

Научная статья

УДК 550.93:551.248.1(571.63)

DOI: 10.37102/0869-7698_2023_230_04_3

EDN: COPCOG

Новые данные о возрасте и палеогеодинамической природе Калиновского офиолитового комплекса (Сихотэ-Алинь): результаты U-Pb LA-ICP-MS изотопно-геохимических исследований цирконов

А.Н. Голич✉, С.В. Высоцкий

Алексей Николаевич Голич

младший научный сотрудник

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

agolich@fegi.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7759-9080>

Сергей Викторович Высоцкий

доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

vysotskiy@fegi.ru

<http://orcid.org/0000-0002-5194-5616>

Аннотация. В структуре Сихотэ-Алинского орогенного пояса присутствуют офиолиты, возраст и палеогеодинамическая обстановка образования которых остаются дискуссионными. В работе представлены результаты U-Pb LA-ICP-MS изотопно-геохимических исследований цирконов из габброидов Чугуевского и Бреевского массивов Калиновского офиолитового комплекса. Установлено, что в разрезе этого комплекса тектонически со вмещены породы, формировавшиеся в разное время на разных этапах эволюции долгоживущего океанического бассейна. Изученные Бреевский и Чугуевский габбро-гипербазитовые массивы представляют собой фрагменты офиолитов, формировавшихся на протяжении примерно 20 млн лет в пермское время, а не в девон-каменноугольное, как полагалось ранее. Палеотектоническая обстановка образования массивов не связана с внутриокеаническими структурами. Предполагается, что они развивались в задуговом бассейне в присутствии фрагментов континентальной коры либо на активной континентальной окраине. Тектонически ассоциирующие с габбро-гипербазитами базальты океанических островов и каменноугольно-пермские известняки, вероятно, относятся к более древнему массиву океанического плато.

Ключевые слова: цирконы, офиолиты, геохронология, Калиновский комплекс, Сихотэ-Алинь

Для цитирования: Голич А.Н., Высоцкий С.В. Новые данные о возрасте и палеогеодинамической природе Калиновского офиолитового комплекса (Сихотэ-Алинь): результаты U-Pb LA-ICP-MS изотопно-геохимических исследований цирконов // Вестн. ДВО РАН. 2023. № 4. С. 38–50. http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2023_230_04_3.

Original article

New data on the age and paleogeodynamic setting of the Kalinovsky ophiolite complex (Sikhote-Alin): results of geochemical and U-Pb isotope LA-ICP-MS studies of zircons

A.N. Golich, S.V. Vysotskiy

Alexei N. Golich

Junior Researcher

Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia

agolich@fegi.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7759-9080>

Sergei V. Vysotskiy

Doctor of Sciences in Geology and Mineralogy, Chief Researcher

Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia

vysotskiy@fegi.ru

<http://orcid.org/0000-0002-5194-5616>

Abstract. The structure of the Sikhote-Alin orogenic belt contains ophiolites, the age and paleogeodynamic setting of which remain controversial. The article presents the results of U-Pb isotope LA-ICP-MS -geochemical studies of zircons from gabbroids of the Chuguevsky and Breevsky massifs of the Kalinovka ophiolite complex. The cross-section of the complex revealed that it contains various rocks formed at different stages of a long-lived oceanic basin evolution and coexisting due to different tectonic processes. The studied Breevka and Chuguevka mafic-ultramafic massifs are fragments of ophiolites that formed during about 20 Ma in the Permian, but not in the Devonian-Carboniferous, as previously thought. The paleotectonic setting of the formation of massifs is not associated with intra-oceanic structures. We assume that they developed either in a back-arc basin in the presence of fragments of continental crust or at an active continental margin. Oceanic island basalts and Carboniferous-Permian limestones tectonically associated with mafic-ultramafic rocks probably belong to an older massif of the oceanic plateau.

Keywords: zircons, ophiolites, geochronology, Kalinovka complex, Sikhote-Alin

For citation: Golich A.N., Vysotskiy S.V. New data on the age and paleogeodynamic setting of the Kalinovsky ophiolite complex (Sikhote-Alin): results of geochemical and U-Pb isotope LA-ICP-MS studies of zircons. *Vestnik of the FEB RAS*. 2023;(4):38-50. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2023_230_04_3.

Введение

Офиолитовые комплексы представляют собой фрагменты древней океанической коры (литосферы) в структуре континентов и являются важным

элементом при палеотектонических реконструкциях. Они несут в себе характеристики тех тектонических обстановок, в которых образовались: океанических плит, срединно-океанических хребтов, островодужных систем и др.

В структуре Сихотэ-Алинского орогенного пояса присутствуют фрагменты офиолитов, приуроченных к верхнему структурному уровню юрской аккреционной призмы [1–5]. С севера на юг выделяются три офиолитовых комплекса: Дахэжэньский, Бикинский и Калиновский.

