

Научная статья
УДК 551.73:550.93:621.039.86
DOI: 10.37102/0869-7698_2023_230_04_4
EDN: FXSTMI

Новые данные о возрасте вулканических и интрузивных комплексов юго-западного Приморья

А.А. Чащин✉, С.А. Чащин, В.В. Голозубов,
С.Ю. Будницкий, С.А. Касаткин

Александр Адольфович Чащин

кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник
Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия
achashchin@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6169-6748>

Сергей Александрович Чащин

младший научный сотрудник
Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия
s.cha@fegi.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3599-9638>

Владимир Васильевич Голозубов

доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник
Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия
golozubov@fegi.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6045-6865>

Сергей Юрьевич Будницкий

кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник
Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия
argon-lab@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8570-0607>

Сергей Алексеевич Касаткин

кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник
Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия
kasatkin99@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1524-4441>

Аннотация. В статье приведены результаты изотопно-геохронологических (U-Pb методом по циркону) исследований вулканических пород тальминской толщи, а также интрузивных образований, ранее относимых к гамовскому и гвоздевому комплексам,

распространенных в южной части Лаоэлин-Гродековского террейна (южное Приморье). Полученные первые прецизионные U-Pb датировки для вулканических пород тальминского комплекса свидетельствуют, что их формирование происходило в довольно широком временном интервале (233–204 млн лет), соответствующем карнийскому–рэтскому ярусам верхнего триаса. Установлено, что внедрение *изученных* гранитоидов в пределах рассматриваемого района происходило в два этапа. Первый этап гранитообразования датирован поздней пермью – средним триасом (244–259 млн лет). В этот период здесь происходит формирование гамовского комплекса. Второй, установленный нами впервые, отвечает рэтскому ярусу позднего триаса. Предполагается, что гранитоиды этого возраста являются интрузивной фацией тальминского вулканического комплекса. В то же время, согласно полученным изотопно-геохронологическим данным, раннеюрский возраст гранитоидов гвоздевского комплекса, широко представленного на геологической карте исследуемого района, не подтвердился.

Ключевые слова: U-Pb датирование цирконов, триас, эффузивные и интрузивные комплексы, южное Приморье

Для цитирования: Чашин А.А., Чашин С.А., Голозубов В.В., Будницкий С.Ю., Касаткин С.А. Новые данные о возрасте вулканических и интрузивных комплексов юго-западного Приморья // Вестн. ДВО РАН. 2023. № 4. С. 51–69. http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2023_230_04_4.

Original article

New age data for volcanic and plutonic complexes on the southwest of Primorye

A.A. Chashchin, S.A. Chashchin, V.V. Golozubov,
S.Yu. Budnitskiy, S.A. Kasatkin

Aleksandr A. Chashchin

Candidate of Sciences in Geology and Mineralogy, Senior Researcher
Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia
achashchin@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6169-6748>

Sergei A. Chashchin

Junior Researcher
Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia
s.cha@fegi.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3599-9638>

Vladimir V. Golozubov

Doctor of Sciences in Geology and Mineralogy, Major Researcher
Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia
golozubov@fegi.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6045-6865>

Sergei Yu. Budnitskiy

Candidate of Sciences in Geology and Mineralogy, Senior Researcher
Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia

argon-lab@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8570-0607>

Sergei A. Kasatkin

Candidate of Sciences in Geology and Mineralogy, Senior Researcher
Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia
kasatkin99@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1524-4441>

Abstract. The paper deals with results of isotope-geochronological (U-Pb method based on zircon) study of volcanic rocks of the Talminsky complex as well as widespread intrusive formations from the southern part of the Laeling-Grodekovo terrane in Southern Primorye, which are usually attributed to the Gamov and Gvozdevo complexes. The precision fresh U-Pb zircon ages obtained for the volcanic rocks of the Talminsky complex showed that their formation took place in a rather wide time interval (233-204 Ma) corresponding to the Carnian-Rhaetian stages of Late Triassic. U-Pb zircon dating of granitoids has revealed two phases of their intrusion. The first phase is dated late Permian–Middle Triassic (244-259 Ma) that coincides with the formation time of the Gamov complex. The existence of the second phase is a new discovery. Granitic rocks are dated to the Rhaetian stages of Late Triassic and assumed to be the intrusive facies of the Talminsky complex. As for granitoids of the Gvozdevo complex, the obtained ages refuted the Early Jurassic affiliation of these rocks.

Keywords: U-Pb dating of zircons, Triassic, extrusive and intrusive complexes, southwest Primorye

For citation: Chashchin A.A., Chashchin S.A., Golozubov V.V., Budnitskiy S.Yu., Kasatkin S.A. New age data for volcanic and plutonic complexes on the southwest of Primorye. *Vestnik of the FEB RAS*. 2023;(4):51-69. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2023_230_04_4.

Введение

Исследуемый район находится на юге Приморского края вблизи государственной границы с Китаем и Северной Кореей. В тектоническом плане он приурочен к южному окончанию Лаоэлин-Гродековского террейна, представляющего собой фрагмент пермь-раннетриасовой активной окраины [1]. На рассматриваемой территории обнажены интенсивно дислоцированные терригенные и вулканогенные образования ранне-позднепермской решетниковской и позднепермской барабашской свит, прорванные многочисленными интрузиями гранитоидов, редко габброидов. Первоначально эти интрузии считались позднепермскими [2, 3], в дальнейшем часть из них была выделена в гвоздевский комплекс раннеюрского возраста [4]. Перечисленные терригенные образования и позднепермские гранитоиды с размывом и угловым несогласием перекрыты толщей слабодислоцированных вулканитов пестрого состава, локальные выходы которых известны в обрамлении оз. Птичье (старое название – оз. Тальми). Первоначально эти вулканиты выделялись как «толща сенонских порфиритов и их туфов» [2]. На изданной в 1986 г. геологической карте Приморья, составленной под редакцией В.А. Бажанова и Ю.Н. Олейника [3], рассматриваемые вулканиты переведены в новопопсыетскую свиту предположительно эоценового возраста. Позднее, в процессе геологических съемок ГДП-200, описываемые вулканиты были выделены в тальминскую толщу позднепермского возраста. Следует отметить, что позднепермский возраст пород толщи принят с определенной долей условности на основании сопоставления с подобными образованиями на территории КНР

(район г. Лаохейшань), ископаемая флора в которых датируется норийским–рэтским веками [5]. Такая датировка может вызывать определенные сомнения, поскольку ранее считалось, что триасовые отложения на юго-западе Приморья представлены исключительно терригенными прибрежно-морскими и континентальными угленосными фациями. Выходы последних известны в районе поселков Барабаш и Филипповка, где они представлены угленосной монгугайской свитой, поздне триасовый возраст которой надежно доказан находками остатков фауны и флоры [6]. Между тем из-за того, что в тальминской толще не установлены остатки флоры или фауны, а также отсутствуют изотопные датировки вулканитов, время формирования комплекса до сих пор остается дискуссионным.

Нами получены первые прецизионные U-Pb возраста цирконов (методом LA-ICP-MS) из вулканических пород тальминской толщи, которые позволяют определить временные рамки формирования этого комплекса, а также реконструировать пространственно-временную последовательность проявления вулканизма на территории южного Приморья. Кроме того, авторами были выполнены U-Pb геохронологические исследования цирконов из гранитоидов, объединенных на геологической карте [4] в гамовский и гвоздевский комплексы, что позволило уточнить время их формирования.

Краткая геологическая характеристика объектов исследований

Тальминская вулканогенная толща и генетически связанные с ней экзотрузии и дайки среднего и кислого состава образуют небольшие изолированные поля в обрамлении оз. Птичьё (в районе гор Чертова Горка, Приозерная, Мраморная и Голубиный Утес), а также мелкие выходы в бассейнах рек Карасик и Тесная. По мнению ряда исследователей, данные поля следует рассматривать в качестве реликтов Тальминской вулканоструктуры [4, 5]. Эта структура шириной до 5 км с запада и востока ограничена разломами меридионального направления.

