературе часто обозначается как период глобальной неопределённости [1], или «скучный миллиард лет» [2]. П.А. Кэвуд и С.Дж. Хоксвот [3] показали, что в этот период не происходило глобальных оледенений, формирования крупных месторождений орогенного золота, железа и сульфидов, но в то же время широким распространением пользовались интрузии, связанные с крупными магматическими провинциями. Современные палеогеографические реконструкции показывают на временном интервал 1,70–0,75 млрд лет близкое пространственное расположение южного фланга Сибирского кратона и северной части Лаврентии (кратонной части Северной Америки) [4–6]. Однако если в пределах Лаврентии мезопротерозойские крупные магматические провинции представлены в достаточно большом объеме [3, 6], то данные по магматизму

южной части Сибирского кратона до сих пор очень ограничены. В 2016 г. Р.Е. Эрнст с соавторами [6] представили некоторые материалы по возрасту двух единичных даек, располагающихся в пределах южного фланга Сибирского кратона (~1,35 и ~1,26 млрд лет соответственно). Однако по сравнению с северной частью Лаврентии этих данных совершенно недостаточно для проведения надежных межкратонных корреляций для мезопротерозойского периода развития Сибири и Лаврентии. В статье представлены результаты геохронологических исследований циркона и бадделеита из габбро-долеритов впервые обнаруженного мезопротерозойского дайкового роя (более 10 даек) в Голоуспенском блоке (юг Сибирского кратона).

Голоуспенский блок расположен в южной части Байкальского выступа фундамента южной части Сибирского кратона и сложен преимущественно палеопротерозойскими мигматизированными гнейсами и гранитогнейсами, которые прорываются недеформированными гранитами приморского комплекса с возрастом около 1,86 млрд лет [7, 8]. Палеопротерозойские породы Голоуспенского блока прорываются дайками нескольких генераций: раннепалеозойскими, неопротерозойскими, и, как показало настоящее исследование, мезопротерозойскими.