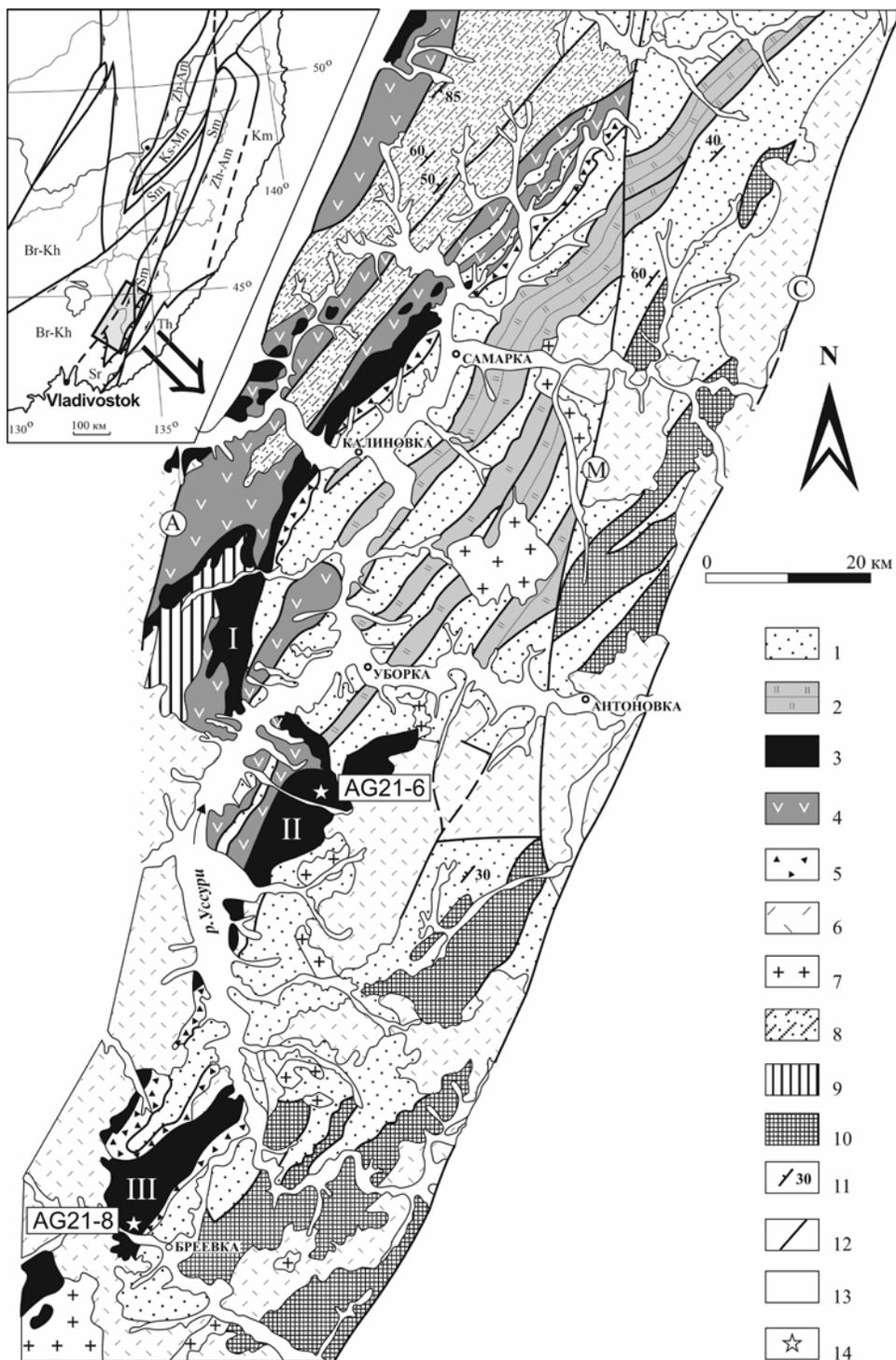
Калиновский комплекс протягивается цепью габбро-гипербазитовых массивов на расстояние примерно в 200 км с юга на север, от с. Верхняя Бреевка до бассейна р. Откосная (рис. 1). Наиболее крупные из этих массивов (>20 км в длину) получили названия Самаркинский, Чугуевский и Бреевский [6]. В пределах массивов сохранились относительно полные фрагменты разрезов, сложенные перидотит-троктолитовой ассоциацией офиолитов [4, 5, 7, 8]. Их нижняя часть представлена серпентинизированными дунитами и гарцбургитами. Выше залегают плагиоклазовые дуниты, верлиты, клинопироксениты, троктолиты и оливиновые габбронориты. Габброидную часть разреза слагают амфиболовые, двупироксеновые, клинопироксеновые габбро, а также жилы плагиогранитов. На габброидах с тектоническим контактом залегает базальтовая толща, седиментационно перекрытая осадочными породами, которые представлены гиалокластитами, эдафогенными образованиями, ленточными кремнями и известняками.

До настоящего времени палеотектоническая модель формирования Калиновских офиолитов остается дискуссионной. Ранее считалось, что они образовались в спрединговой зоне палеоокеана (бассейне типа pull-apart), а затем были перемещены в основание островодужного склона позднепалеозойской островной дуги [7]. Существовала гипотеза об их формировании в результате раскола континентальной коры и образования рифтогенной структуры [9]. Кроме того, по ассоциации калиновских габброидов и гипербазитов с высокотитанистыми базальтами предполагалось, что офиолитовый комплекс сформировался в основании океанического плато, рост которого был обусловлен внедрением мантийного плюма [3, 8, 10]. Эти противоречия в интерпретации могут свидетельствовать о том, что в разрезе Калиновских офиолитов тектонически совмещены различные фрагменты палеоокеанического бассейна, имеющие разную геодинамическую природу.

Противоречивым также является определение возраста Калиновских офиолитов, который устанавливается в интервале конец девона – начало карбона, так как в кремнях, непосредственно залегающих на массивных базальтах, найдены конодонты конца девона, а в известняках на контакте с пиллоу-базальтами – фораминиферы визейского яруса карбона [3, 8]. Возраст габброидов определялся в основном К-Аг методом и до 1980-х годов, по данным отчетов геолого-съёмочных работ, варьировал от 90 до 360 млн лет. Более поздние исследования пегматоидных габбро Бреевского массива установили цифру 410 ± 9 млн лет [3], а определение возраста графических пегматитов, прорывающих габброиды Чугуевского

Рис. 1. Габбро-гипербазитовые массивы Калиновского офиолитового комплекса в южной части Сихотэ-Алинского орогенного пояса по работе [8].