В результате интенсивной неотектонической активности некогда единая вулканическая постройка была разбита на тектонические блоки с большой амплитудой перемещений сбросо-сдвигового характера. Погруженные блоки перекрыты плиоцен-четвертичной толщей осадочных и вулканогенно-осадочных отложений. Сохранившиеся приподнятые блоки в морфологии современного рельефа выражены крутыми скалистыми останцами, возвышающимися на 30–299 м над ур. м. Наиболее крупные из них расположены в восточной (район хребта Мраморный), центральной (район хр. Приозерный) и северной (массив горы Чертова Горка) частях вулканоструктуры. Кроме того, в самой южной части палеовулкана возвышается небольшой изолированный останцовый массив с абсолютными отметками до 180 м (район горы Голубиный Утес) (рис. 1).

Вышеперечисленные блоки заметно различаются между собой по составу и объему слагающих их вулканитов тальминской толщи. Так, в восточном блоке в ее составе установлены только лавовые фации: базальты, андезибазальты, андезиты, их кластолавы. При этом наибольшим распространением среди пород пользуются темно-серые, часто с зеленоватым оттенком плагиоклаз-клинопироксеновые базальты и андезибазальты. Весьма редко здесь встречаются потоки дацитов.

В строении северного блока, как правило, преобладают андезиты, хотя в районе зал. Лебединый широкое распространение получили игнимбриты дацитов.

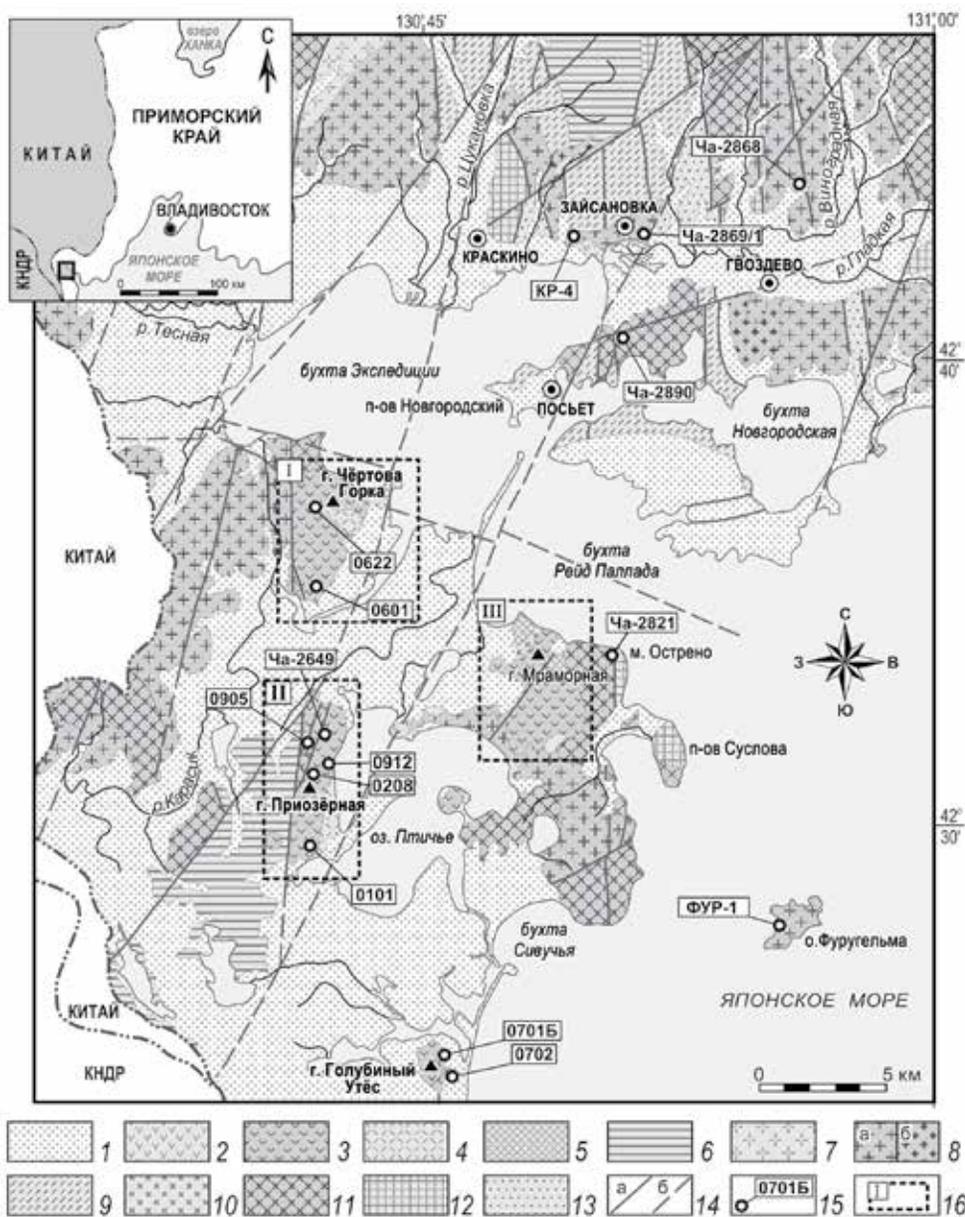


Рис. 1. Схематическая геологическая карта юго-западного Приморья (составлена по [4]) и места отбора образцов. 1 – вулканогенные, вулканогенно-осадочные и осадочные кайнозойские образования; 2 – раннемеловые терригенные образования гладкинской толщи; 3 – позднетриасовые (?) андезибазальты, андезиты, дациты и игнимбриты тальминской толщи; 4 – отдельные экструзии андезитов и их кластолавы позднетриасовой (?) тальминской толщи; 5 – позднепермские вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы барабашской свиты; 6 – пермские вулканогенно-осадочные и осадочные образования решетниковской свиты; 7 – раннемеловые диоритовые порфириты и мелкозернистые габбродиориты камышового комплекса; 8 – раннеюрские гранитоиды гвоздевского комплекса: граниты биотитовые, субщелочные лейкограниты и гранит-порфиры первой фазы (а), штоки, дайки субщелочных лейкогранитов второй фазы (б); 9 – позднепермские кристаллосланцы новгородского комплекса; 10, 11 – позднепермские гранитоиды гамовского комплекса: биотит-роговообманковые диориты (10), плагиограниты, биотит-роговообманковые гранодиориты (11); 12 – позднерифейские перидотиты, кортландиты и габбро сусловского комплекса; 13 – позднерифейские метаморфиты кубанского комплекса; 14 – основные разломы: достоверные (а) и предполагаемые (б); 15 – места отбора проб; 16 – блоки Тальминского палеовулкана: I – северный, II – центральный, III – восточный

Кроме того, в основании толщи здесь также отмечаются горизонты туфоалевролитов. Андезибазальты в границах данного блока встречаются редко. Они слагают небольшое куполообразной формы тело на северном склоне горы Чертова Горка. На периферии этого тела встречаются глыбы андезибазальтов, в которых присутствуют многочисленные обломки вмещающих андезитов, а также породы фундамента, захваченные во время подъема андезибазальтов к поверхности. Помимо покровных образований среднего состава на территории северного блока закартированы экструзивные тела андезитов и их кластолав.

В пределах центрального блока вулканы представлены преимущественно андезитами, дацитами и их туфами, а также игнимбритами дацитового состава. Отметим, что именно в центральном блоке в процессе геолого-съёмочных работ был выделен и описан опорный разрез тальминской толщи. Основание разреза здесь сложено потоками серых или бело-желтых игнимбритов дацитриодацитового состава, имеющих общую мощность до 100 м. На них залегает пачка потоков андезитов мощностью 50 м. Выше разрез толщи представлен пирокластическими породами – туфами риолитов (20 м), алевритовыми и пелитовыми туффитами (5 м) и туфами дацитов (25 м). Завершают разрез темно-серые пироксеновые андезиты мощностью 100 м. Согласно данным авторов, в верхней части также присутствуют дациты. В целом видимая мощность разреза составляет 300 м. Следует добавить, что в окрестностях горы Приозерная нами была обнаружена довольно редкая разновидность эксплозивных пород тальминского комплекса – туффизиты. Встречаются они здесь в виде единичных дайковых тел дацитового состава мощностью от 1 до 2 м и видимой протяженностью до первого десятка метров.

