

УДК 552.3

## ЦИРКОН ИЗ ВНУТРИПЛИТНЫХ ГАББРОИДОВ ЗАПАДНОЙ ЧУКОТКИ (АНЮЙСКИЙ ПЛУТОНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС) И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ЕГО ВОЗРАСТА

© 2022 г. Г. В. Леднева<sup>1,\*</sup>, Е. П. Исаева<sup>2</sup>, член-корреспондент РАН С. Д. Соколов<sup>1</sup>,  
Б. А. Базылев<sup>3</sup>, А. И. Болдырева<sup>2</sup>

Поступило 17.02.2022 г.

После доработки 17.03.2022 г.

Принято к публикации 29.03.2022 г.

Обосновано время проявления внутриплитного магматизма на Западной Чукотке, выразившегося в формировании малоглубинных габброидов анюйского плутонического комплекса Анюйско-Чукотской складчатой системы. Результаты U–Th–Pb SIMS-датирования цирконов из этих пород наряду с опубликованными данными свидетельствуют о начале единого этапа масштабного внутриплитного магматизма в пределах Чукотского микроконтинента на рубеже перми–триаса и его завершении не позднее рубежа среднего–позднего триаса. Проявление этого внутриплитного магматизма по времени соответствует началу разрушения Пангеи и, по-видимому, происходило в обстановке рифтовой окраины континента.

*Ключевые слова:* U–Th–Pb SIMS-возрасты цирконов, габбро, внутриплитный магматизм, Анюйско-Чукотская складчатая система, пермь, триас

DOI: 10.31857/S2686739722070118

Габброиды малоглубинных пластовых интрузий (анюйский плутонический комплекс), приуроченные к разобленным в пространстве антиклинальным поднятиям Анюйско-Чукотской складчатой системы, являются проявлениями предположительно пермско-триасового внутриплитного базитового магматизма [2–5, 8, 13, 14] в области шельфа и континентального склона Чукотского микроконтинента в составе микроплиты Арктической Аляски–Чукотки [6]. Возраст этих пород, имеющий принципиальное значение для геологических корреляций, геодинамических и тектонических построений, обосновывается преимущественно геологическими соотношениями, либо данными K–Ar-датирования по валовым составам пород. Силлы, дайки и небольшие интрузии габброидов повсеместно прорывают раннетриасовые и ранне–среднетриасовые терригенные (в том числе, метаморфизованные)

толщи, вместе с которыми смяты в складки. Они также локально внедрены вдоль контакта толщ раннего и среднего триаса и не встречаются в отложениях позднего триаса (рис. 1). Изотопно-геохронологические определения возраста пород сводятся к архивным данным K–Ar-датирования по валовым составам пород [1] с трудно интерпретируемыми датами от 280 до 100 млн лет, а также единственному U–Th–Pb-определению возраста зерен циркона из габбро окрестностей Колочинской губы на Восточной Чукотке [14].

Целью настоящей работы является обоснование времени и длительности проявления внутриплитного магматизма в Анюйско-Чукотской складчатой системе на основе U–Th–Pb (SIMS)-датирования зерен циркона из габброидов анюйского плутонического комплекса Западной Чукотки, распространенных в пределах Алярмаутского и Кеппереевского поднятий, а также безымянного поднятия, расположенного южнее м. Медвежий (рис. 1).