I – Самаркинский, II – Чугуевский, III – Бреевский. Условные обозначения: 1 – юрские турбидитолистостромовые породы Самаркинской аккреционной призмы; 2 – пермские, триасовые и позднеюрские кремни; 3 – офиолитовые габброиды и ультрабазиты; 4 – базальты и диабазы в ассоциации с кремнями и известняками; 5 – пермские песчаники; 6 – поздне меловые вулканы; 7 – поздне-



меловые граниты; 8 – юрские турбидиты; 9 – пермотриасовые мелководные (шельфовые) осадки; 10 – сергеевские габброиды и перекрывающие их пермотриасовые шельфовые осадки; 11 – элементы залегания; 12 – разломы (А – Арсеньевский, М – Меридиональный, С – Центральный Сихотэ-Алинский), 13 – четвертичные осадочные отложения; 14 – места отбора проб. На врезке показаны террейны: Br-Kha – Буреино-Ханкайский, Sr – Сергеевский, Sm – Самаркинский, Th – Таухинский, Zh-Am – Журавлевско-Амурский, Km – Кемский, Ks-Mn – Киселевско-Маноминский террейн

массива, дало цифру 406 млн лет [11]. Однако эти данные противоречат последним К-Аг датировкам японских исследователей [12], которые определили возраст 230 млн лет для метагаббро, отобранного в районе с. Верхняя Бреевка.

В связи с этим одной из основных задач наших исследований становится определение времени формирования габбро-гипербазитовых массивов Калиновского офиолитового комплекса с помощью современных изотопно-геохронологических методов. Ранее нам впервые удалось датировать цирконы из образца пегматоидного габбро Бреевского массива [13]. Полученные датировки указывают на позднепермское время формирования массива и составляют 255 ± 6 млн лет (U-Pb LA-ICP-MS) и 264 ± 2 млн лет (U-Pb SIMS). Однако время формирования Чугуевского массива достоверно определить не удалось. В то же время геохимический состав габброидов указывает на островодужную природу этих массивов. В настоящей работе приводятся новые результаты изотопно-геохимических исследований циркона из габброидов Бреевского и Чугуевского массивов Калиновского офиолитового комплекса.

Материалы и методы аналитических исследований

В ходе полевых работ 2021 г. на Калиновском офиолитовом комплексе для выделения акцессорного циркона и дальнейших изотопно-геохимических исследований было отобрано 9 проб, из которых циркон был обнаружен только в 2. Пробы представляли собой единый штучный весом около 10 кг каждый, отобранный из коренного обнажения, не имеющего непосредственных контактов с окружающими породами. В районе руч. Степанов 2-й (Чугуевский массив; $44^{\circ}16'44,0''$ с.ш.; $133^{\circ}57'26,6''$ в.д.) была отобрана проба амфиболсодержащего габбронорита (AG21-6), состоящего из среднего плагиоклаза (40–50 %), ортопироксена и клинопироксена (по 20–25 %), а также амфибола (до 10 %). На левобережье р. Медведка, в районе с. Верхняя Бреевка (Бреевский массив; $43^{\circ}48'14,1''$ с.ш.; $133^{\circ}44'0,8''$ в.д.) была отобрана проба амфиболового габбро (AG21-8) – зеленовато-серой породы, сложенной роговой обманкой (60–70 %) и плагиоклазом (30–40 %). Места отбора проб указаны на рис. 1.

В связи со спецификой образцов особое внимание при проведении пробоподготовки уделялось чистоте. Зерна циркона были выделены методами дробления, магнитной сепарации и разделения в тяжелых жидкостях. Конечный отбор осуществлялся вручную под биноклем. Отобранные зерна, смонтированные в эпоксидную шашку, полировали и покрывали слоем золота высокой чистоты толщиной 50 нм. Участки зерен для непосредственных измерений выбирались с использованием микрофотографий, выполненных на электронном микроскопе в режиме катодоллюминесценции. Датирование цирконов было проведено методом LA-ICP-MS в Тяньцзиньском институте геологии и минеральных ресурсов (TIGMR CAGS, Китай) на приборе Thermo Fisher NEPTUNE ICP-MS по методике, описанной в работе [14]. Диаметр пучка составлял 35 мкм. В качестве стандартов использовались циркон Plesovice [15] и стандартное стекло NIST610. Обработка полученных данных выполнена с помощью программы IsoplotR [16].

Результаты исследований

U-Pb датирование. Зерна акцессорного циркона представлены обломками (реже призматическими зернами) прозрачных, с желтоватым оттенком кристаллов размером от 50 до 250 мкм. Наиболее крупные зерна часто трещиноватые, для них характерна удлиненная форма и наличие включений. Большинство призматических кристаллов и их обломков в катодных лучах проявляют характерную для магматических цирконов ростовую зональность. Результаты геохронологических исследований представлены в таблице и на рис. 2. Из пробы амфибол содержащего габбронорита (AG21-6) отобрано 12 зерен циркона, в которых проанализировано 15 точек. Из них конкордантный возрастной кластер образуют 10 точек в 8 зернах. На диаграммах с конкордией и средневзвешенного возраста получены идентичные датировки, составляющие 279 ± 2 млн лет (СКВО 3.7 и 0.21 соответственно). В пробе амфиболового габбро (AG21-8) всего было обнаружено 18 зерен циркона, проанализировано 18 точек в 16 зернах, из которых конкордантный возрастной кластер образуют 11 точек в 10 зернах. Как и в предыдущем случае, диаграммы с конкордией и средневзвешенного возраста демонстрируют почти идентичные результаты – 269 ± 2 млн лет (СКВО 5.9 и 0.49 соответственно). Таким образом, полученные датировки отражают пермское время формирования габброидов Чугуевского и Бреевского массивов.