В незначительном количестве в строении описываемого блока принимают участие и более кислые разности тальминского комплекса – риолиты, которые образуют редкие маломощные (5–40 м), но протяженные дайки (до 1 км).

Для оценки возраста пород тальминского комплекса нами был проведен отбор проб пород среднего и кислого состава из его опорного разреза, расположенного в центральном блоке палеовулкана в районе оз. Птичьё. Кроме того, в северном блоке вулкана для U-Pb геохронологических исследований были опробованы игнимбриты.

Как отмечалось ранее, изученные нами гранитоидные образования позднепалеозойского и раннемезозойского возраста, распространенные на территории рассматриваемого района, выделены предшественниками в гамовский и гвоздевский комплексы.

Гамовский интрузивный комплекс датирован поздней пермью [4] и объединяет интрузивные породы, варьирующие по составу от диоритов, гранодиоритов до плагиогранитов, между которыми отмечены постепенные переходы. Этими породами сложен крупный Гамовский батолит (площадь более 7000 км²), прослеживаемый также за пределы РФ в прилегающие районы Китая и Кореи. На рассматриваемой территории батолит обнажен в виде отдельных массивов, перекрытых постаккреционными образованиями. Эти массивы прорывают и частично гранитизируют вмещающие их позднепермские терригенные отложения решетниковской свиты, перекрываясь в свою очередь вулканами тальминской толщи. В составе гамовского комплекса принимают участие породы двух интрузивных фаз. Породы первой (главной) фазы – биотит-роговообманковые диориты, гранодиориты и плагиограниты – слагают основной объем пород интрузивного

комплекса. Ко второй фазе относятся дайки и жилы аплитовидных гранитов и пегматитов [4].

Для оценки возраста гамовского комплекса были использованы пробы диоритов и гранитов главной фазы его становления, отобранные в береговых обнажениях залива Петра Великого на отрезке от мыса Острено до горы Голубиный Утес, а также в карьере на п-ове Новгородский и в водораздельной части хр. Приозерный (рис. 1).

Гвоздевский интрузивный комплекс. К гвоздевскому комплексу предшественниками отнесены граниты и лейкограниты, слагающие крупный одноименный батолит, представленный на современном эрозионном срезе отдельными многочисленными блоками, выходы которых распространены на значительной площади (около 4000 км²), в том числе и на сопредельной территории Китая. Отметим, что граниты этого комплекса пространственно и структурно тесно связаны с гранитоидами гамовского комплекса. Вещающими породами для гранитоидов гвоздевского комплекса являются пермь-триасовые структурно-вещественные комплексы, распространенные на рассматриваемой территории. На опубликованной в 2013 г. геологической карте исследуемого района, составленной под редакцией Т.К. Кутуб-Заде и С.В. Коваленко, данные гранитоиды датированы ранней юрой [4].

Среди пород, слагающих комплекс, выделяют две интрузивные фазы. Породы первой (главной) фазы представлены преимущественно светло-розовыми биотитовыми гранитами и относительно малораспространенными лейкогранитами, субщелочными лейкогранитами и гранит-порфирами. Последние образуют оторочку в редко наблюдаемых эндоконтактах плутона, расположенного в бассейне р. Большая Гладкая. Вторая фаза – штоки, дайки, жилы субщелочных лейкогранитов и жилы пегматитов с четкими инъекционными контактами. Данные породы чаще всего локализованы среди гранитоидов первой фазы комплекса.

Для оценки возраста нами были взяты пробы гранитов главной интрузивной фазы комплекса, отобранные из коренных выходов, встречающихся вдоль дороги, соединяющей села Сухановка и Краскино, а также на западном побережье о-ва Фуругельма.

Методика датирования

Выделение монофракций акцессорных цирконов из представительных образцов исследуемых пород осуществлялось в ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток) в лаборатории пробоподготовки и разделения минералов по стандартной методике с использованием магнитного сепаратора и тяжелых жидкостей. В дальнейшем из монофракции цирконов под биноклем вручную отбирались зерна минерала, которые были имплантированы в эпоксидную смолу, а затем полировались с использованием алмазных паст (9 и 1 мкм). Изучение зональности и внутренней структуры полированных цирконов, а также выбор участков датирования на поверхности зерен был осуществлен с помощью электронного микроскопа JXA-8100, оснащенного катодолуминесцентным детектором.

U-Pb изотопные исследования цирконов были проведены LA-ICP-MS методом в разных лабораториях. При этом основной объем U-Pb датировок был получен в лаборатории аналитической химии ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток).

Датирование цирконов проводилось здесь на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой Agilent 7500a, соединенном с системой лазерной абляции пробы UP-213. Основные особенности методики описаны в работах [7, 8]. Кроме того, методом лазерной абляции (LA SF-ICP-MS) проводилось U-Pb датирование цирконов из диоритов гамовского комплекса в ЦКП «Геоспектр» Геологического института СО РАН (г. Улан-Удэ) по методике, изложенной ранее [9]. Изотопное исследование цирконов из дацитов тальминского комплекса осуществлялось с применением метода лазерной абляции ICP-MS в Национальном музее геологии и палеонтологии (г. Цукуба, Япония) по методике, принятой в [10].

Результаты исследований

Тальминский вулканогенно-экструзивный комплекс

Для определения временного интервала формирования тальминского комплекса авторами было выполнено детальное U-Pb изотопное исследование кристаллов циркона из пород, залегающих на разных уровнях опорного разреза, выделенного и описанного в центральном блоке палеовулкана в районе оз. Птичь.

Из нижней части разреза отобрана проба игнимбритов риолитового состава (обр. 0101), из которой в дальнейшем с использованием тяжелых жидкостей было выделено 30 кристаллов циркона. Зерна циркона представлены двумя морфологическими типами.

К первому типу отнесены прозрачные короткопризматические кристаллы субидiomорфного и идиоморфного облика размером от 200 до 250 мкм. Изучение кристаллов циркона этого типа с использованием катодной люминесценции показало, что для их внутреннего строения присуще отсутствие какой-либо зональности, хотя во внешних зонах отдельных зерен иногда наблюдаются тонкие белые каймы. Величина Th/U отношения в изученных кристаллах минерала достигает значений 0,30–0,80, что в целом характерно для циркона магматического генезиса.

Цирконы второго типа представлены прозрачными кристаллами длиннопризматического, реже игольчатого облика, а также их обломками. Размер кристаллов изменяется от 150 до 200 мкм. Для внутреннего строения циркона характерно присутствие тонкой магматической зональности, а также наличие редких минеральных и газовой-жидких включений.

U-Pb геохронологические исследования были выполнены для кристаллов циркона первого типа. Средневзвешенный изотопный возраст для этих цирконов, рассчитанный по 17 точкам, составил $227,8 \pm 4,2$ млн лет при СКВО = 0,05 (рис. 2), что соответствует границе карнийского и норийского ярусов позднего триаса.