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

<sup>2</sup>Иркутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук

<sup>3</sup>Иркутский государственный университет

<sup>4</sup>Carleton University, Ottawa, Canada

<sup>5</sup>Томский государственный университет

<sup>6</sup>University of Toronto, Canada

<sup>7</sup>Curtin University, Perth, Australia

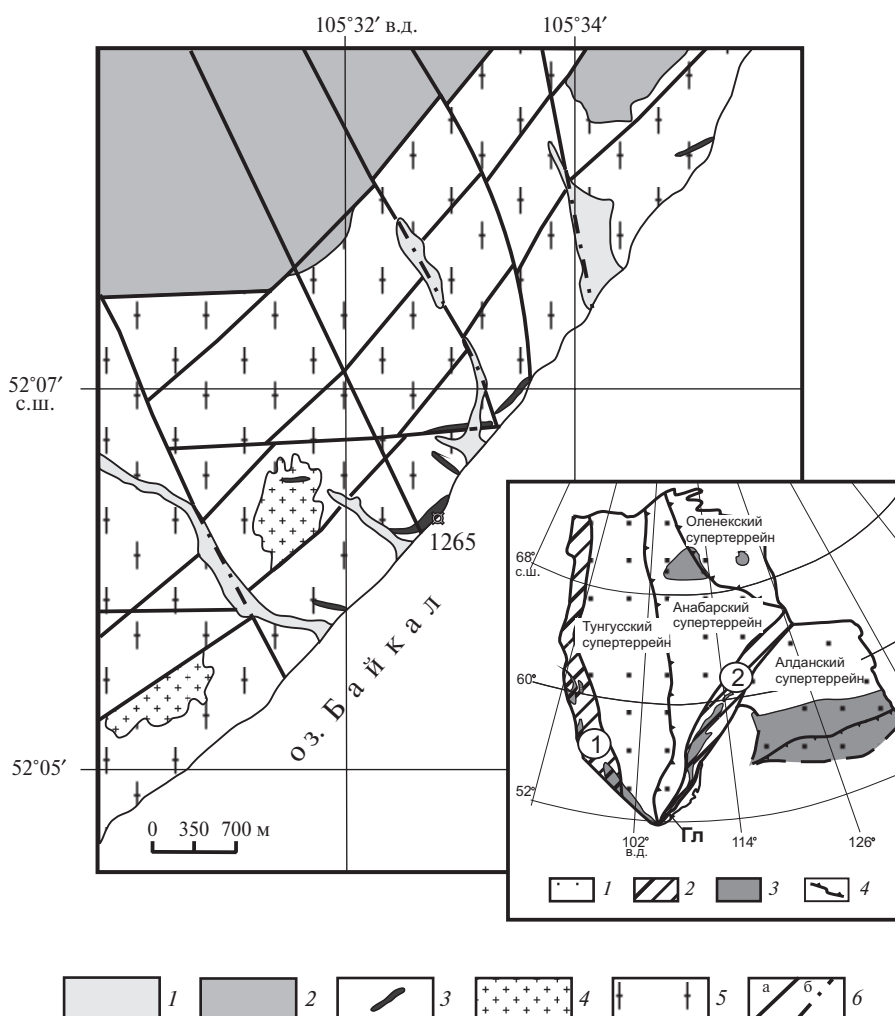
\*E-mail: gladkochub@mail.ru

Серия даек мощностью от полуметра до ста метров была обнаружена в районах бухт Дыроватая и Падь Левая Широкая западного побережья оз. Байкал к северу от пос. Большое Голоустное (рис. 1). Дайки представляют собой субвертикальные тела, характеризуются крутыми секущими контактами с вмещающими их палеопротерозойскими породами и сложены долеритами и габбро-долеритами. Простирание даек меняется от 230° до 300°.

Проба габбро-долерита № 1265 была отобрана для геохронологических исследований из крупного дайкообразного тела, прослеживающегося вдоль побережья оз. Байкал в районе бухты Дыроватая приблизительно на 350–400 м (координаты

52°06,300' с.ш., 105°32,715' в.д.). Мощность дайки составляет не менее 60 м. Габбро-долерит представляет собой среднезернистую массивную породу, для которой характерна пойкилоофитовая структура. Главными минералами габбро-долерита являются частично сосюритизированный плагиоклази пироксен, часто замещённый амфиболом. Второстепенные минералы представлены рудным минералом, хлоритизированным биотитом, кварцем, акцессорные минералы — апатитом, цирконом, бадделейтом.

Концентрат бадделейта из пробы габбро-долерита № 1265 был выделен в Университете г. Лунд (Швеция) по методике [9]. В концентрате преобладают фрагменты пластинчатых кристаллов бадделейта



**Рис. 1.** Схема геологического строения районов бухт Дыроватая и Падь Левая Широкая (Голоустенский блок Байкальского краевого выступа фундамента Сибирского кратона): 1 — четвертичные отложения; 2 — вендские отложения байкальской серии; 3 — крупные дайки мезопротерозойских габбро-долеритов; 4 — палеопротерозойские недеформированные граниты приморского комплекса; 5 — палеопротерозойская мигматит-гнейсовая толща; 6 — основные разломы: а — наблюдаемые, б — предполагаемые. На врезке — схема основных тектонических элементов Сибирского кратона: 1 — основные супертеррейны; 2 — палеопротерозойские складчатые пояса; 3 — выступы фундамента; 4 — шовные зоны. Цифры на рисунке в кружках: 1 — Ангарский складчатый пояс; 2 — Аkitканский складчатый пояс. Буквы: Гл — Голоустенский блок.

коричневого цвета, из которых для датирования было отобрано три фракции, включающие 10, 6 и 13 фрагментов зёрен бадделеита, соответственно (табл. 1). Концентрат “тяжёлых” минералов из пробы № 1265 был выделен в Институте земной коры СО РАН по стандартной методике с использованием концентрированного столика и тяжёлых жидкостей. Из этого концентрата в Университете Торонто (Канада) была выделена небольшая группа зёрен циркона. Цирконы были подвергнуты химической обработке по методике [10], после которой только два зерна циркона были отобраны для датирования. Химическое разложение отобранных для датирования двух кристаллов циркона и трёх фракций бадделеита, а также выделение U и Pb выполнялось по методике Т.Е. Кроу [11]. Изотопные анализы выполнены в ДжекСаттерлей геохронологической лаборатории (JSGL) Университета Торонто (Канада) на масс-спектрометре VG354 по методике, опубликованной в [12]. Построение графиков с конкордией проводилось с использованием программы Isoplot 3.0 [13]. Все ошибки приведены на уровне  $2\sigma$ .