Изотопные U-Pb данные для цирконов из пород Калиновского офиолитового комплекса

Точка, №	Изотопные отношения						Возраст, млн лет	
	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ
Габбронорит, Чугуевский массив (обр. AG21-6)								
6.1	0,311	0,012	0,044	0,001	0,052	0,002	275	4
6.2	0,318	0,011	0,044	0,001	0,052	0,002	280	4
6.3	0,317	0,010	0,044	0,001	0,052	0,002	278	4
6.4	0,320	0,018	0,044	0,001	0,053	0,003	279	6
6.7	0,317	0,009	0,044	0,001	0,052	0,001	280	4
6.8	0,325	0,013	0,044	0,001	0,054	0,002	277	4
6.9	0,322	0,011	0,044	0,001	0,053	0,002	279	3
6.11	0,331	0,010	0,044	0,001	0,054	0,001	280	5
6.12	0,326	0,007	0,044	0,000	0,054	0,001	277	3
6.13	0,324	0,012	0,045	0,001	0,053	0,002	282	4
Амфиболовое габбро, Бреевский массив (обр. AG21-8)								
8.3	0,301	0,010	0,043	0,001	0,051	0,002	269	3
8.5	0,305	0,008	0,043	0,001	0,051	0,001	272	4
8.6	0,316	0,013	0,043	0,001	0,054	0,002	269	3
8.7	0,313	0,006	0,043	0,000	0,053	0,001	268	3
8.10	0,314	0,007	0,043	0,000	0,053	0,001	269	3
8.11	0,318	0,009	0,043	0,001	0,054	0,001	272	4
8.12	0,310	0,033	0,042	0,001	0,053	0,006	266	6
8.13	0,300	0,008	0,042	0,000	0,052	0,001	265	3
8.14	0,305	0,007	0,042	0,001	0,052	0,001	266	4
8.15	0,315	0,009	0,043	0,001	0,053	0,001	272	4
8.18	0,318	0,024	0,043	0,001	0,054	0,004	271	8

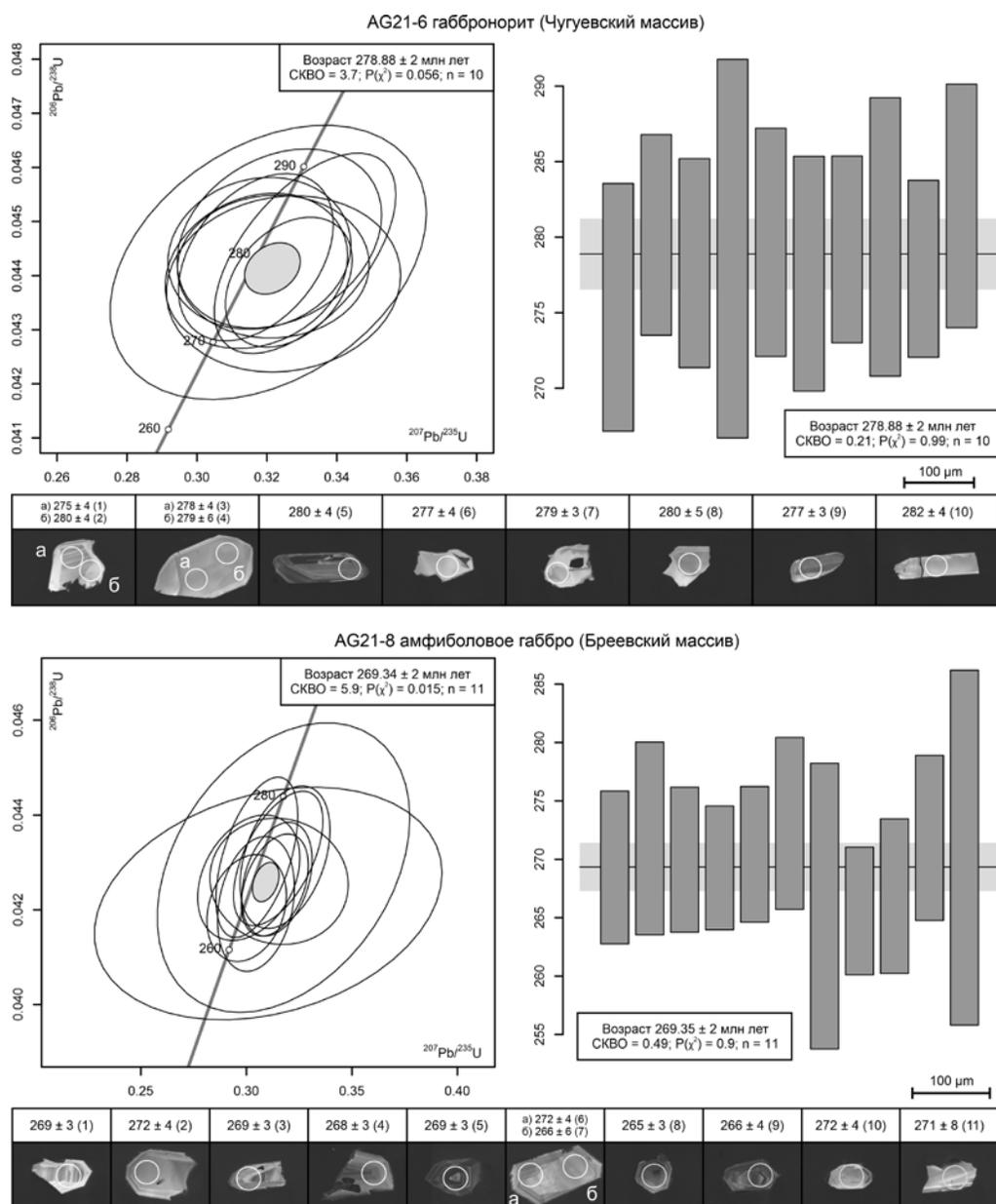


Рис. 2. Диаграммы с конкордией и средневзвешенных возрастов без коррекции на обыкновенный свинец для локальных U-Pb LA-ICP-MS анализов акцессорного циркона из габброидов Чугуевского и Бреувского массивов. СКВО – среднеквадратичное взвешенное отклонение; $P(\chi^2)$ – вероятность соответствия конкордантности; n – количество точек анализа; погрешность – 2σ

Микроэлементный состав цирконов. Результаты изучения микроэлементного состава зерен цирконов приведены на рис. 3 и 4. Цирконы из габброидов Чугуевского и Бреувского массивов почти не различаются по геохимическим характеристикам. Они показывают дифференцированные спектры распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) с преобладанием тяжелых РЗЭ над легкими и выраженную положительную Се аномалию. Цирконы Бреувского массива, по сравнению с цирконами Чугуевского массива, выделяются слегка повышенным содержанием