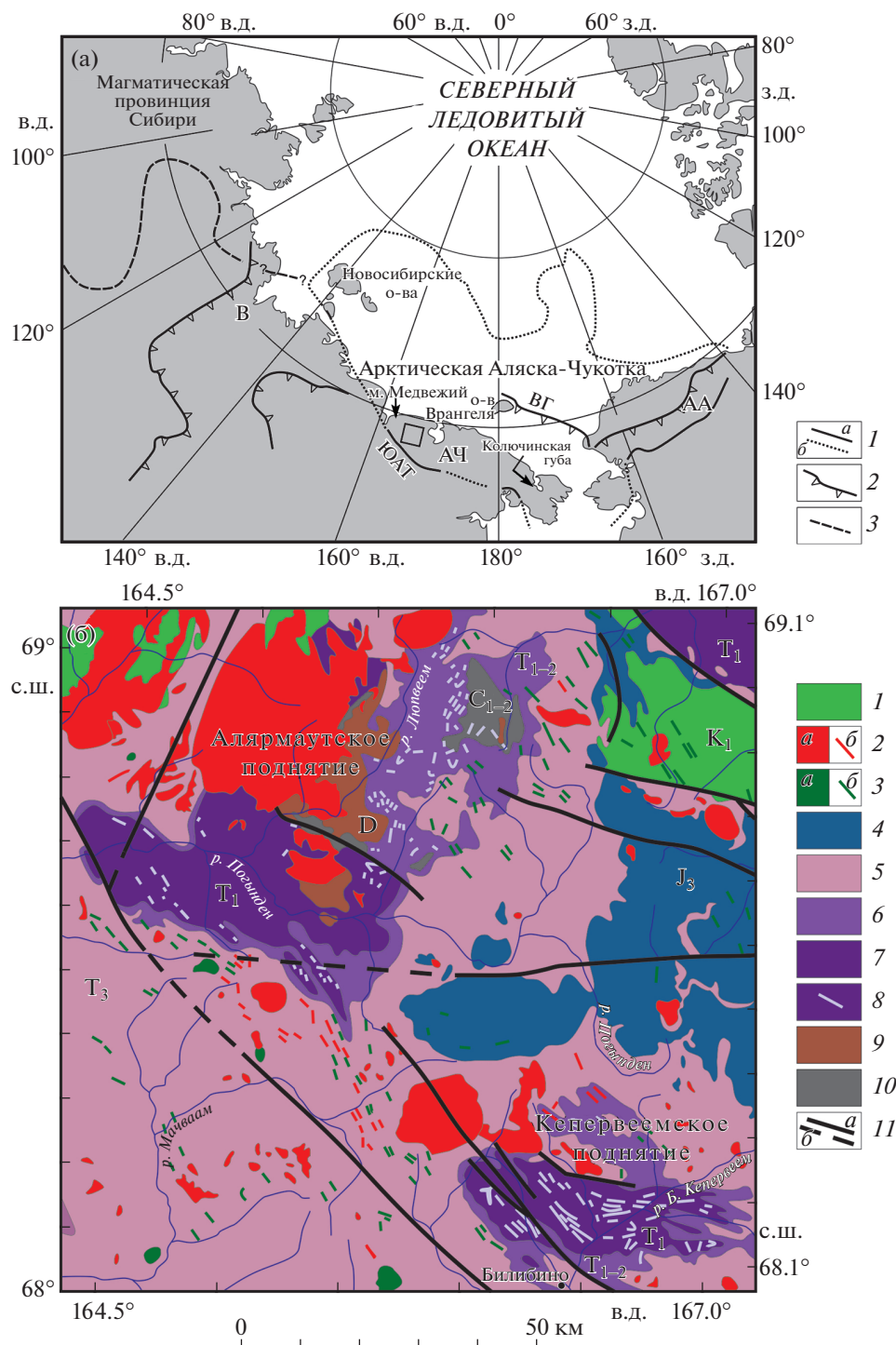
При исследовании габброидов в прозрачно-полированных шлифах с использованием электронного микроскопа Phenom XL (ГИН РАН) было установлено присутствие в них зерен циркона размером до 50–100 мкм, разной морфологии и в ассоциации с минералами разных генераций (рис. 2). Включения циркона в клинопироксене представлены как призматическими кристаллами,

<sup>1</sup>Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского, Москва, Россия