Полученные результаты приведены в табл. 1 и на рис. 2. На U–Pb-диаграмме с конкордией (рис. 2) точки изотопного состава двух наиболее конкордантных фракций бадделеита (Vd-1 и Vd-2) и двух зерен циркона образуют дискордию, верхнее пересечение которой с конкордией соответствует возрасту  $1338,5 \pm 6,9$  млн лет (СКВО = 0,42). Третья фракция бадделеита (Vd-3) в расчёте возраста по дискордии не учитывалась из-за дискордантности полученных значений (табл. 1). Кроме того, для двух проанализированных зёрен циркона был рассчитан средне-взвешенный  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  возраст, который составил  $1338,0 \pm 2,9$  млн лет (СКВО = 0,93), что соответствует возрасту кристаллизации циркона. Таким образом, приведенные выше оценки возраста совпали в пределах ошибки, что позволяет принимать значение  $1338,0 \pm 2,9$  млн лет как наиболее точную оценку возраста габбро-долеритов мезопротерозойского дайкового роя Голоуспенского блока.

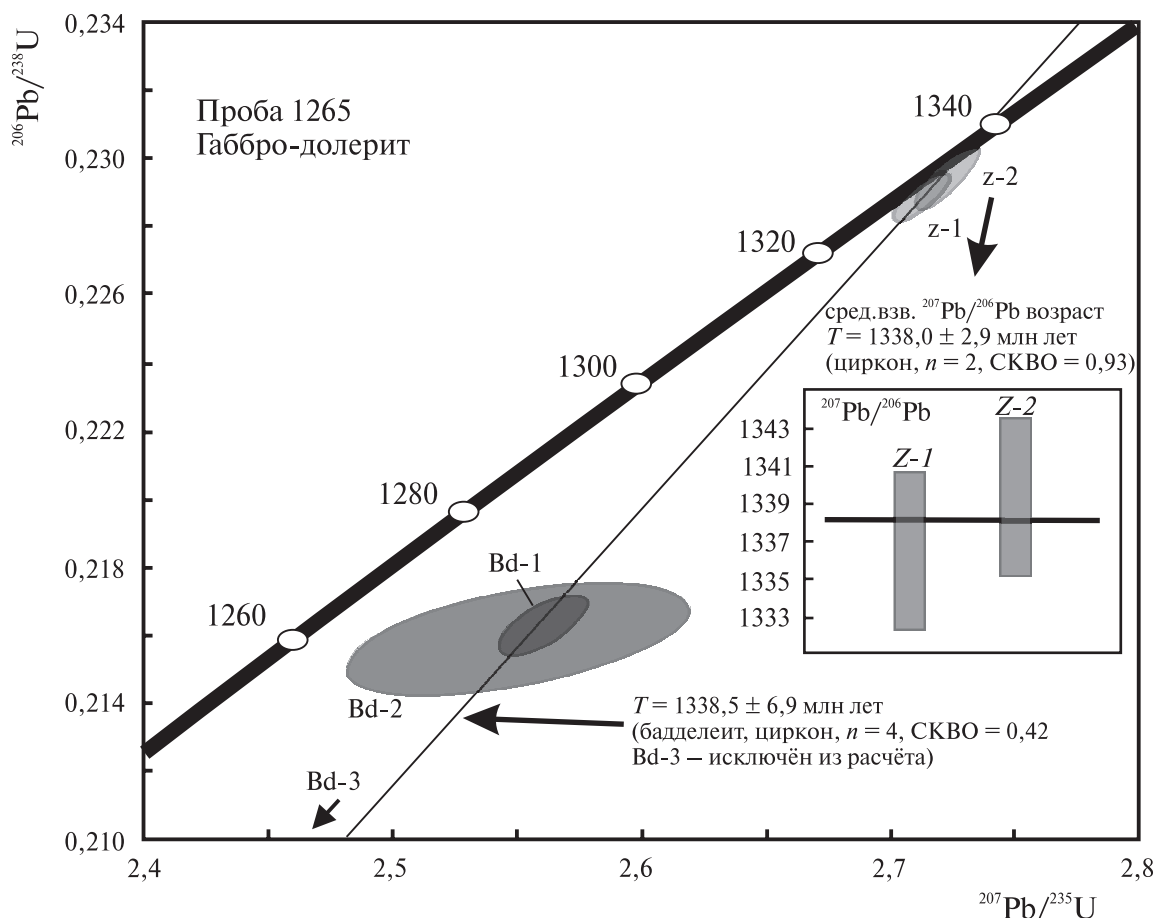
Проведенные исследования позволили выделить новое событие базитового магматизма эктазийского возраста (средняя часть мезопротерозоя) в южной