РЗЭ и наличием слабой отрицательной аномалии по Eu. В целом характер распределения РЗЭ в данных пробах типичен для неизмененных магматических цирконов [17, 18]. Это также подтверждает диаграмма $(Sm/La)_n - Ce/Ce^*$ (рис. 4, А), на которой большинство анализов тяготеют к полю магматических цирконов. Отношения Th/U в цирконах варьируют от 0,29 до 1,66. В некоторых анализах

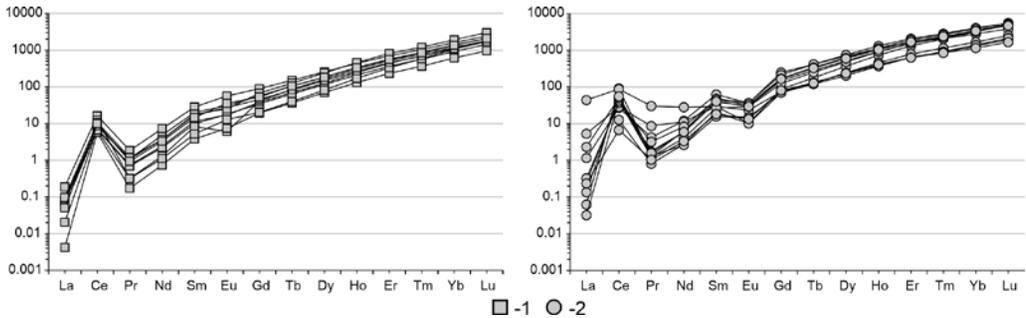


Рис. 3. Нормированные по хондриту [19] спектры распределения редкоземельных элементов в цирконах из пород Чугуевского и Бреевского массивов Калиновского офиолитового комплекса. Условные обозначения: 1 – габбронорит (AG21-6), Чугуевский массив; 2 – амфиболовое габбро (AG21-8), Бреевский массив

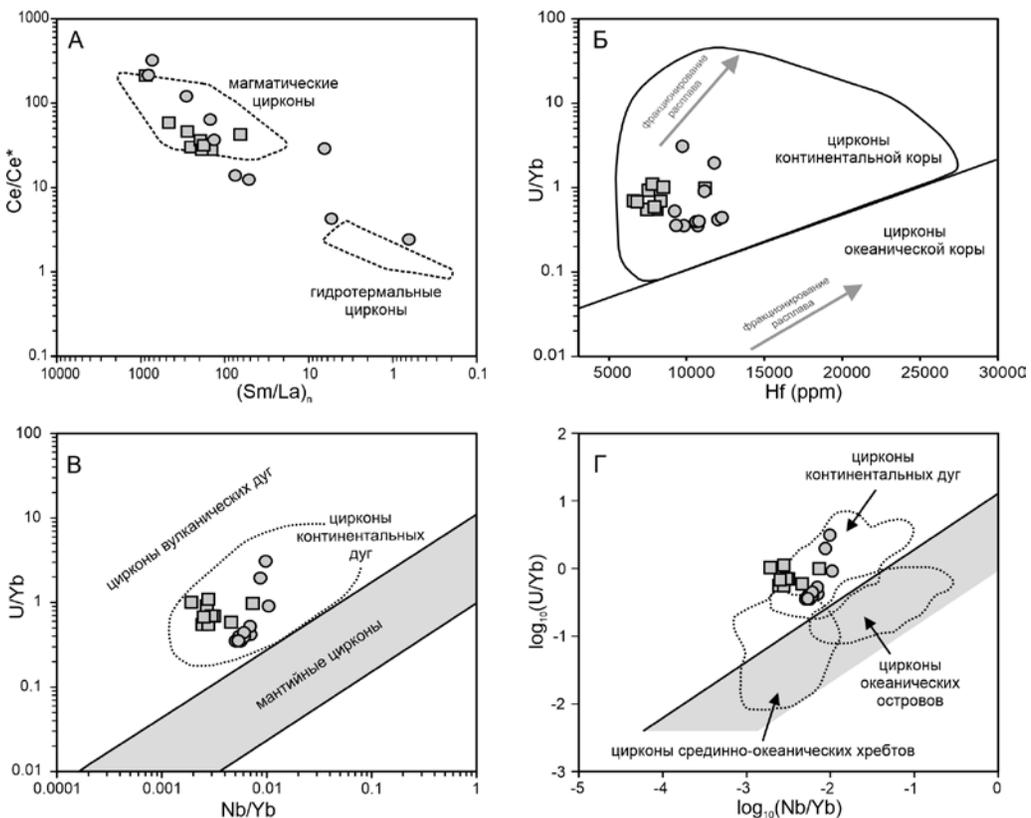


Рис. 4. Состав цирконов из пород Чугуевского и Бреевского массивов Калиновского офиолитового комплекса на диаграммах: А – $(Sm/La)_n - Ce/Ce^*$ [18]; Б – Hf–U/Yb [20, 21]; Б – Nb/Yb–U/Yb [20]; Г – $\log_{10}(Nb/Yb) - \log_{10}(U/Yb)$ [20]. $(Sm/La)_n = (Sm/0.153)/(La/0.237)$; $Ce/Ce^* = (Ce/0.612)/\sqrt{(La/0.237) \times (Pr/0.095)}$. Условные обозначения см. на рис. 3

Бреевских цирконов можно отметить повышенное содержание легких РЗЭ, особенно La, что может свидетельствовать о гидротермальном или метасоматическом генезисе цирконов [18]. Однако в данном случае это связано с попаданием в область анализа включений инородных минералов. Высокие концентрации элементов, не свойственных для циркона (Ca = 1493 ppm, P = 1223 ppm и Sr = 1,73 ppm), свидетельствуют о том, что в области анализа присутствовали включения апатита.