Для датирования пород верхней части разреза тальминской толщи была отобрана проба (обр. Ча-2649) из покрова дацитов, который непосредственно завершает изученный разрез, а также из даек риолитов (обр. 0912) и туффзитов (обр. 0208), прорывающих андезиты верхней части лавовой толщи Тальминского вулкана в районе горы Приозерная. Выделенные из дацитов аксессуарные цирконы представлены в основном прозрачными кристаллами короткопризматического и реже длиннопризматического габитуса, а также их обломками. Размер зерен изменяется в широком интервале от 50 до 200 мкм, однако при этом преобладают зерна >50 мкм. Характерной особенностью внутреннего строения кристаллов

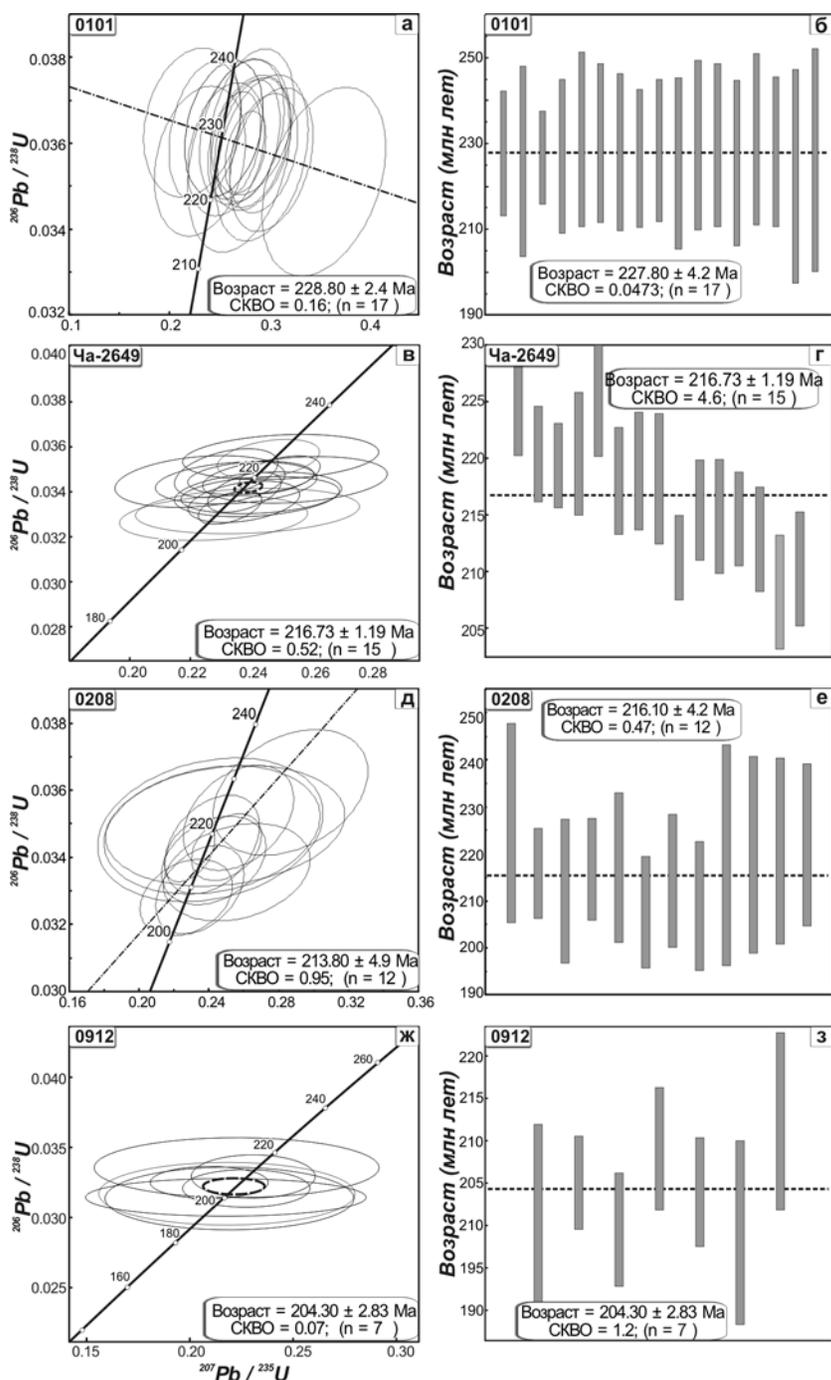


Рис. 2. Диаграммы с конкордией (а, в, д, ж) и графики средневзвешенных возрастов (б, г, е, з) для цирконов из игнимбритов (0101), дацитов (Ча-2649), туффзитов (0208) и риолитов (0912) тальминского комплекса (по [4]) центрального блока Тальминского палеовулкана. Здесь и далее на диаграммах пунктирная линия – средневзвешенное значение возраста. СКВО – средний квадрат взвешенных отклонений

циркона является наличие «грубой» магматической зональности. Величина Th/U отношения в изученных кристаллах варьирует в интервале 0,40–0,70, что также свойственно магматическим цирконам. Средневзвешенное значение возраста $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, рассчитанное на основе 15 определений (рис. 2), составило $216,7 \pm 1,19$ млн лет, при СКВО = 4,6, что соответствует норийскому ярусу позднего триаса.

Акцессорный циркон, выделенный из туффизитов (обр. 0208), представлен прозрачными и полупрозрачными иногда трещиноватыми кристаллами призматического облика, а также их обломками. Размеры зерен в длину изменяются от 100 до 250 мкм. Величина Th/U отношения варьирует в них в узком диапазоне от 0,2 до 0,3. В катодолюминесцентном излучении большинство зерен обладают хорошо выраженной тонкой и реже «грубой» магматической зональностью. Иногда встречаются зерна минерала без признаков какой-либо зональности. Средневзвешенный изотопный возраст для изученных цирконов, рассчитанный по 12 точкам, составил $216,1 \pm 4,2$ млн лет (при СКВО = 0,47). Отметим, что полученная датировка совпадает с вышеупомянутой датировкой верхнего дацитового покрова тальминской толщи (см. таблицу).

Возраст вулканических и интрузивных пород юго-западного Приморья по результатам U-Pb датирования цирконов LA-ICP-MS методом

Образец, №	Координаты		Порода	Возраст, млн лет
	с.ш.	в.д.		
Тальминский комплекс (по [4])				
0101	42°29'42,60"	130°40'56,68"	Игнимбрит	227,80 ± 4,2
Ча-2649	42°32'06,65"	130°41'48,21"	Дациит	216,73 ± 1,19
0208	42°31'33,24"	130°41'28,40"	Туффизит	216,10 ± 4,2
0912	42°32'01,49"	130°41'41,02"	Риолит	204,30 ± 2,83
0622	42°37'07,81"	130°42'22,04"	Игнимбрит	232,85 ± 1,1
0601	42°35'31,91"	130°41'52,34"	Игнимбрит	204,20 ± 1,6
Гамовский комплекс (по [4])				
0905	42°31'40,89"	130°41'25,62"	Диорит	248,50 ± 2,5
Ча-2890	42°40'24,70"	130°50'49,65"	Диорит	241,70 ± 2,1
Ча-2821	42°33'52,47"	130°50'13,86"	Диорит	202,80 ± 2,4
0701Б	42°25'02,27"	130°45'30,92"	Гранит	205,71 ± 2,16
0702	42°25'01,64"	130°45'27,80"	Гранит	204,30 ± 3,16
Гвоздецкий комплекс (по [4])				
Ча-2868	42°43'28,36"	130°55'53,15"	Гранит	291,35 ± 0,66
Ча-2869/1	42°42'29,17"	130°51'26,70"	Гранит	247,68 ± 2,78
КР-4	42°42'35,29"	130°49'11,92"	Гранит	244,54 ± 0,96
ФУР-1	42°27'58,97"	130°55'27,35"	Гранит	244,90 ± 1,2

Цирконы из даек риолитов (обр. 0912) представляют собой прозрачные с розоватым оттенком иногда трещиноватые идиоморфные кристаллы короткопризматического облика размером 50–110 мкм. В катодолюминесцентном излучении отдельные зерна минерала обладают плохо выраженной «грубой» магматической зональностью. Величина Th/U отношения в изученных кристаллах варьирует в относительно широком диапазоне от 0,37 до 0,95, что указывает на их магматическое происхождение. Средневзвешенный возраст циркона из липаритов, рассчитанный по 7 точкам измерений, составляет $204,3 \pm 2,83$ млн лет (СКВО = 1,2), что отвечает рэтскому ярусу позднего триаса.

Дополнительно были проанализированы цирконы игнимбритов риодацитового состава северного блока палеовулкана, отобранных в районе горы Чертова Горка (обр. 0622) и в окрестностях оз. Лебединое (обр. 0601).

Цирконы из обр. 0622 представлены преимущественно субидиоморфными прозрачными бесцветными кристаллами короткопризматического габитуса. Размер зерен колеблется от 90 до 100 мкм. В катодолуминесцентных лучах большинство из них имеют однородное строение, иногда слабовыраженную тонкую осцилляторную зональность. В целом по морфологии и внутреннему строению изученные кристаллы циркона близки к вышеупомянутым кристаллам циркона первого типа из игнимбритов нижней части разреза толщи (оз. Птичье). Средневзвешенный возраст по данным LA-ICP-MS, рассчитанный по 19 точкам, составляет $232,8 \pm 1,1$ млн лет при величине СКВО = 2,3 (рис. 3), что соответствует норийскому ярусу позднего триаса. Полученная датировка неплохо согласуется с возрастом игнимбритов центрального блока (см. таблицу).