**Таблица.** Результаты U–Pb-изотопных исследований бадделеита и циркона из габбро-долерита Голоуспенского дайкового роя (образец 1265)

Тип и номер зерна/ фракции	U, мкг/г	Th/U	Pb <sub>tot</sub> , пг	Pb <sub>c</sub> , пг	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ , изм.	$^{206}\text{Pb}_c$ , %	$^{207}\text{Pb}_c$ , %	Изотопные отношения		
								$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 2\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
Z-1	н.о.	0,95	38,6	0,4	4774	0,4	3,8	2,711	0,009	0,2289
Z-2	н.о.	0,89	26,6	0,3	4561	0,4	3,9	2,722	0,010	0,2294
Vd-1	142	0,09	14,7	0,5	2147	0,9	8,7	2,559	0,014	0,2163
Vd-2	60	0,20	6,2	1,2	360	5,4	55	2,550	0,056	0,2159
Vd-3	466	0,44	18,2	0,8	1457	1,3	13	2,156	0,013	0,1868

Изотопные отношения			<i>Rho</i>	Возраст, млн лет			<i>D</i> , %
$\pm 2\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 2\sigma$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	
0,0006	0,08593	0,00018	0,785	$1328,5 \pm 3,0$	$1331,6 \pm 2,5$	$1336,5 \pm 4,1$	0,7
0,0008	0,08605	0,00018	0,826	$1331,6 \pm 4,0$	$1334,6 \pm 2,8$	$1339,3 \pm 4,1$	0,6
0,0007	0,08581	0,00036	0,670	$1262,3 \pm 3,8$	$1289,1 \pm 4,1$	$1334,0 \pm 8,1$	5,9
0,0014	0,08565	0,00166	0,540	$1260,2 \pm 7,2$	$1286,3 \pm 16,1$	$1330,3 \pm 37,8$	5,8
0,0005	0,08370	0,00041	0,578	$1104,2 \pm 2,5$	$1167,0 \pm 4,1$	$1285,5 \pm 9,5$	15,3

Примечание. Z – циркон, Vd – бадделеит. Фракции Vd-1, Vd-2 и Vd-3 включали в себя 10, 6 и 13 фрагментов кристаллов бадделеита, соответственно. Н.о. – содержание U не определялось. Отношение Th/U рассчитано по отношению  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  и возрасту  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ . Pb<sub>tot</sub> и Pb<sub>c</sub> обозначают суммарный (исключая бланк) и обычный (допуская изотопный состав лабораторного бланка) свинец, соответственно.  $^{206}\text{Pb}_c$ (%) и  $^{207}\text{Pb}_c$ (%) – процент обычного Pb (бланк Pb + начальный Pb) от общего количества  $^{206}\text{Pb}$  и  $^{207}\text{Pb}$  в анализе, соответственно.  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  отношения откорректированы на фракционирование и обычный Pb в спайке. Pb/U отношения откорректированы на фракционирование, обычный Pb в спайке и бланк. *Rho* – коэффициент корреляции ошибок отношений  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ – $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ . Коррекция на несбалансированность  $^{230}\text{Th}$  в  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  и  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  выполнена с учётом Th/U = 4,2. *D* – дискордантность.



**Рис. 2.** U–Pb-диаграмма с конкордией для циркона и бадделеита из габбро-долерита Голоустенского дайкового роя (проба 1265). Наименования эллипсов на диаграмме соответствуют наименованиям в таблице. На врезке приведена  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -гистограмма возраста двух проанализированных зёрен циркона.