\*E-mail: ledneva@ginras.ru



**Рис. 1.** Геологическая и тектоническая позиции объектов исследования. (а) Принципиальные тектонические структуры Северо-Востока Азии. Сокращения: АА – Арктическая Аляска, В – Верхоянская складчатая система, ВГ – Врангелевско-Геральдский надвиг, К – Колымская петля, АЧ – Анойско-Чукотская складчатая система, ЮАТ – Южно-Анойский террейн. Положение района исследования показано квадратом. (б) Схема геологического строения Кеппервеемского и Алярмаутского поднятий (по геологической карте масштаба 1 : 1 000 000, редактор Городинский М.Е., Северо-Восточное ПГО “Севостокгеология”, 1998 г.; с генерализацией). 1–3 – границы: 1 – микроплиты Арктической Аляски – Чукотки; (а) установленная, (б) – предполагаемая; 2 – складчатых областей; 3 – магматической провинции Сибири. 1 – толщи нижнего мела; К<sub>1</sub>, 2 – гранитоиды преимущественно раннего мела, К<sub>1</sub>: а – интрузии, б – дайки; 3 – габброиды раннего мела, К<sub>1</sub>: а – интрузии, б – дайки; 4 – толщи верхней юры, J<sub>3</sub>; 5–7 – терригенные толщи, 5 – верхнего триаса, T<sub>3</sub>, б – нижнего – среднего триаса, T<sub>1-2</sub>, 7 – нижнего триаса, T<sub>1</sub>; 8 – гипабиссальные интрузии анойско-анюйского комплекса; 9 – толщи девона, 10 – толщи нижнего–среднего карбона; 11 – разрывные нарушения: а – установленные, б – предполагаемые.

так и зернами без определенных кристаллографических очертаний (рис. 2а, б), при этом для идиоморфных зерен циркона характерны “пористые” участки с включениями силикатных минералов. Включение циркона в роговой обманке представлено дипирамидально-призматическим зерном с “ажурным” строением частично резорбированной краевой части (рис. 2в, г). Зерна циркона в ассоциации с плагиоклазом и псевдоморфозами хлорита по биотиту имеют сложные очертания и гипидиоморфны по отношению к силикатным минералам (рис. 2д). Включения циркона в ильмените имеют игольчатую форму (рис. 2е). Важно отметить, что участки “пористого” и “ажурного” строения в зернах циркона рядом исследователей рассматриваются как признак низкотемпературного растворения метамиктного циркона [10, 12].

Выделение зерен циркона проводилось в лабораториях ВСЕГЕИ (обр. 200.02, 203.01, 1194.01) и ГИН РАН (обр. В14-33) с использованием щелочных дробилок, концентрационных столов и тяжелых жидкостей. U–Th–Pb SIMS-датирование цирконов выполнено в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ на мультиколлекторном вторично-ионном высокоэнергетическом микрозонде SHRIMP-II (Австралия). В качестве возрастного стандарта был использован циркон TEMORA из лейкогаббро Middledale (Лахланский складчатый пояс, Восточная Австралия) с рекомендованной величиной  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -отношения 0.0665, соответствующей возрасту 416.75 млн лет [9]. Катодоллюминесцентные изображения цирконов также получены во ВСЕГЕИ на сканирующем электронном микроскопе “CamScan” MX2500 (Великобритания) с катодоллюминесцентной системой CLI/QUA2, “Bentham”. Методики аналитических исследований детально описаны на сайте <http://geochron.vsegei.ru/>.