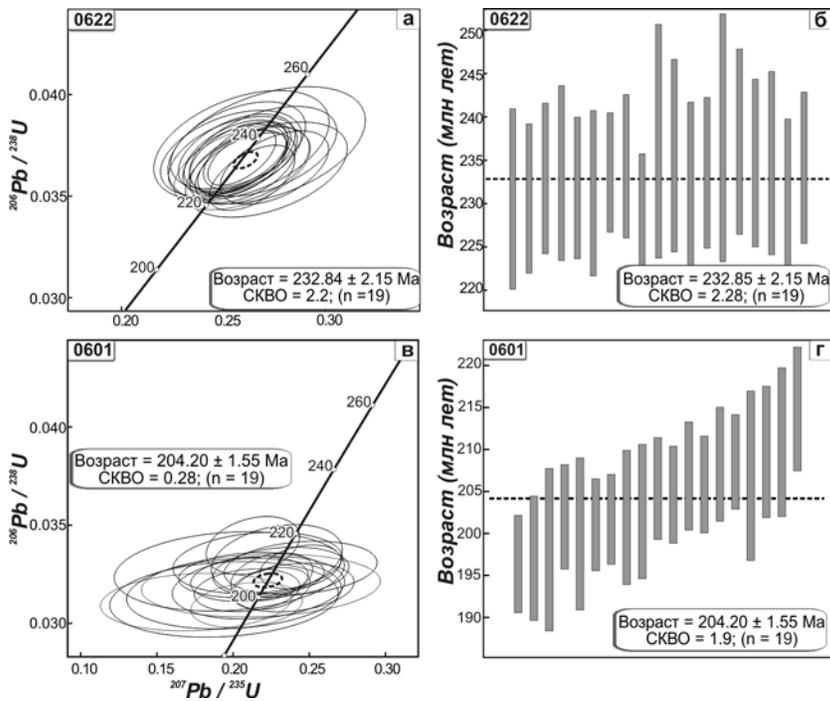


Рис. 3. Диаграммы с конкордией (а, в) и графики средневзвешенных возрастов (б, г) для цирконов из игнимбритов (0622, 0601) тальминского комплекса (по [4]) северного блока Тальминского палеовулкана

Из второй пробы игнимбритов (обр. 0601) нами выделено 30 мелких (50–70 мкм) прозрачных кристаллов циркона длиннопризматического и реже короткопризматического габитуса, а также их обломки. U-Pb изотопные исследования циркона в дальнейшем осуществлялись в Национальном музее геологии и палеонтологии (г. Цукуба, Япония). Величина Th/U отношения в изученных цирконах варьирует в интервале 0,40–0,64. Средневзвешенный возраст цирконов из обр. 0601, полученный по 19 точкам с помощью LA-ICP-MS метода, составил $204,2 \pm 1,6$ млн лет при СКВО = 1,9. Отметим, что возраст этих цирконов

совпадает с возрастом внедрения вышеупомянутых даек риолитов (204 млн лет) в андезитах верхней части разреза тальминской толщи (см. таблицу).

Результаты U-Pb датирования (по циркону) свидетельствуют, что излияния игнимбритов, андезитов, дацитов, слагающих центральный и северный блоки Тальминского вулкана, происходили 232,8–216,1 млн лет и завершились 204,3 млн лет внедрением протяженных экструзивно-дайковых тел калиевых риолитов. В северном блоке вулкана (оз. Лебединое) в этот период ($204,2 \pm 1,6$ млн лет) произошли эксплозивные извержения кислых магм, завершившиеся формированием мощного (до 100 м) покрова игнимбритов. Таким образом, можно утверждать, что формирование вулканических пород тальминского комплекса происходило в довольно широком временном интервале (233–204 млн лет), соответствующем карнийскому-рэтскому ярусам верхнего триаса.

Интрузивные образования

Гамовский интрузивный комплекс

До недавнего времени гранитоиды п-ова Гамова были охарактеризованы только позднепермскими U-Pb датировками содержащихся в них цирконов [11]. Позднее в этом же массиве были обнаружены цирконы более молодого, раннесреднетриасового возраста [12]. Судя по имеющимся на сегодняшний день данным, внедрение пород гамовского комплекса укладывается в промежуток времени 245–259 млн лет (поздняя пермь – средний триас).

На рассматриваемом участке геохронологическое изучение пород гамовского комплекса проводилось по цирконам, выделенным из гранитоидов главной интрузивной фазы внедрения, возраст которых традиционно считался позднепермским. Исследовались цирконы, выделенные из трех проб диоритов: обр. Ча-2890 отобран в карьере п-ова Новгородский, обр. Ча-2821 – из береговых обнажений мыса Острено и обр. 0905 – в водораздельной части хр. Приозерный, обрамляющего с запада оз. Птичье (рис. 1). Кроме того, были проанализированы кристаллы циркона из двух проб гранитов (обр. 0701Б и 0702), взятых из скальных обнажений горы Голубиный Утес.

Выделенные из образца 0905 цирконы представлены преимущественно обломками различного размера (от 150 до 300 мкм), а также идиоморфными прозрачными бесцветными кристаллами короткопризматического, реже удлиненно-призматического облика размером от 200 до 400 мкм. Католюминесцентное исследование циркона показало, что для большинства кристаллов и их обломков свойственна тонкоритмичная зональность. Средневзвешенный возраст циркона из диорита хр. Приозерный, рассчитанный по 17 точкам (рис. 4), составил $248,5 \pm 2,5$ млн лет при СКВО = 0,39, что соответствует границе нижнего и среднего триаса. Примечательно, что в этот же период (244–249 млн лет) произошло формирование наиболее молодых гранитоидов Гамовского батолита, закартированных в окрестностях сел Андреевка и Сухановка [12].

Цирконы из диоритов п-ова Новгородский (обр. Ча-2890) образуют прозрачные, полупрозрачные идиоморфные кристаллы длиннопризматического, реже короткопризматического облика с розоватым, иногда желтым оттенком. Размеры кристаллов составляют 100–250 мкм. Выполненные в режиме католюминесценции исследования зерен циркона показали, что для большинства кристаллов

