

О ВОЗРАСТЕ ГРАНИТА ЗНАМЕНИТОГО ГРОМ-КАМНЯ — ПОСТАМЕНТА ПАМЯТНИКА ПЕТРУ I «МЕДНЫЙ ВСАДНИК» В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

© 2024 г. Д. чл. Иванов М. А.¹, Шевченко С. С.²,
Сергеев С. А.², д. чл. Попов Г. Н.³, Ефремова Н. Н.⁴

¹ Санкт-Петербургский горный университет, 21-я линия, 2, Санкт-Петербург, 109106 Россия

² Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского,
Средний проспект, 72, Санкт-Петербург, 197110 Россия

³ ООО «Пангея», ул. Возрождения, 20, Санкт-Петербург, 198188 Россия

⁴ Государственный музей городской скульптуры, Невский пр., 179, Санкт-Петербург,
191167 Россия

Поступила в редакцию: 26.12.2023 г.

После доработки: 08.10.2024 г.

Принята к публикации: 09.10.2024 г.

Возраст гранита Гром-камня, из которого изготовлен постамент памятника Петру I «Медный всадник» в Санкт-Петербурге определен как ~1595 млн лет. Такое значение возраста получено при изотопно-геохимическом изучении кристаллов акцессорного циркона, извлеченных из биотита гранитного постамена памятника ювелирным штихелем. Исследования проводились на вторично-ионном микрозонде SHRIMP-IIe в Центре изотопных исследований Института Карпинского (г. Санкт-Петербург). Выполнено 15 локальных изотопных U-Pb анализов по 12 кристаллам циркона. Ответить на вопрос о коренном источнике Гром-камня не представляется возможным, так как граниты указанного возраста пока что не отмечены ни в Выборгском (1665—1615 млн лет), ни в Салминском (1547—1535 млн лет), ни в других географически близких к Санкт-Петербургу гранитоидных массивах. Тем самым

¹ 24 мая 2024 года на 76-м году жизни скончался член Ученого совета Российского минералогического общества и редколлегии нашего журнала, профессор Санкт-Петербургского горного университета Михаил Александрович Иванов. Ушел из жизни замечательный человек, продолжатель славных традиций отечественной минералогической школы, преподаватель от Бога, воспитавший не одно поколение студентов-горняков. Со студенческой скамьи Михаил Александрович занимался изучением пегматитов Мамской провинции. Следуя примеру своих учителей, он отдал талант ученого онтогеническим исследованиям и изучению конституции минеральных индивидов и агрегатов. Обладая многогранным художественным даром, он выражал любовь к камню в графических этюдах — каменных пейзажах, радовавших коллег необыкновенным лиризмом и поэтикой дальних странствий. Всю свою жизнь М. А. Иванов посвятил служению Горному институту, где он прошел путь от ассистента до профессора, в разные годы возглавлял кафедры исторической и динамической геологии и минералогии, кристаллографии и петрографии, был деканом геологоразведочного факультета, проректором по учебной работе. Никогда не забудут его ученики вдохновенных лекций о минералах и красочных рисунков на доске, которыми профессор сопровождал эти лекции. Немало сил было отдано и работе в Минералогическом обществе, где Михаил Александрович обладал непререкаемым авторитетом главного художника. По его эскизам были созданы значки и памятные медали Общества последних десятилетий, ставшие частью истории РМО. Память о российском минералоге Михаиле Александровиче Иванове навсегда сохранится в сердцах его коллег и учеников.

Гром-камень как бы подтверждает исторически сложившиеся представления о своей уникальности и намекает, что родину его следует искать среди проявлений еще не выявленных фаз раннерифейского гранитоидного магматизма в ближайших регионах.

Ключевые слова: Гром-камень, памятник «Медный всадник», Санкт-Петербург, изотопно-геохронологические исследования, циркон, возраст гранита

DOI: 10.31857/S0869605524050018, **EDN:** PCTZPO

ВВЕДЕНИЕ

Легендарный Гром-камень, как и сам памятник Петру I «Медный всадник» в Санкт-Петербурге, окружен ореолом таинственности, навеянной не только образами художественной литературы, но и загадочностью происхождения.

Остаются невыясненными не только обстоятельства его появления в заболоченном пригороде Санкт-Петербурга, где он был обнаружен в 1768 году, но и вопросы о его геологической природе. Неудивительно, что на научных форумах, организуемых Государственным музеем городской скульптуры Санкт-Петербурга и Российским минералогическим обществом, интерес к этой теме объединяет специалистов по истории архитектурных памятников Санкт-Петербурга и геологов (Музей под открытым..., 2018, 2021).