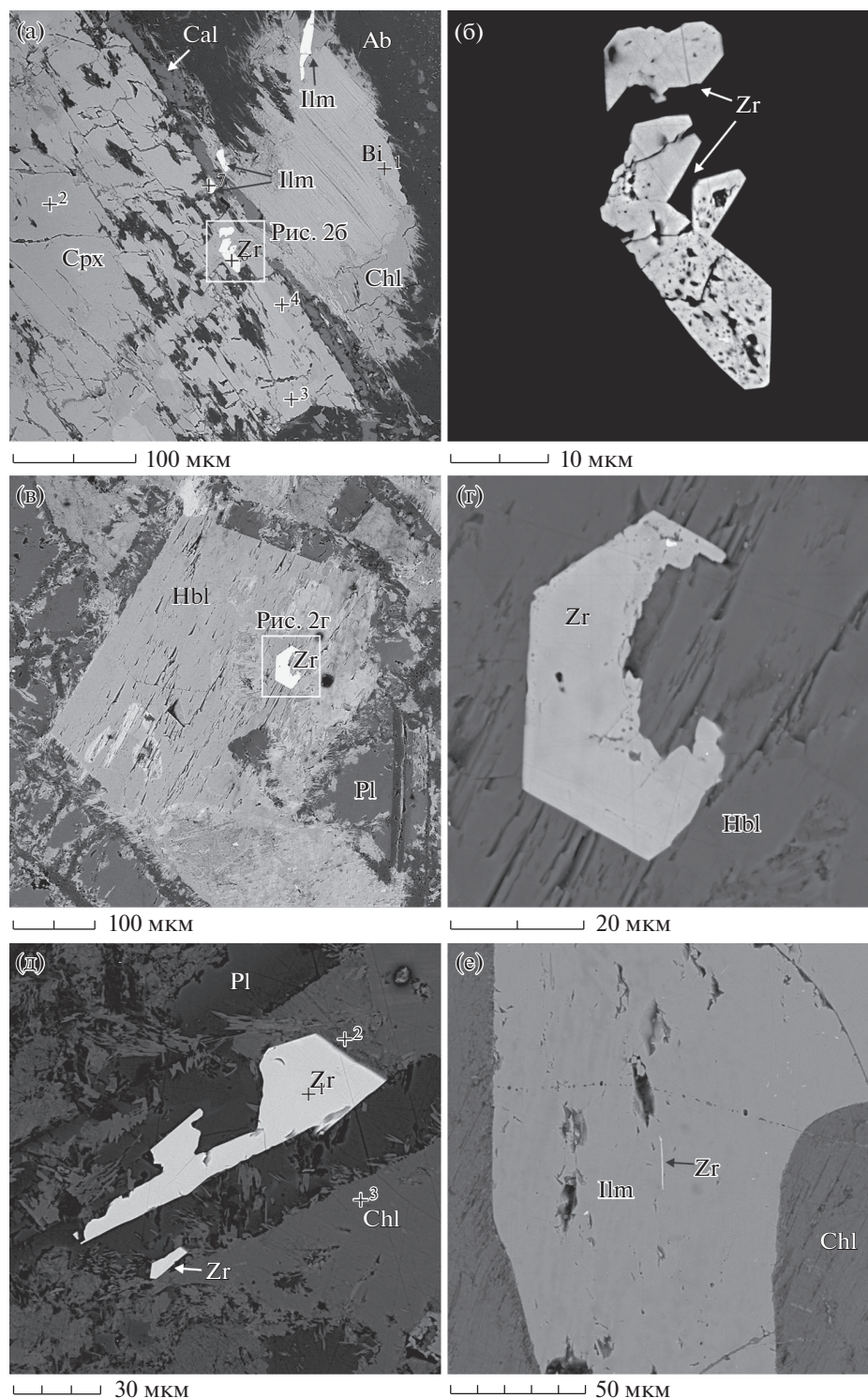
Из габброидов были выделены зерна циркона разной морфологии и разных возрастных диапазонов. В настоящей статье обсуждаются возрастные определения только наиболее молодой популяции цирконов, результаты измерений которых приведены в Приложении 1. Данные для древних цирконов, рассмотрение которых выходит за рамки настоящей статьи, приведены на сайте <http://geochron.vsegei.ru/>.

В обр. 1194.01 (69°22′19.48″ с.ш., 162°53′9.02″ в.д., безымянное поднятие, расположенное южнее м. Медвежий) наиболее молодая популяция цирконов представлена тремя зернами с умеренными содержаниями урана (436–511 г/т) и величинами Th/U-отношения 1.1–1.6, т.е. с характеристиками цирконов магматического генезиса из габбро [11]. Эти зерна представляют собой фрагменты дипирамидально-призматических кристаллов с осцилляторной зональностью (рис. 3а). Конкор-

дантный возраст, рассчитанный по этим зернам, составляет  $251 \pm 7$  млн лет, что отвечает границе перми–триаса. Этот возраст, несмотря на его расчет только по трем зернам, согласуется с геологическими наблюдениями и, по-видимому, отвечает времени кристаллизации цирконов и вмещающего габбро.

В обр. 203.01 (68°10′16.22″ с.ш., 166°13′29.27″ в.д., Кепервеемское поднятие) было проанализировано 10 зерен циркона, характеризующихся умеренными и повышенными содержаниями урана (283–1078 г/т) и величинами Th/U-отношения, равными 0.8–1.7. Из них только пять зерен с содержаниями урана менее 660 г/т и величинами Th/U-отношения 0.9–1.2 формально отвечают критериям цирконов магматического генезиса [11]. По замерам в этих пяти зернах рассчитан конкордантный возраст  $244 \pm 2$  млн лет (рис. 3б), полностью перекрывающийся в пределах погрешностей с оценкой возраста  $246 \pm 2$  млн лет по всем десяти замерам в образце (Приложение 1). Эти оценки возраста, отвечающие границе раннего–среднего триаса, по-видимому, соответствуют времени кристаллизации цирконов и вмещающих их габбро.