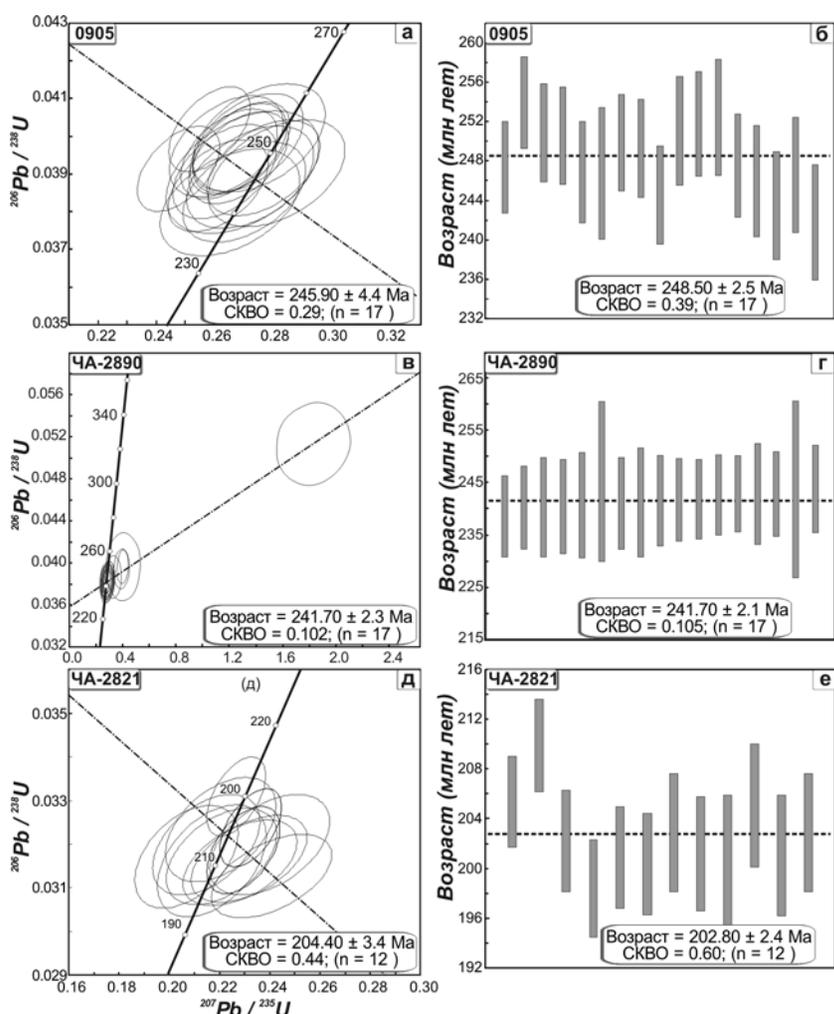


Рис. 4. Диаграммы с конкордией (а, в, д) и графики средневзвешенных возрастов (б, г, е) для цирконов из диоритов (0905, Ча-2890, Ча-2821) гамовского комплекса (по [4])

характерна хорошо выраженная осцилляционная зональность с варьирующей шириной полос. Величина Th/U отношения изменяется в них от 0,10 до 0,87.

Локальные U-Pb изотопные исследования выделенных зерен циркона из пробы Ча-2890 были выполнены методом LA-SF-ICP-MS в лаборатории Геологического института СО РАН (г. Улан-Удэ). Средневзвешенный возраст цирконов, полученный по 17 точкам, составляет $241,7 \pm 2,1$ млн лет при СКВО = 0,11 (рис. 4), что соответствует ладинскому ярусу среднего триаса. Помимо этого среди проанализированных кристаллов циркона пробы Ча-2890 были обнаружены четыре зерна, средневзвешенный U-Pb возраст которых составляет $339,6 \pm 4,9$ млн лет (при СКВО = 0,07), что соответствует нижнему карбону и два зерна, средневзвешенный U-Pb возраст которых составляет $388,9 \pm 8,4$ млн лет (при СКВО = 0,004), что соответствует среднему девону. Все эти зерна, по-видимому, были захвачены диоритами в процессе их внедрения из пород фундамента.

Полученные возрастные датировки для изученных диоритов вполне, таким образом, укладываются в интервал кристаллизации гранитоидов Гамовского

батолита (244–259 млн лет), что подтверждает их принадлежность к гамовскому интрузивному комплексу.

Цирконы, выделенные из диоритов мыса Острено (обр. Ча-2821), представлены мелкими (~100–150 мкм) прозрачными и желтоватыми призматическими кристаллами как субидiomорфного, так и идиоморфного облика, а также их обломками. В катодолюминесцентном изображении большинство кристаллов циркона и их обломки характеризуются отсутствием какой-либо зональности, хотя иногда встречаются зерна, имеющие тонкие светлые внешние каемки. Изредка в зернах минерала присутствуют мелкие кристаллические включения. Большинство изученных зерен циркона имеют высокие величины Th/U отношения (0,50–1,58), что указывает на их магматическое происхождение.

Средневзвешенный U-Pb возраст циркона из диоритов мыса Острено, полученный по 12 точкам (рис. 4), составляет $202,8 \pm 2,4$ млн лет (при СКВО = 0,60), что соответствует рэтскому ярусу позднего триаса. Отметим, что данная U-Pb датировка совпадает с возрастом излияния кислых пород заключительной стадии формирования тальминского комплекса (204 млн лет).

Цирконы, выделенные из двух проб гранитов горы Голубиный Утес (обр. 0701Б и 0702), близки по морфологии и представлены преимущественно длиннопризматическими и реже короткопризматическими прозрачными бесцветными кристаллами размером от 150 до 300 мкм. В катодолюминесцентном изображении многим зернам циркона свойственна тонкая осцилляционная зональность, в то же время встречаются кристаллы без явных признаков зональности. Величина Th/U отношения изменяется от 0,40 до 0,98, что подтверждает магматический генезис цирконов. Средневзвешенный U-Pb возраст цирконов из гранитов составляет $205,7 \pm 2,16$ млн лет в пробе 0701Б (СКВО = 8,1; n = 16) и $204,71 \pm 2,93$ млн лет в пробе 0702 (СКВО = 0,49; n = 13) (рис. 5).

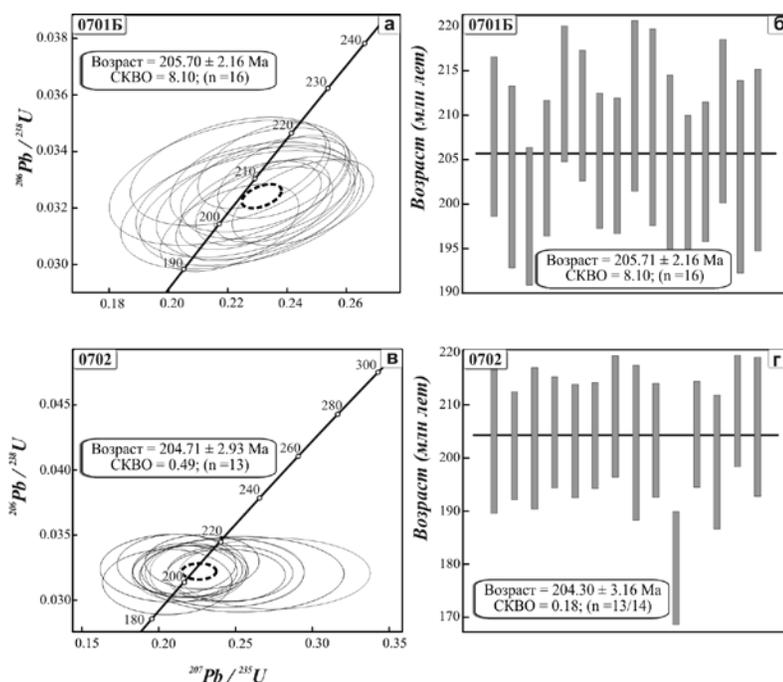


Рис. 5. Диаграммы с конкордией (а, в) и графики средневзвешенных возрастов (б, г) для цирконов из гранитов (0702, 0701Б) гамовского комплекса (по [4])

Полученные U-Pb датировки для диоритов мыса Острено и гранитов горы Голубиный Утес лежат в узком временном интервале 202,8–205,7 млн лет, отвечающем рэтскому ярусу позднего триаса. Соответственно, опробованные в этих трех точках массивы не могут быть включены в гамовский комплекс.

Следует отметить, с другой стороны, что полученные U-Pb датировки для диоритов мыса Острено и гранитов горы Голубиный Утес совпадают с возрастом излияния кислых пород заключительной стадии формирования тальминского комплекса (204 млн лет), что может свидетельствовать о комагматичности сопоставляемых пород. Этот вывод носит пока предварительный характер и нуждается в подтверждениях при дальнейших геолого-геохимических и изотопных исследованиях.

Гвоздевский интрузивный комплекс

Для определения возраста гранитоидов, объединенных в раннеюрский гвоздевский комплекс [4], были проведены U-Pb геохронологические исследования цирконов из четырех образцов гранитов. Последние были отобраны из естественных обнажений в окрестностях с. Зайсановка (обр. Ча-2869/1; КР-4), на западном побережье о-ва Фуругельма (обр. ФУР-1), а также в приустьевой части р. Виноградная (обр. Ча-2868).

Для определения возраста массива гранитов в районе с. Зайсановка было выполнено U-Pb изотопное исследование двух монофракций акцессорных цирконов. Первая была выделена из пробы среднезернистых биотитовых гранитов (обр. Ча-2869/1), отобранной в восточной части массива, вторая – из среднезернистых гранитов, встречающихся в южной части этого массива (КР-4).