Обсуждение результатов

По современным представлениям [1, 2, 5], верхний структурный уровень юрской аккреционной призмы, к которому относятся офиолиты Сихотэ-Алиня, сложен турбидитово-олистоострововыми толщами с включениями комплексов палеоокеанической литосферы. Среди последних выделяются габбро-гипербазитовые массивы, на которых с тектоническим контактом залегает комплекс базальтов в ассоциации с согласно перекрывающими их каменноугольно-пермскими карбонатными и кремневыми породами. Исследования А.И. Ханчука, И.В. Кемкина и др. [3, 4, 10] дали основания для предположения о том, что габбро-гипербазиты и базальты представляют собой фрагменты единого офиолитового комплекса, образованного около 400 млн лет назад и аккретированного в раннеюрское время. Однако полученные нами результаты U-Pb датирования габброидов Чугуевского и Бреевского массивов противоречат такому выводу. По результатам проведенных исследований возраст габбронорита Чугуевского массива устанавливается в 279 ± 2 млн лет, а возраст амфиболового габбро Бреевского массива – 269 ± 2 млн лет. Возраст датированного нами ранее пегматоидного габбро Бреевского массива составил не менее 264 ± 2 млн лет [13]. Таким образом, результаты U-Pb датирования по цирконам свидетельствуют о том, что изучаемые габбро-гипербазитовые массивы формировались на протяжении примерно 20 млн лет в пермское время, а не в девон-каменноугольное, как полагалось ранее, и при этом Чугуевский массив завершил формирование раньше Бреевского.

В настоящее время считается, что Калиновский офиолитовый комплекс сформировался в основании океанического плато, рост которого был обусловлен внедрением мантийного плюма [3, 8, 10]. Такая интерпретация основана на ассоциации Калиновских габбро-гипербазитовых массивов с высокотитанистыми базальтами океанических островов, согласно перекрытых каменноугольно-пермскими осадками. Однако существуют предпосылки для пересмотра этой гипотезы.

Прежде всего следует отметить, что среди вулканитов, тектонически ассоциирующих с габбро-гипербазитовыми массивами, присутствуют несколько петрохимических типов [22–24]: 1) базальты океанических островов, ассоциирующие с каменноугольно-пермскими известняками; 2) спрединговые базальты, ассоциирующие с пермскими пелагическими кремнями; 3) вулканиты островодужного типа. Последние встречаются редко и представлены двумя типами вулканитов. Первый тип – базальты со смешанными (надсубдукционными и океаническими) характеристиками, для которых можно предположить их формирование в условиях задугового спрединга. В Самаркинском террейне эти базальты ассоциируют с кремнистыми образованиями пермского возраста. Второй тип (собственно надсубдукционные) – лавобрекчии дацитового состава, предположительно пермского возраста, встречены в меланже Хабаровского террейна [22].

Среди ультрамафитов Чугуевского и Бреевского габбро-гипербазитовых массивов мантийные рестины редки, основания разрезов массивов сложены кумулятивными перидотитами, троктолитами либо пироксенитами [4, 7, 8, 10]. Такое строение не характерно для комплексов океанических плато и, наоборот, свойственно офиолитам, образованным над зонами субдукции (задуговые и междуговые впадины островодужных систем).

Как показывают наши исследования, габброиды Калиновского комплекса обладают геохимическими признаками островодужного происхождения [13]. На диаграммах распределения микроэлементов и на дискриминационных диаграммах, используемых для реконструкции геодинамических обстановок, составы Чугуевских и Бреевских габброидов, как правило, демонстрируют сходство с островодужными породами. В связи с этим предполагалось, что габброиды Чугуевского массива, геохимически более щелочные и близкие к N-MORB, вероятно, формировались в задуговом или междуговом бассейне, а габброиды Бреевского массива представляют собой остатки коры этого бассейна, переработанного островодужной магмой (толеит-бонинит-адакитовой серией).

Полученные данные по микроэлементному составу цирконов из пород Калиновских офиолитов вносят существенные корректировки в представления о палеотектонической обстановке формирования комплекса. Отношение U/Yb в цирконах используется для определения их генезиса [20, 21]. Низкие значения отношения U/Yb ($<0,1$) характерны для цирконов из мантийных источников, в то время как значение этого отношения в цирконах континентальных дуг варьирует от 0,1 до 4. Как показывают наши исследования, цирконы из пород Чугуевского и Бреевского массивов имеют значения отношения U/Yb в диапазоне 0,4–3,1. На диаграмме $Hf - U/Yb$ (рис. 4, Б) их составы расположились в области цирконов – производных континентальной коры. Сюда относятся цирконы из пород, формирование которых происходило в присутствии корового источника. На геодинамических диаграммах, использующих отношение U/Yb (рис. 4, В и Г), ни одна из точек изученных цирконов не попадает в область мантийных цирконов, характерных для внутриокеанических обстановок. Все анализы относятся к полям континентальных дуг. Таким образом, микроэлементный состав цирконов из габброидов Чугуевского и Бреевского массивов свидетельствует о присутствии корового источника во время их кристаллизации. Палеогеодинамическая обстановка формирования этих массивов, скорее всего, никак не связана с внутриокеаническими структурами. Можно допустить их формирование в присутствии фрагментов континентальной коры либо на активной континентальной окраине (например, островодужные системы Филиппинского моря).