В обр. 200.02 (68°47′38.68″ с.ш., 165°36′7.83″ в.д., Алярмаутское поднятие) установлены идиоморфные призматические кристаллы, похожие на зерна циркона из шлифов (рис. 2а, б). Это темные на катодоллюминесцентных изображениях цирконы без зональности, с признаками коррозии отдельных участков (предположительно метамиктных) и включениями силикатных минералов (рис. 3в). Для измерений выбирались оптически прозрачные однородные области зерен без видимых дефектов и включений. Проанализированные участки характеризуются высокими и очень высокими содержаниями урана (814–3697 г/т) и повышенными величинами Th/U-отношения (1.2–2.8). Проанализировано 19 высокоурановых зерен, значения возраста которых охватывают интервал от  $246 \pm 6$  млн лет до  $272 \pm 7$  млн лет. Величина дискордантности (D)  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{Pb}$ - и  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -дат [17] варьирует от –1 до +4%. В нашем случае  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -возрасты не обсуждаются, учитывая большую погрешность SIMS-анализа для мезозойских и позднепалеозойских дат. По замерам в этих зернах рассчитан конкордантный возраст  $259 \pm 3$  млн лет (рис. 3а), отвечающий средней перми. Высокоурановые цирконы, по-видимому, имели первично магматический генезис. Однако высокие содержания урана датированных участков минерала, существенно превышающие таковые в магматических цирконах из габбро [11], позволяют предполагать, что U–Th–Pb изотопная система была нарушена, а полученный для них среднепермский конкордантный возраст несколько древнее реального возраста цирконов



**Рис. 2.** Циркон в габбро. Изображения во вторично-рассеянных электронах, выполненные с помощью электронного микроскопа Phenom XL (ГИН РАН). а – обр. В114-23: зерна циркона в клинопироксене; б – увеличенный фрагмент рис. а: габбро содержит как идиоморфные кристаллы циркона с признаками коррозии, так и зерна циркона, не имеющие четких кристаллографических очертаний; идиоморфные кристаллы по морфологии похожи на датированные метамиктные цирконы образцов 200.02, 1194.01 и В114-33. в – обр. В114-3: корродированное бипирамидально-призматическое зерно циркона в магнезиальной роговой обманке; краевые части зерна имеют “ажурное” строение и содержат включения силикатных минералов; г – увеличенный фрагмент рис. в, демонстрирующий характер “растворения” граней кристалла циркона; д – В114-26: гипидиоморфные зерна циркона в ассоциации с плагиоклазом среднего–кислого состава и псевдоморфозами хлорита по биотиту; е – В114-3: игольчатые кристаллы циркона в ильмените. Сокращения: Ab – альбит, Bi – биотит, Cal – кальцит, Chl – хлорит, Cpx – клинопироксен, Hbl – роговая обманка, Ilm – ильменит, Pl – плагиоклаз, Zr – циркон.