В последние годы геологическая природа Гром-камня была прояснена минералогическими исследованиями А. Г. Булаха с коллегами по Санкт-Петербургскому государственному университету и Санкт-Петербургскому горному университету императрицы Екатерины II (Булах и др., 2017, 2021).

Изучение структурно-текстурных особенностей и минерального состава четырех гранитных глыб, из которых собран постамент памятника, без сомнения указывает на их изначальную принадлежность каменному монолиту, разбитому на части в процессе обработки при строительстве памятника. Положение этого монолита и его фрагментов в процессе обработки, перемещения и установки поэтапно реконструировано от первоначального состояния Гром-камня, до завершения строительных работ (Иванов и др., 2022).

Структура гранита и данные о составе его главных породообразующих и акцессорных минералов свидетельствуют об отличии этой горной породы от типичных рапакиви (выборгита, питерлита), как ранее указывалось на страницах исторических публикаций. Установлено сходство с топазсодержащими трахитоидными биотитовыми гранитами и пегматитами (штокшайдерами), характерными для поздних фаз раннерифейских гранитоидных массивов Северо-Запада России и Фенноскандинавии, в том числе ближайшего к Санкт-Петербургу Выборгского массива (Булах и др., 2017, 2021). Эти данные вслили надежду на то, что происхождение и вероятное место отрыва легендарного Гром-камня от массива родственных ему пород в недалеком будущем будут выяснены.

ПОСТАНОВКА ВОПРОСА И ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

В связи с повышенным интересом к геологической истории Гром-камня особую актуальность приобретает вопрос об определении его возраста U-Pb изотопным методом по циркону. Но как этот минерал найти и извлечь из постаменты памятника? Это казалось невозможным до тех пор, пока не вспомнилась известная особенность циркона и других акцессориев гранитоидных пород концентрироваться преимущественно в темноцветных минералах. Это определило возможность решить проблему деликатно, без ущерба для памятника. Мелкие чешуйки биотита срезались с поверхности

постаменту ювелирными штихелями и собирались в общую пробу. Когда после двух дней такой работы общий вес пробы достиг нескольких граммов, из нее уже в лабораторных условиях с помощью тяжелых жидкостей был извлечен циркон — несколько десятков идиоморфных кристаллов величиной 0.1–0.7 мм.

В процессе реставрационных работ 2021 года из расщелины между блоками постаменту был извлечен случайно обнаруженный небольшой обломок гранита. Государственный музей городской скульптуры передал его Санкт-Петербургскому горному университету императрицы Екатерины II для научных исследований (в настоящее время образец исследуется в Горном музее). Из части этого обломка были изготовлены петрографические шлифы, в которых подтвердилась приуроченность акцессорного циркона к биотиту (рис. 1).