Заключение

Представленные в работе результаты U-Pb датирования цирконов из габброидов Чугуевского и Бреевского массивов Калиновского офиолитового комплекса показывают, что их формирование длилось около 20 млн лет в пермское время, а не в девон-каменноугольное, как полагалось ранее. Полученные датировки и наличие различных петрохимических типов базальтов, согласно перекрытых осадками разного возраста и состава, дают основание считать, что в строении верхнего структурного уровня юрской аккреционной призмы Сихотэ-Алиня принимают участие различные по возрасту и обстановке образования фрагменты

древней литосферы. В результате субдукции и тектонической эрозии от них остались лишь небольшие разобщенные пластины и блоки. В разрезе Калиновского офиолитового комплекса тектонически совмещены породы, формировавшиеся в разное время на разных этапах эволюции долгоживущего океанического бассейна. Изученные Бреевский и Чугуевский габбро-гипербазитовые массивы представляют собой фрагменты пермского офиолитового комплекса, скорее всего, формировавшегося на разных стадиях развития островодужной системы либо в задуговом бассейне в присутствии фрагментов континентальной коры, либо на активной континентальной окраине. Тектонически ассоциирующие с данными массивами базальты океанических островов и каменноугольно-пермские известняки, вероятно, относятся к более древнему аккрецированному океаническому плато.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Голозубов В.В. Тектоника юрских и нижнемеловых комплексов северо-западного обрамления Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2006. 239 с.
2. Кемкин И.В. Геодинамическая эволюция Сихотэ-Алиня и Япономорского региона в мезозое. М.: Наука, 2006. 258 с.
3. Кемкин И.В., Ханчук А.И. Юрский аккреционный комплекс южного Сихотэ-Алиня // Тихоокеан. геология. 1993. № 5. С. 31–42.
4. Ханчук А.И., Кемкин И.В., Панченко И.В. Геодинамическая эволюция Сихотэ-Алиня и Сахалина в палеозое и мезозое // Тихоокеанская окраина Азии. Геология. М.: Наука, 1989. С. 218–255.
5. Khanchuk A.I., Kemkin I.V., Kruk N.N. The Sikhote-Alin orogenic belt, Russian South East: Terranes and the formation of continental lithosphere based on geological and isotopic data // J. Asian Earth Sci. 2016. Vol. 120. P. 117–138.
6. Щека С.А., Октябрьский Р.А., Вржосек А.А., Старков Г.Н. Основные закономерности эволюции базит-гипербазитового магматизма в Приморье // Магматические породы Дальнего Востока. Владивосток, 1973. С. 9–61.
7. Высоцкий С.В., Оковитый В.Н. Офиолиты северного Приморья: петрология ультрабазит-габбровой ассоциации // Тихоокеан. геология. 1990. № 5. С. 76–87.
8. Ханчук А.И., Высоцкий С.В. Разноглубинные габбро-гипербазитовые ассоциации в офиолитах Сихотэ-Алиня (Дальний Восток России) // Геология и геофизика. 2016. Т. 57, № 1. С. 181–198.
9. Щека С.А. Типы поясов // Вулканические пояса востока Азии. Геология и металлогения. М.: Наука, 1984. С. 45–47.
10. Ханчук А.И., Панченко И.В. Гранатовое габбро в офиолитах южного Сихотэ-Алиня // Докл. АН СССР. 1991. Т. 321, № 4. С. 800–803.
11. Голозубов В.В., Мельников Н.Г. Тектоника геосинклинальных комплексов южного Сихотэ-Алиня. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. 128 с.
12. Ishiwatari A., Tsujimori T. Paleozoic ophiolites and blueschists in Japan and Russian Primorye in the tectonic framework of East Asia: A synthesis // The Island Arc. 2003. Vol. 12, N 2. P. 190–206.
13. Голич А.Н., Высоцкий С.В., Ханчук А.И. Возраст и палеогеодинамическая природа Калиновского офиолитового комплекса (Сихотэ-Алинский орогенный пояс) // Докл. РАН. Науки о Земле. 2022. Т. 503, № 2. С. 81–89.
14. Wu F., Sun D., Li H., Jahn B., Wilde S. A-type granites in northeastern China: age and geochemical constraints on their petrogenesis // Chemi. Geol. 2002. Vol. 187, N 1. P. 143–173.
15. Sláma J., Košler J., Condon D.J., Crowley J.L., Gerdes A., Hanchar J.M., Horstwood M.S.A., Morris G.A., Nasdala L., Norberg N., Schaltegger U., Schoene B., Tubrett M.N., Whitehouse M.J. Plešovice zircon – A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis // Chem. Geol. 2008. Vol. 249, N 1. P. 1–35.
16. Vermeesch P. IsoplotR: A free and open toolbox for geochronology // Geosci. Front. 2018. Vol. 9, N 5. P. 1479–1493.
17. Hoskin P.W.O., Schaltegger U. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis // Rev. Mineral. Geochem. 2003. Vol. 53, N 1. P. 27–62.

18. Hoskin P.W.O. Trace-element composition of hydrothermal zircon and the alteration of Hadean zircon from the Jack Hills, Australia // *Geochim. et Cosmochim. Acta*. 2005. Vol. 69, N 3. P. 637–648.
19. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society of London. London, 1989. Spec. Publ. Vol. 42. P. 313–345.
20. Grimes C.B., Wooden J.L., Cheadle M.J., John B.E. “Fingerprinting” tectono-magmatic provenance using trace elements in igneous zircon // *Contrib. Mineral. Petrol.* 2015. Vol. 170. 46.
21. Grimes C.B., John B.E., Kelemen P.B., Mazdab F.K., Wooden J.L., Cheadle M.J., Hanghøj K., Schwartz J.J. Trace element chemistry of zircons from oceanic crust: A method for distinguishing detrital zircon provenance // *Geology*. 2007. Vol. 35, N 7. P. 643–646.
22. Войнова И.П. Типы вулканитов Сихотэ-Алинского орогенного пояса (петрогеохимия, геодинамические условия формирования, геодинамические ретроспекции) // *Тектоника, глубинное строение и минерагения Востока Азии: XI Косыгинские чтения: материалы Всерос. конф. с междунар. участием, 15–18 сентября 2021, г. Хабаровск*. Хабаровск: ИТиГ им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, 2021. С. 14–17.
23. Зябрев С.В., Войнова И.П., Мартынюк М.В., Шевелев Е.К. Якчинская кремнисто-вулканогенная толща – фрагмент юрской аккреционной призмы Центрального Сихотэ-Алия, Дальний Восток России // *Тихоокеан. геология*. 2016. Т. 35, № 5. С. 54–76.
24. Симаненко В.П., Филиппов А.Н., Чащин А.А. Базальты океана Панталасса в Самаркинском террейне (Центральный Сихотэ-Алинь) // *Тихоокеан. геология*. 2009. Т. 28, № 3. С. 23–37.