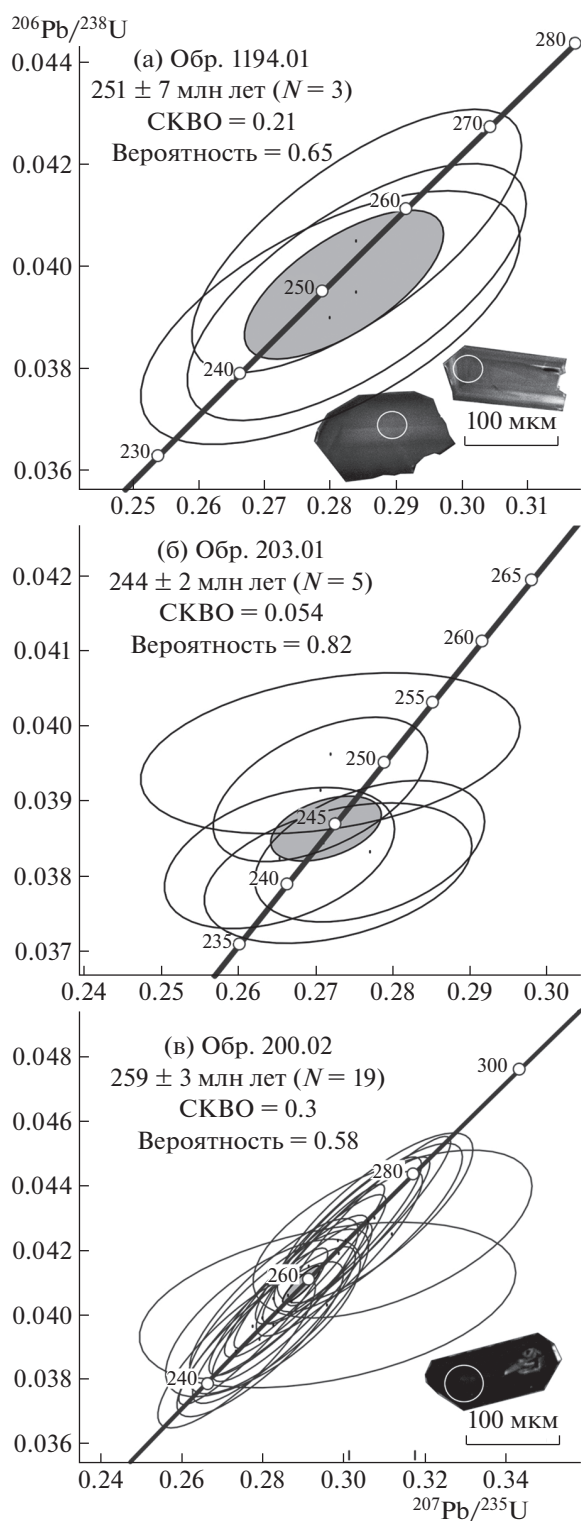


[18] и не отвечают времени кристаллизации как самих цирконов, так и вмещающих их габбро.

Единичные зерна высокоурановых цирконов с повышенными величинами Th/U-отношения наряду с умеренноурановыми магматическими цирконами были установлены в образцах, рассмотренных выше, а также в обр. В114-33 (68°10'6.2" с.ш., 166°32'15.8" в.д., Кепервеемское поднятие). В обр. 1194.01 проанализировано одно зерно высокоуранового циркона ( $U = 3617$  г/т,  $Th/U = 1.5$ ); оно имеет возраст  $267 \pm 6$  млн лет ( $D = -0.8\%$ ), более древний по сравнению с умеренноурановыми цирконами из этого же образца. В обр. 203.01 высокоурановые цирконы ( $U = 844-1078$  г/т,  $Th/U = 1.1-1.7$ ) показывают возраст  $247 \pm 2$  млн лет, который совпадает с оценкой конкордантного возраста умеренноурановых цирконов в этом же образце. Из обр. В114-33 выделено 4 зерна циркона этого типа, по одному из которых с содержанием  $U = 1517$  г/т и величиной Th/U-отношения = 1.6 был получен возраст  $250 \pm 3$  млн лет ( $D = 0.4\%$ ). Возрасты единичных зерен высокоурановых цирконов из образцов 1194.01, 203.01 и В114-33 укладываются в интервал возрастов, определенных в образце 200.02.

Таким образом, значения возраста, отвечающие времени кристаллизации наиболее молодой популяции цирконов и вмещающих их габбро, по-видимому, указывают на проявление внутриплитной магматической активности в поднятии, расположенном южнее м. Медвежий на Западной Чукотке, на границе перми—триаса (ок. 251 млн лет), синхронно с проявлением внутриплитного магматизма в окрестностях Колючинской губы на Восточной Чукотке (ок. 252 млн лет) [14]. В пределах Кепервеемского поднятия Западной Чукотки внутриплитный магматизм, вероятно, проявился несколько позже, на границе ранне-среднего триаса (ок. 244–246 млн лет), что согласуется с возрастом фаунистических находок в толщах, вмещающих габброиды [7]. Возможно, к этому же времени относятся и проявления внутриплитного магматизма Восточной Чукотки (долина р. Кымынейвеем и р. Плоская) [13], где нами отмечались недатированные тела габброидов, залегающие на границе толщ раннего и среднего триаса. Возрасты высокоурановых цирконов из габбро Алярмаутского поднятия, по-видимому, не отвечают времени кристаллизации пород, что не позволяет расширить интервал проявления внутриплитного магматизма до средней перми.