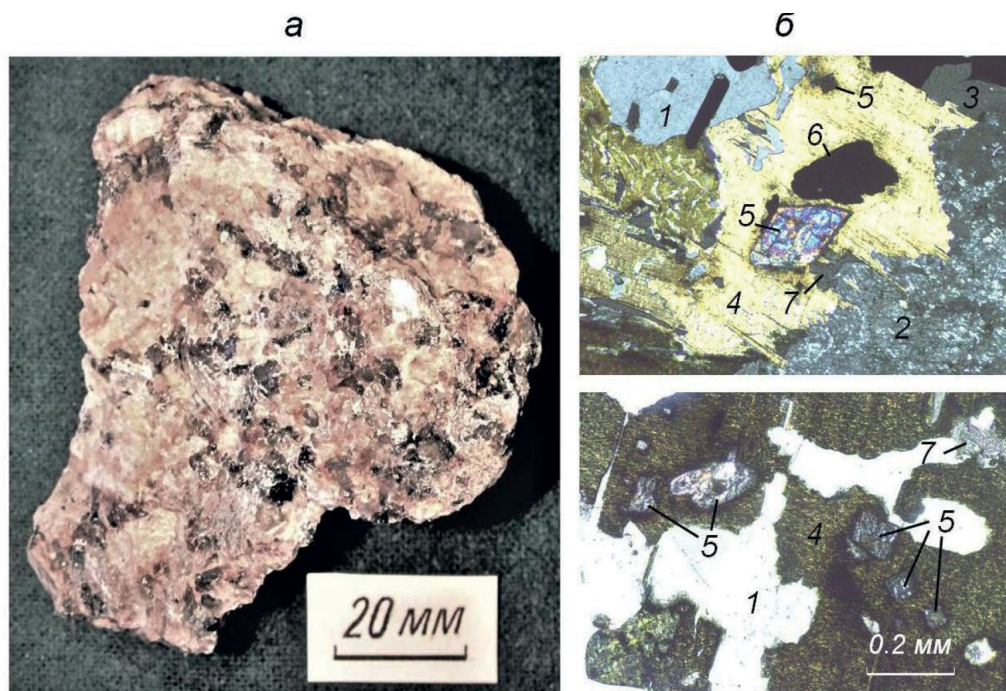


Рис. 1. Обломок гранита «Гром-камень», извлеченный из расщелины в постаменте памятника «Медный всадник»: *а* — общий вид; *б* — в шлифах при введенном анализаторе.

1 — кварц, 2 — микроклин, 3 — олигоклаз, 4 — биотит, 5 — циркон, 6 — флюорит, 7 — апатит.

Fig. 1. A fragment of the “Thunder Stone” granite extracted from a crack in the pedestal of the “Bronze Horseman” monument: *a* — general view; *b* — transmitted light image with an analyzer.

1 — quartz, 2 — microcline, 3 — oligoclase, 4 — biotite, 5 — zircon, 6 — fluorite, 7 — apatite.

МЕТОДИКА ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКОГО ДАТИРОВАНИЯ

Геохронологические исследования циркона осуществлялись на вторично-ионном микрозонде SHRIMP-IIe в Центре изотопных исследований (ЦИИ) Института Карпинского (г. Санкт-Петербург).

Всего в пробе насчитывалось 45 зерен циркона, относящихся, судя по сходству морфологии и внутренней ростовой неоднородности, к единой популяции.