Цирконы первой пробы (обр. Ча-2869/1) представлены прозрачными призматическими кристаллами идиоморфного облика, бледно-желтого или рыжевато-го цвета. Размер кристаллов изменяется от 100 до 200 мкм. В некоторых зернах минерала отмечено присутствие мелких включений. В катодолюминесцентном изображении многие кристаллы циркона обладают хорошо выраженной осцилляторной магматической зональностью. Иногда встречаются цирконы с темными, реже светлыми практически незональными ядрами. Полученные значения Th/U отношений в изученных кристаллах циркона изменяются от 0,26 до 0,51, что указывает на их магматический генезис.

Средневзвешенный возраст цирконов обр. Ча-2869/1, полученный по 10 точкам, составляет $247,7 \pm 2,78$ млн лет при СКВО = 0,2 (рис. 6), что соответствует границе нижнего и среднего триаса. Отметим, что полученная U-Pb датировка близка к интервалу становления гранитоидов гамовского комплекса (259–244 млн лет). Кроме того, в данном образце было выявлено присутствие ксеногенных цирконов, средневзвешенный возраст которых оценивается $265,3 \pm 2,14$ млн лет (возраст определен по 7 зернам при СКВО = 0,26).

Цирконы, выделенные из гранитов южной части массива (обр. КР-4), представлены довольно крупными (200–300 мкм) прозрачными с розоватым или желтым оттенком идиоморфными кристаллами удлиненно-призматического и призматического облика. Большинство проанализированных зерен имеют отчетливую «тонкую» осцилляторную зональность, указывающую на их магматическое происхождение, что также подтверждается высокими значениями Th/U (0,40–0,68). U-Pb датирование выделенных из пробы КР-4 кристаллов было проведено LA-SF-ICP-MS методом в лаборатории Геологического института СО РАН

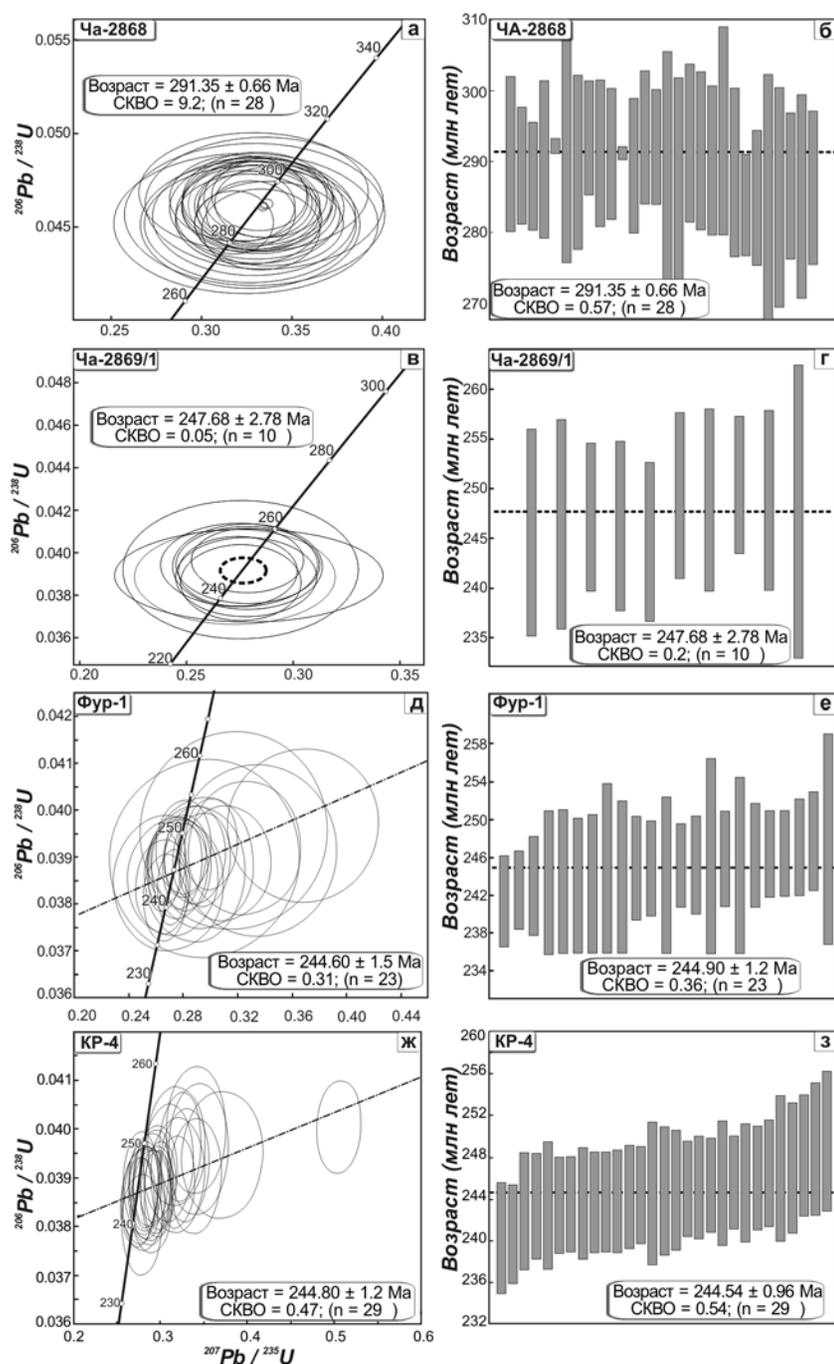


Рис. 6. Диаграммы с конкордией (U-Pb SIMS) (а, в, д, ж) и графики средне-взвешенных возрастов (б, г, е, з) для цирконов из гранитов (ЧА-2868, ЧА-2869/1, ФУР-1, КР-4) гвоздевого комплекса (по [4])

(г. Улан-Удэ). Средневзвешенный возраст, рассчитанный по 29 точкам, составляет $244,54 \pm 0,96$ млн лет при СКВО = 0,54, что отвечает анизийскому веку среднего триаса.

Выделенные из гранитов о-ва Фуругельма (обр. ФУР-1) цирконы в основном представлены удлиненными призматическими кристаллами, достигающими

размеров 200–250 мкм по длинной оси. Как правило, это прозрачные кристаллы, окрашенные в бледно-розовые или желтые тона. Катодоллюминесцентное изображение изученных цирконов показывает, что многие кристаллы характеризуются хорошо выраженной осцилляторной зональностью. Величина Th/U отношения изменяется в них в диапазоне от 0,37 до 0,65. Все эти признаки свидетельствуют в пользу магматического происхождения проанализированных цирконов. Средневзвешенный изотопный возраст для цирконов из обр. ФУР-1, рассчитанный по 23 зернам, составляет $244,9 \pm 1,2$ млн лет (средний триас) при СКВО = 0,36.

Полученные нами датировки цирконов из гранитов района с. Зайсановка и о-ва Фуругельма отвечают времени внедрения завершающей фазы описанного выше гамовского комплекса (244–259 млн лет). По-видимому, нет никаких оснований выделять на исследованной площади граниты раннеюрского возраста.

Цирконы, выделенные из обр. Ча-2868 (низовье р. Виноградная), представляют собой длиннопризматические и призматические прозрачные, часто трещиноватые кристаллы с бледно-желтым или розоватым оттенком. Размеры кристаллов составляют 100–200 мкм. Для внутреннего строения большинства кристаллов присуще отсутствие какой-либо зональности, иногда встречаются зерна, обладающие неясно выраженной зональностью. Величина Th/U отношения изменяется в них от 0,35 до 0,80, что типично для цирконов из магматических пород.

Средневзвешенный возраст цирконов обр. Ча-2868 гранитов, рассчитанный по 28 точкам, составляет $291,4 \pm 0,66$ млн лет (при СКВО = 0,57) – ранняя пермь. Полученная U-Pb датировка вызывает некоторое недоумение, поскольку раннепермские гранитоиды в пределах Лаоэлин-Гродековского террейна ранее не выделялись. В связи с этим необходимы дополнительные геохронологические исследования U-Pb методом гранитоидов, закартированных в низовье р. Виноградная.

Выводы

1. Полученные первые U-Pb изотопные датировки цирконов вулканических образований тальминского комплекса свидетельствуют о том, что его формирование в южной части Лаоэлин-Гродековского террейна происходило в карнийско-рэтское время верхнего триаса (204–232 млн лет).