REFERENCES

1. Golozubov V.V. Tectonics of the Jurassic and Lower Cretaceous complexes of the north-western framing of the Pacific Ocean. Vladivostok: Dalnauka; 2006. 239 p. (In Russ.).
2. Kemkin I.V. Geodynamic evolution of Sikhote-Alin and Sea of Japan region in the Mesozoic. Moscow: Nauka; 2006. 258 p. (In Russ.).
3. Kemkin I.V., Khanchuk A.I. The Jurassic accretionary complex of Southern Sikhote-Alin. *Geology of the Pacific Ocean*. 1993;(5):31-42. (In Russ.).
4. Khanchuk A.I., Kemkin I.V., Panchenko I.V. Geodynamic evolution of the South Far East in Late Paleozoic – Early Mesozoic *The Pacific Margin of Asia. Book 1. Geology*. Moscow: Nauka; 1989. P. 218-255. (In Russ.).
5. Khanchuk A.I., Kemkin I.V., Kruk N.N. The Sikhote-Alin orogenic belt, Russian South East: Terranes and the formation of continental lithosphere based on geological and isotopic data. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2016;120:117-138.
6. Shcheka S.A., Oktyabrsky R.A., Vrzhosek A.A., Starkov G.N. The main regularities of the evolution of basic-hyperbasic magmatism in Primorye. In: *Igneous Rocks of the Far East*. Vladivostok; 1973. P. 9-61. (In Russ.).
7. Vysotskiy S.V., Okovityi V.N. Ophiolites of North Primorie: petrology of ultra-basite-gabbro association. *Pacific Geology*. 1990;(5):76-87. (In Russ.).
8. Khanchuk A.I., Vysotskiy S.V. Different-depth gabbro-ultrabasite associations in the Sikhote-Alin ophiolites (Russian Far East). *Russian Geology and Geophysics*. 2016;57:141-154.
9. Shcheka S.A. The types of belts. In: *Volcanic Belts of Eastern Asia. Geology and Metallogeny*. Moscow: Nauka; 1984. P. 45-47. (In Russ.).
10. Khanchuk A.I., Panchenko I.V. Garnet gabbro in South Sikhote-Alin ophiolites. *Doklady Akademii Nauk SSSR*. 1991;321(4):800-803. (In Russ.).
11. Golozubov V.V., Mel’nikov N.G. Tectonics of geosynclinal complexes of the Southern Sikhote-Alin. Vladivostok: Far Eastern Scientific Center of the Academy of Sciences of the USSR; 1986. 128 p. (In Russ.).
12. Ishiwatari A., Tsujimori T. Paleozoic ophiolites and blueschists in Japan and Russian Primorye in the tectonic framework of East Asia: A synthesis. *The Island Arc*. 2003;12(2):190-206.
13. Golich A.N., Vysotskiy S.V., Khanchuk A.I. Age and paleogeodynamic nature of the Kalinovka ophiolite complex, Sikhote-Alin Orogenic Belt. *Doklady Earth Sciences*. 2022;503(2):135-142.
14. Wu F., Sun D., Li H., Jahn B., Wilde S. A-type granites in northeastern China: age and geochemical constraints on their petrogenesis. *Chemical Geology*. 2002;187(1):143-173.

15. Sláma J., Košler J., Condon D.J., Crowley J.L., Gerdes A., Hanchar J.M., Horstwood M.S.A., Morris G.A., Nasdala L., Norberg N., Schaltegger U., Schoene B., Tubrett M.N., Whitehouse M.J. Plešovice zircon – a new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chemical Geology*. 2008;249(1):1-35.
16. Vermeesch P. IsoplotR: A free and open toolbox for geochronology. *Geoscience Frontiers*. 2018;9(5):1479-1493.
17. Hoskin P.W.O., Schaltegger U. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 2003;53(1):27-62.
18. Hoskin P.W.O. Trace-element composition of hydrothermal zircon and the alteration of Hadean zircon from the Jack Hills, Australia. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2005;69(3):637-648.
19. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society of London*. London; 1989. Spec. Publ. Vol. 42. P. 313-345.
20. Grimes C.B., Wooden J.L., Cheadle M.J., John B.E. “Fingerprinting” tectono-magmatic provenance using trace elements in igneous zircon. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 2015;170. 46.
21. Grimes C.B., John B.E., Kelemen P.B., Mazdab F.K., Wooden J.L., Cheadle M.J., Hanghøj K., Schwartz J.J. Trace element chemistry of zircons from oceanic crust: A method for distinguishing detrital zircon provenance. *Geology*. 2007;35(7):643-646.
22. Voinova I.P. Types of volcanic rocks of the Sikhote-Alin orogenic belt (petrogeochemistry, geodynamic formation conditions, geodynamic retrospections). In: *Tectonics, deep structure and minerageny of East Asia, XI Kosygin readings: materials of the All-Russian conference with international participation, September 15–18, 2021, Khabarovsk. Khabarovsk: Institute of Tectonics and Geophysics named after Yu.A. Kosygin FEB RAS; 2021. P. 14-17. (In Russ.)*.
23. Zyabrev S.V., Voinova I.P., Martynyuk M.V., Shevelev E.K. Yakchi chert-volcanogenic Formation – fragment of the Jurassic accretionary prism in the Central Sikhote-Alin, Russian Far East. *Russian Journal of Pacific Geology*. 2016;10(5):365-385.
24. Simanenko V.P., Filippov A.N., Chashchin A.A. Basalts of the Pantalassa Ocean in the Samarka terrane, Central Sikhote-Alin. *Russian Journal of Pacific Geology*. 2009;3(3):220-233.