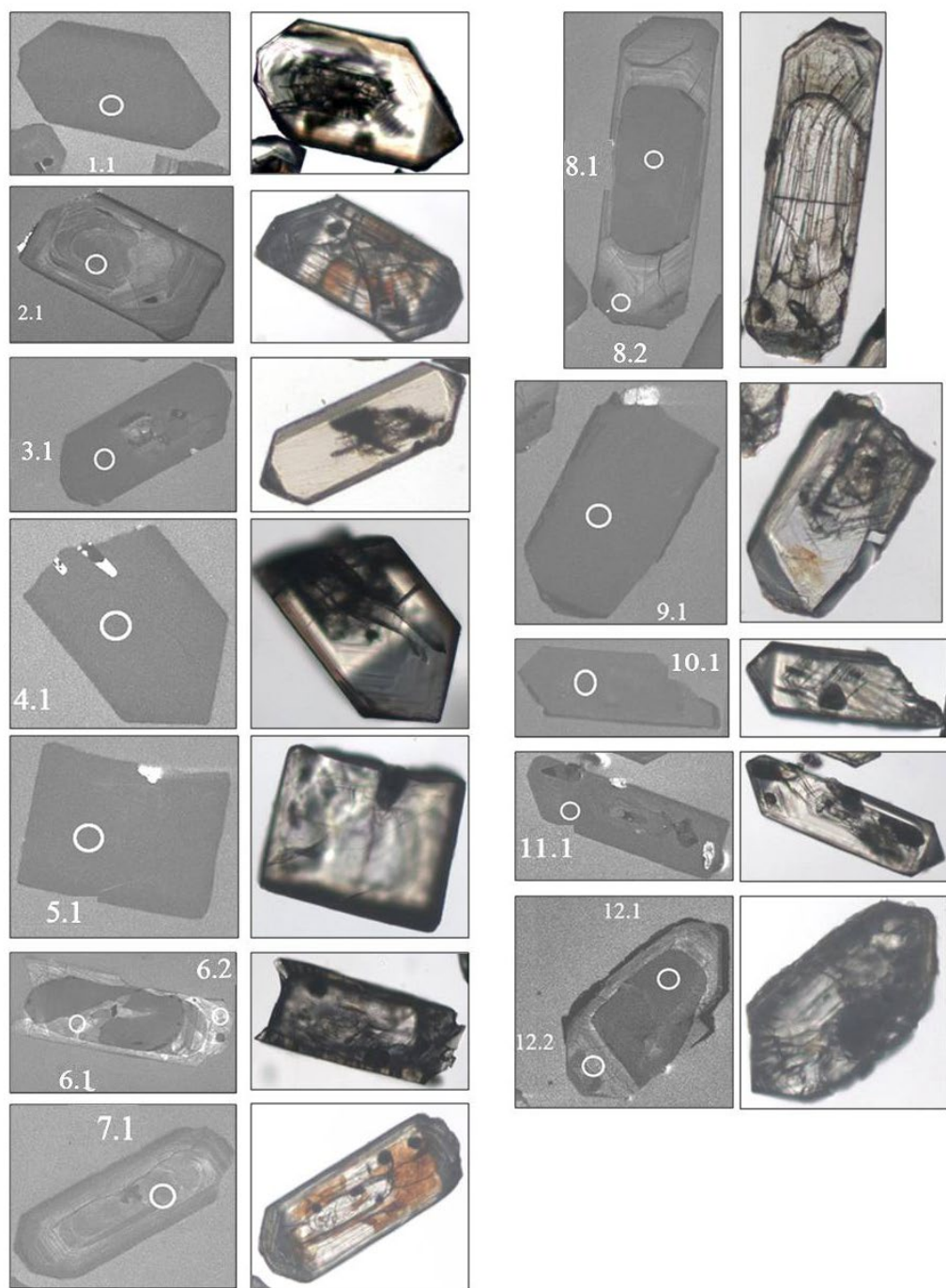


Рис. 2. Катодолюминесцентные (слева) и в проходящем свете (справа) изображения единичных кристаллов циркона пробы МВ-1, датированных на SHRIMP-IIe. Окружности на кристаллах (диаметр 30 мкм) демонстрируют локализацию мест ионного пробоотбора.

Fig. 2. Cathodoluminescence (left) and transmitted light (right) images of zircon crystals from sample MB-1, which were dated at SHRIMP-IIe. Circles with the diameter of 30 μm show localization of ion spots.

Все кристаллы удлиненного облика, призматического («цирконового») габитуса. Коэффициент удлинения от 2 до 5 при размерах от 200 до 700 мкм. Грани и ребра хорошо выражены, со слабыми следами коррозии. Вторичных обрастаний кристаллов не отмечается. В некоторых кристаллах встречены многочисленные минеральные и газово-жидкие включения.

Наиболее представительные кристаллы, отобранные вручную под микроскопом, были имплантированы в безсвинцовую эпоксидную смолу (шайба диаметром 2.5 см) вместе с зернами международных цирконовых стандартов TEMORA и 91500. Затем кристаллы сошлифовывались на половину своей толщины и полировались. На препарат наносилось токопроводящее золотое покрытие в установке катодно-вакуумного распыления в течение одной минуты при силе тока 20 mA. В дальнейшем зерна цирконов документировались в проходящем и отраженном свете, а также с использованием сканирующего электронного микроскопа CamScan MX2500 с системой CLI/QUA2 для получения катодолюминесцентных (CL) и в обратно-отраженных электронах (BSE) изображений, характеризующих внутреннее зонально-секториальное строение кристаллов циркона. Рабочее расстояние составляло 25–28 мм, ускоряющее напряжение — 20 кВ, ток практически полностью сфокусированного пучка на цилиндре Фарадея — 4–6 nA.

Подробное изучение неоднородности строения кристаллов позволило осуществить выбор достаточного количества участков для анализа, в максимальной степени отвечающих гомогенным, свободным от включений, вторичных изменений и механических повреждений доменам зерен. Общий вид исследованных кристаллов приведен на рис. 2.

Измерения U-Pb изотопных отношений проводились по адаптированной в ЦИИ методике (Schuth et al., 2012), описанной в работе (Williams, 1998). Интенсивность первичного пучка молекулярного кислорода составляла 4 nA, диаметр кратера пробоотбора — 30 мкм при глубине до 2 мкм. U-Pb отношения нормализовались на значение 0.0668, приписанное стандартному циркону TEMORA, что соответствует возрасту этого циркона 416.75 ± 0.24 млн лет (Black et al., 2003). Стандарт циркона 91500 с содержанием урана 81.2 ppm и возрастом по $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ в 1062 млн лет (Wiedenbeck et al., 1995) использовался как концентрационный стандарт. Растровая одномоментная очистка прямоугольного (50×65 мкм) участка минерала перед датированием позволяла минимизировать поверхностное загрязнение. Обработка полученных данных осуществлялась с помощью программы SQUID (Ludwig, 2001).