Новые возрастные данные свидетельствуют о едином этапе масштабного внутриплитного магматизма в пределах Чукотского микроконтинента, наиболее ранние проявления которого, по-видимому, следует относить к рубежу перми—триаса, а наиболее поздние — к рубежу среднего—позднего триаса. По времени этот магматизм соответствует



**Рис. 3.** Диаграммы с конкордией для цирконов наиболее молодой популяции из габброидов обр. 1194.01 (а), обр. 203.01 (б) и обр. 200.02 (в). Построение диаграмм и расчеты значений возраста выполнены с использованием программы IsoplotR [16]. Эллипсы для индивидуальных замеров показаны с ошибкой  $2\sigma$ ; конкордантные возрасты указаны с ошибкой  $\pm 2\sigma$  (95% доверительный интервал). Приведены катодолуминесцентные изображения типичных зерен циркона.

началу разрушения Пангеи. Приуроченность габброидов анойского плутонического комплекса к синхронным с ними отложениям шельфа и континентального склона сближает обстановку проявления этого магматизма с обстановками вулканических рифтовых окраин. Последние типичны для периферии крупных магматических провинций континентов, приурочены к зонам перехода от континента к океану, и их формирование связывают с активностью мантийных плюмов [15].

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Мы выражаем признательность сотрудникам ЦИИ ВСЕГЕИ, а также благодарим рецензентов за конструктивную критику.

#### ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант 20-17-00197).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акинин В.В., Котляр И.Н. ГЕОХРОН – компьютерная база данных изотопного датирования минералов, горных пород и руд Северо-Востока России // Магматизм и оруденение Северо-Востока России. С.Г. Бялобжеский (ред.). Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1997. С. 313–318.
2. Гельман М.Л. Триасовая диабазовая формация Анойской зоны (Чукотка) // Геология и геофизика. 1963. № 2. С. 127–134.
3. Дегтярев В.С. Петрохимические особенности Амгуэмо-Анойской диабазовой формации Чукотской складчатой области // Магматизм Северо-Востока Азии. Труды первого Северо-Восточного петрографического совещания. Часть II. Магматические комплексы Северо-Востока СССР. Магадан: Магаданское книжное издательство, 1975. С. 160–175.
4. Журавлев Г.Ф., Казьмин С.С., Пукало Р.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1: 200 000. Серия Анойско-Чаунская, лист Q-59-I, II. Бычков Ю.М. (ред.). М.: Московский филиал ФГБУ “ВСЕГЕИ”, 2016. (Министерство природных ресурсов РФ, ВСЕГЕИ, Чукотприродресурсы, ЗАО Чаунское ГПП).
5. Иванов О.Н., Милов А.П. Диабазовая формация Чукотской складчатой системы и ее связь с базитовым магматизмом северного сектора Тихоокеанского подвижного пояса // Магматизм Северо-Востока Азии. Труды первого Северо-Восточного петрографического совещания. Часть II. Магматические комплексы Северо-Востока СССР. М.: Магаданское книжное издательство, 1975. С. 155–159.
6. Леднева Г.В., Базылев Б.А., Соколов С.Д., Беляцкий Б.В. Пермско-триасовый внутриплитный магматизм Чукотской складчатой системы: региональные вариации состава и геодинамическая интерпретация // Петрология и геодинамика геологических процессов: Материалы XIII Всероссийского петрографического совещания. Иркутск: Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2021. Т. 2. С. 107–109.
7. Тибилев И.В., Черепанова И.Ю. Геология севера Чукотки – современное состояние и проблемы. М.: ГЕОС, 2001. 95 с.
8. Тильман С.М., Сосунов Г.М. Некоторые особенности развития Чукотской геосинклинальной зоны в нижнем триасе // Доклады АН СССР. 1960. Т. 130. № 4. С. 834–837.
9. Black L.P., Kamo S.L., Allen C.M., Aleinikoff J.N., Davis D.W., Korsch R.J., Foudoulis C. TEMORA 1: a New Zircon Standard for U-Th-Pb Geochronology // Chem. Geol. 2003. V. 200. P. 155–170.
10. Hey D.C., Dempster T.J. Zircon Behavior during Low-temperature Metamorphism // J. Petrol. 2009. V. 50. No 4. P. 571–589.
11. Kirkland C.L., Smithies R.H., Taylor R.J.M., Evans N., McDonald B. Zircon Th/U Ratios in Magmatic Environments // Lithos. 2015. V. 212–215. P. 397–414.
12. Kohn M.J., Kelly N.M. Petrology and Geochronology of Metamorphic Zircon // Moser D.E., Corfu F., Darling J.R., Reddy S.M., Tait K. (Eds.). Microstructural geochronology: Planetary records down to atom scale, Geophysical Monograph 232, First Edition. AGU, Wiley, Sons, Inc., 2018. P. 35–61.
13. Ledneva G.V., Bazylev B.A., Layer P.W., Ishiwatari A., Sokolov S.D., Kononkova N.N., Tikhomirov P.L., Novikova M.S. Intra-plate Gabbroic Rocks of Permo-Triassic to Early-Middle Triassic Dike-and-sill Province of Chukotka (Russia) // ICAM VI: Proceedings of the International Conference on Arctic Margins VI. Fairbanks, Alaska, May 2011. Stone D.B., Grikurov G.E., Clough J.G., Oakey G.N., Thurston D.K. (Eds.). St. Petersburg: A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI), 2014. P. 115–156.
14. Ledneva G.V., Pease V.L., Sokolov S.D. Permo-Triassic Hypabyssal Mafic Intrusions and Associated Tholeiitic Basalts of the Kolyuchinskaya Bay, Chukotka (NE Russia): Links to the Siberian LIP // J. Asian Earth Sci. 2011. V. 40. P. 737–745.
15. Sapin F., Ringenbach J.-C., Clerc C. Rifted Margins Classification and Forcing Parameters // Scientific Reports. 2021. 11:8199. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87648-3>
16. Vermeesch P. IsoplotR: A Free and Open Toolbox for Geochronology // Geosci. Front. 2018. V. 9. P. 1479–1493.
17. Vermeesch P. On the Treatment of Discordant Detrital Zircon U–Pb Data. EGU. Geochronology discussions. License – CC BY 4.0. 2020. <https://doi.org/10.5194/gchron-2020-38>
18. White T.L., Ireland T.R. High-uranium Matrix Effect in Zircons and its Implication for SHRIMP U–Pb Age Determinations // Chemical geology. 2017. V. 306–307. P. 78–91.

## ZIRCON OF INTRAPLATE GABBROIC ROCKS OF WESTERN CHUKOTKA (ANYUI PLUTONIC COMPLEX) AND INTERPRETATION OF THEIR AGE

**G. V. Ledneva<sup>a,#</sup>, E. P. Isaeva<sup>b</sup>, Corresponding Member of the RAS S. D. Sokolov<sup>a</sup>,  
B. A. Bazylev<sup>c</sup>, and A. I. Boldyreva<sup>b</sup>**

<sup>a</sup>*Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

<sup>b</sup>*A.P. Karpinsky Russian geological research institute, St. Petersburg, Russian Federation*

<sup>c</sup>*V.I. Vernadsky Institute of geochemistry and analytical chemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

<sup>#</sup>*E-mail: ledneva@ginras.ru*

Timing of intraplate magmatism of Western Chukotka exhibited in formation of gabbroic rocks of the Anyui plutonic complex of the Anyui-Chukotka folded belt is proved via U–Th–Pb SIMS dating of zircon. The results obtained suggest that intensive intraplate magmatism in the Chukotka microcontinent was commenced at the time corresponding to the Permian–Triassic boundary and was ended no later than in the Middle–Late Triassic. This intraplate magmatism was coeval with the Pangea break-up, and it probably took place in rifted continental margin setting.

*Keywords:* U–Th–Pb SIMS zircon age, gabbroic rocks, intraplate magmatism, the Anyui-Chukotka folded belt, Permian, Triassic