2. Установлено, что внедрение изученных гранитоидов в пределах рассматриваемого района происходило в два этапа. Первый, «гамовский», датирован поздней пермью – средним триасом (244–259 млн лет). Второй, установленный нами впервые, датирован рэтским ярусом позднего триаса и соответствует, по-видимому, внедрению интрузивной фации тальминского вулканического комплекса.

3. Выполненные изотопно-геохронологические исследования показали, что в процессе геологического картирования вполне вероятны ошибки при отнесении отдельных массивов к определенным комплексам. В частности, нашими исследованиями не обнаружены граниты раннеюрского возраста, широко представленные на геологической карте изученного района. Кроме того, часть интрузивных тел, отнесенных предшественниками к позднепермскому гамовскому комплексу, содержат цирконы, датированные поздним триасом. По-видимому, при геологическом картировании интрузивных образований необходим более значительный, чем это сейчас принято, объем изотопно-геохимических исследований.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.
2. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Сихотэ-Алинская, лист К-52-ХІ (Краскино). Объяснительная записка. М.: Госгеолтехиздат, 1960. 52 с.
3. Геологическая карта Приморского края масштаба 1:1000 000 / под ред. В.А. Бажанова, Ю.Н. Олейника. Магадан, 1986.
4. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Серия Ханкайская. Листы К-52-ХІ, ХVІІ. Объяснительная записка. М.: МФ ВСЕГЕИ, 2013. 207 с.
5. Коваленко С.В. Континентальные поздне триасовые вулканиты Южного Приморья // Корреляция мезозойских континентальных образований Дальнего Востока и Восточного Забайкалья: тез. докл. стратиграф. совещ. Дальневост. РМСК. Чита, 2000. С. 71–73.
6. Геология СССР. Т. 32. Приморский край. М.: Недра, 1969. 696 с.
7. Киселев В.И., Вовна Г.М., Мишкин М.А., Ковалева Е.Ю. Одновременное определение содержания редких элементов и U–Pb изотопных отношений цирконов по единичному зерну методом ЛА-ИСП-МС // Аналитика Сибири и Дальнего Востока: материалы VIII науч. конф. Томск: ТГУ, 2008. С. 78–79.
8. Jackson S.E., Pearson N.J., Griffin W.L., Belousova E.A. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U/Pb zircon geochronology // *Chem. Geol.* 2004. Vol. 211. P. 47–69.
9. Хубанов В.Б., Буянтуев М.Д., Цыганков А.А. U–Pb изотопное датирование цирконов из PZ₃-MZ магматических комплексов Забайкалья методом магнитно-секторной масс-спектрометрии с лазерным пробоотбором: процедура определения и сопоставление с SHRIMP данными // *Геология и геофизика.* 2016. Т. 57, № 1. С. 241–258.
10. Tsutsumi Y., Horie K., Sano T., Miyawaki R., Momma K., Matsubara S., Shigeoka M., Yokoyama K. LA-ICP-MS and SHRIMP age of zircons in chevkinite and monazite tuffs from the Boso Peninsula, Central Japan // *Bull. Natl. Mus. Nat. Sci. Ser. C.* 2012. Vol. 38. P. 15–32.
11. Крук Н.Н., Голозубов В.В., Касаткин С.А. и др. Гранитоиды Гамовского интрузива: геологическая позиция, вещественный состав, возраст и индикаторная роль в геологической эволюции Южного Приморья // *Геология и геофизика.* 2015. Т. 56, № 12. С. 2134–2152.
12. Isozaki Y., Hasegawa R., Nakano T., Tsutsumi Y., Nechaev V., Zakharov Y., Popov A. Zircon U–Pb ages of Permian-Triassic granitoids in the southeastern Laolin-Grodekov belt, Primorye, Far East Russia: correlation with the Hida belt in central Japan via the Yamato Ridge in the Sea of Japan // *Bull. Natl. Mus. Nat. Sci., Ser. C.* 2021. Vol. 47. P. 25–39.

REFERENCES

1. Khanchuk A.I. (ed.) *Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii* = [Geodynamics, Magmatism and Metallogeny of the Russia East]. Vladivostok: Dal'nauka; 2006. Vol. 1. 572 s. (In Russ.).
2. *Geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:200 000. Seriya Sihote-Alinskaya, list K-52-XI (Kraskino). Ob'yasnitel'naya zapiska* = [Geologic map of the USSR. Scale 1:200 000. Sikhote-Alin Series. Sheet K-52-XI (Kraskino). Explanatory letter]. M.: Gosgeoltekhizdat; 1960. 52 s. (In Russ.).
3. Bazhanov V.A., Oleinik Yu.N. (eds). *Geologicheskaya karta Primorskogo kraja masshtaba 1:1000 000* = [Geologic map of Primorsky Region. Scale 1: 1 000 000]. Magadan; 1986. (In Russ.).
4. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii masshtaba 1:200 000. Seriya Hankaikskaya. Listy K-52-XI, Xvii. Ob'yasnitel'naya zapiska* = [State geological map of the Russian Federation, scale 1:200,000. Khankai series. Sheets K-52-XI, XVII. Explanatory letter]. Moscow: MF VSEGEI; 2013. 144 s. (In Russ.).
5. Kovalenko S.V. *Kontinental'nye pozdnetriasovye vulkanity Yuzhnogo Primor'ya* = [Continental Late Triassic volcanic rocks of the Southern Primorye]. *Correlation of Mesozoic continental formations of the Far East and Eastern Transbaikalia: Abstracts of the reports of the stratigraphic meeting of the Far Eastern RMSC.* Chita; 2000. S. 71-73. (In Russ.).
6. *Geologiya SSSR. Tom 32. Primorsky Krai* = [Geology of the USSR. Vol. 32. Primorsky Region]. M.: Nedra; 1969. 696 s. (In Russ.).

7. Kisilev V.I., Vovna G.M., Mishkin M.A., Kovaleva E.Yu. Odnovremennoe opredelenie sodержaniya redkikh elementov i U-Pb izotopnykh otnoshenii tsirkonov po edenichnomu zernu metodom LA-ISP-MS = [Simultaneous determination of rare earth elements and U-Pb isotope ratio of zircons in a single grain using LA-ICP-MS method]. *Analytics of Siberia and the Far East: materials of the VIII scientific conference*. Tomsk: TSU; 2008. P. 78-90. (In Russ.).

8. Jackson S.E., Pearson N.J., Griffin W.L., Belousova E.A. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U/Pb zircon geochronology. *Chemical Geology*. 2004;211:47-69.

9. Khubanov V.B., Buyantuev M.D., Tsygankov A.A. U-PB dating of zircons from PZ₃-MZ igneous complexes of Transbaikalia by sector-field mass spectrometry with laser sampling: technique and comparison with SHRIMP. *Russian Geology and Geophysics*. 2016;7(1):190-205.

10. Tsutsumi Y., Horie K., Sano T., Miyawaki R., Momma K., Matsubara S., Shigeoka M., Yokoyama K. LA-ICP-MS and SHRIMP age of zircons in chevkinite and monazite tuffs from the Boso Peninsula, Central Japan. *Bulletin of the National Museum of Nature and Science. Series C, Geology and Paleontology*. 2012;38:15-32.

11. Kruk N.N., Golozubov V.V., Kasatkin S.A., Rudnev S.N., Vrzhosek A.A., Kuibida M.L., Vovna G.M. Granitoids of the Gamov intrusion (Southern Primorye), its peculiarities and indicative and geodynamic role. *Russian Geology and Geophysics*. 2015; 56(12):1685-1700.

12. Isozaki Y., Hasegawa R., Nakano T., Tsutsumi Y., Nechaev V., Zakharov Y., Popov A. Zircon U-Pb ages of Permian-Triassic granitoids in the southeastern Laelin-Grodekov belt, Primorye, Far East Russia: correlation with the Hida belt in central Japan via the Yamato Ridge in the Sea of Japan. *Bulletin of the National Museum of Nature and Science. Series C, Geology and Paleontology*. 2021;47:25-39.