Погрешности единичных анализов (отношений и возраста) приводятся на уровне 1σ , а погрешности вычисленных возрастов, в том числе конкордантных — на уровне 2σ . Построение графиков с конкордией проводилось с использованием программы ISOPLOT/EX (Ludwig, 2003). Коррекция на нерадиоγενный свинец проводилась по измеренному ^{204}Pb и современному изотопному составу свинца в модели Стейси-Крампера (Stacey, Kramers, 1975).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При заданных условиях выполнено 15 локальных изотопных U-Pb анализов по 12 наиболее представительным кристаллам циркона в сечениях по [001] (таблица). Точки анализа (кратеры ионного пробоотбора), имеющие диаметр 30 мкм и глубину 2 мкм, представлены на рис. 2. У изученных кристаллов не отмечены вторичные обрастания и так называемые «ядра». Вместе с тем следует отметить, что зонально-секториальная неоднородность в сечениях некоторых индивидов может создавать впечатление обрастания краевыми зонами роста более однородной и отличающейся по составу

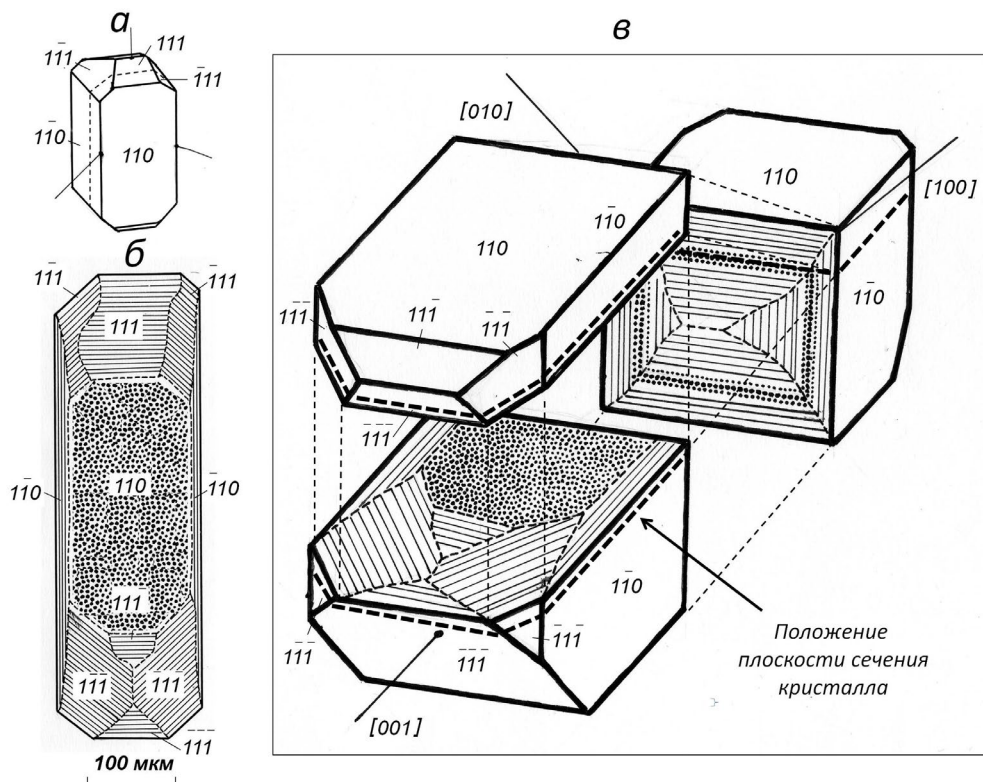


Рис. 3. Морфология и внутреннее строение одного из изученных кристаллов циркона (рис. 2, кристалл с точками пробоотбора 8.1, 8.2): *a* — общий вид (пунктирной линией показана плоскость среза); *б* — зональность и секториальность на срезе кристалла; *в* — объемная модель зонально-секториального строения.

Fig. 3. Morphology and internal structure of one of the studied zircon crystals (Fig. 2, crystal with sampling spots 8.1, 8.2): *a* — general view (dotted line indicates the cut plane); *b* — concentric and sectorial zoning within the crystal section; *c* — 3D model of the concentric and sectorial zoning within the crystal.

центральной («ядерной») части (рис. 2, пробы 6, 7, 8, 12). Это хорошо видно, например, в сечениях кристалла с точками пробоотбора 8.1 и 8.2. Если же сопоставить вид сечений этого кристалла в CL и в оптическом изображении, то с очевидностью выясняется другое: центральная темная область — это срез кристалла, параллельный одной зоне роста грани призмы $\{110\}$ (рис. 3).