части Сибирского кратона. Теперь кроме единичных даек района Листвянки ( $1350 \pm 6$  млн лет [6]) и Средней Черемшанки ( $1258 \pm 5$  млн лет [6]) выделен дайковый рой района Голоустное ( $1338 \pm 3$  млн лет). Во всех трёх случаях внедрение даек происходило, по всей видимости, под воздействием мантийных плюмов в обстановке внутриконтинентального растяжения. Вероятно, пространственно близко расположенные дайки Листвянки и роя Голоустная отражают результат миграции Сибирского кратона над мантийным плюмом в период около 1350–1340 млн лет. На территории северной части Лаврентии с воздействием этого плюма можно связывать магматическое событие Баркинг Дог в выступе Веллингтон (о. Виктория) и относить рассмотренные выше разновозрастные базитовые комплексы к единой крупной магматической провинции.

**Источники финансирования.** Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект 18–17–00101. Работы Р.Э. Эрнста были частично поддержаны Мегагрантом

14.Y26.31.0012 Правительства Российской Федерации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Wingate M.T.D., Mazukabzov A.M., Pisarevsky S.A., Sklyarov E.V., Stanevich A.M. // Amer. J. Sci. 2010. V. 310. P. 812–825.
2. Roberts N.M.W. // Geosci. Frontiers. 2013. V. 4. P. 681–691.
3. Cawood P.A., Hawkesworth C.J. // Geology. 2014. V. 42. P. 503–506.
4. Evans D.A.D., Mitchell R.N. // Geology. 2011. V. 39. P. 443–446.
5. Pisarevsky S.A., Elming S.-Å., Pesonen L.J., Li Z.X. // Precamb. Res. 2014. V. 244. P. 207–225.
6. Ernst R.E., Hamilton M.A., Söderlund U., Hanes J.A., Gladkochub D.P., Okrugin A.V., Kolotilina T., Mekhonoshin A.S., Bleeker W., LeCheminant A.N., Buchan K.L., Chamberlain K.R., Didenko A.N. // Nature Geosci. 2016. V. 9. P. 464–469.

7. Гладкочуб Д.П., Донская Т.В., Вингейт М.Т.Д., Мазукабзов А.М., Писаревский С.А., Корнилова Т.А. // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 11. С. 1714–1730.
8. Донская Т.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М., Лепехина Е.Н. // Петрология. 2016. Т. 24. № 6. С. 587–606.
9. Söderlund U., Johansson L. // *Geochem., Geophys., Geosyst.* 2002. V. 3. № 2. P. 1–7.
10. Mattinson J.M. // *Chem. Geol.* 2005. V. 220. P. 47–66.
11. Krogh T.E. // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1973. V. 37. P. 485–494.
12. Hamilton M.A., Buchan K.L. // *Precamb. Res.* 2010. V. 183. P. 463–473.
13. Ludwig K.R. *Isoplot/EX 3. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel* // Berkeley Geochronol. Center. Spec. Publ., 4. 2003.

## A NEW ECTASIAN EVENT OF BASITIC MAGMATISM IN THE SOUTHERN SIBERIAN CRATON

Corresponding Member of the RAS D. P. Gladkochub<sup>1,2,3</sup>, T. V. Donskaya<sup>1</sup>, R. E. Ernst<sup>4,5</sup>,  
M. A. Hamilton<sup>6</sup>, A. M. Mazukabzov<sup>1</sup>, S. A. Pisarevsky<sup>7</sup>, S. Kamo<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup>*Irkutsky Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation*

<sup>3</sup>*Irkursky State University, Irkutsk, Russian Federation*

<sup>4</sup>*Carleton University, Ottawa, Canada*

<sup>5</sup>*Tomsky State University, Tomsk, Russian Federation*

<sup>6</sup>*University of Toronto, Canada*

<sup>7</sup>*Curtin University, Perth, Australia*

Received September 14, 2018

On the basis of U–Pb dating of zircon and baddeleyite from gabbro–dolerite of the Goloustnaya dyke swarm (southern margin of the Siberian Craton), the age of basites was established as  $1338.0 \pm 2.9$  Ma. It is shown that the basite intrusions of close ages from the Goloustnaya and Listvyanka areas (southern Siberian Craton) and Victoria Island (northern Laurentia, Barking Dog complex) could have been formed under the influence of the same mantle plume and belong to the same Large Igneous Province of Ectasian (Middle Mesoproterozoic) age.

*Keywords:* dolerite, dyke, U–Pb age, Mesoproterozoic, Large Igneous Province, Siberian craton.