Характерным является наличие темной в CL микрозональной области в центральной части ряда кристаллов, с контурами, субсогласными с внешними гранями. По-видимому, они представляют собой сечения внутренних частей пирамид роста граней тетрагональных призм $\{100\}$ и $\{010\}$ (рис. 3). Такие темные области (анализы 1.1, 4.1, 6.1, 8.1, 12.1) либо окаймлены более светлыми тонкозональными оторочками различной мощности (2.1, 6.2, 7.1, 8.2, 12.2), либо занимают всю площадь сечения индивидов (3.1, 5.1, 9.1, 10.1, 11.1) (рис. 2).

По содержанию урана вещество темных оболочек почти на порядок отличается от вещества оболочек светлых: средние содержания 1230 г/т ($n = 9$) и 257 г/т ($n = 5$) соответственно. Результаты измерений в кристалле 6.2 с аномально сложным строением исключены из геохимических расчетов. Характерно, что Th/U отношения в темных

и светлых оболочках, по величине практически неразличимы (0.33 и 0.39), что типично для циркона из гранитоидов.

Существенных различий в U-Pb возрасте вещества внутренних и внешних частей кристаллов циркона не выявлено. Очевидно, что такие данные могут свидетельствовать о кристаллизации циркона в течение относительно кратковременного эпизода эволюции магматического расплава. Внешние и внутренние части кристаллов подверглись слабому воздействию вторичных, вероятно, гипергенных, процессов, приводящих к частичной потере радиогенного свинца (точки 6.1, 7.1, 2.1), поэтому их изотопная система является дискордантной (рассчитанная дискордантность в них соответственно составляет 48.16 и 8 %). Вторичные изменения имеют, по-видимому, неогеновый возраст, что не сказывается на релевантности их возраста по соотношению изотопов свинца $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$.

Параметры линейной (СКВО = 1.6) зависимости в координатах $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ — $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ по всей совокупности ($n = 15$) аналитических данных устанавливают возраст кристаллов циркона по верхнему пересечению изохроны с конкордией в 1602 ± 7 млн лет (рис. 4). Мы полагаем, что средневзвешенное значение возраста кристаллизации циркона по отношению $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, рассчитанное только по конкордантным и субконкордантным результатам — 1595 ± 5 млн лет (рис. 5), более адекватно и должно рассматриваться как время кристаллизации циркона и, соответственно, возраст породы-носителя составляет **около 1595 млн лет**.

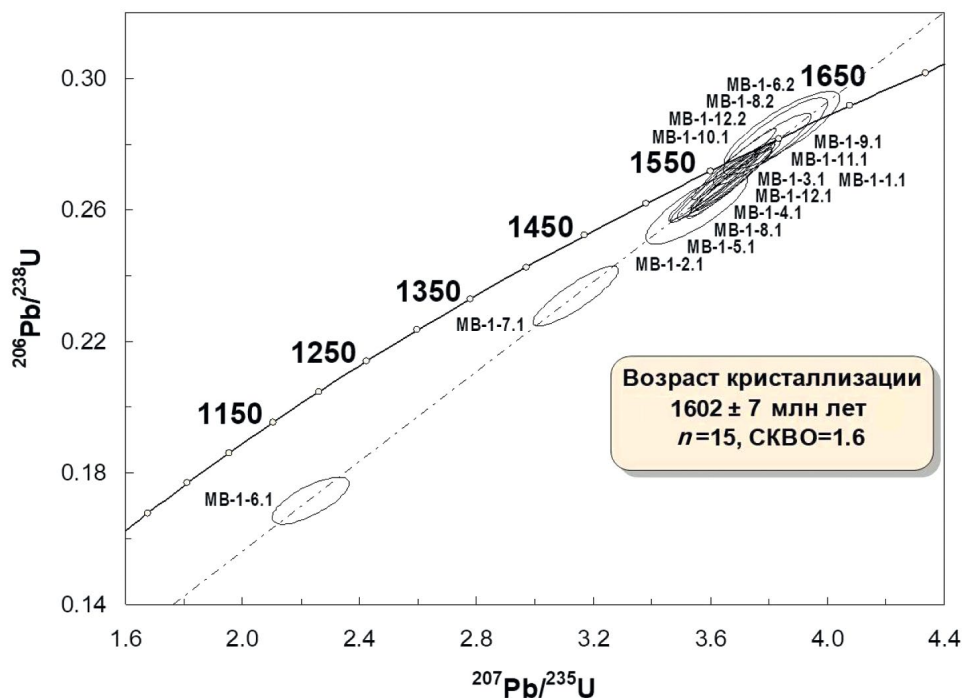


Рис. 4. U-Pb изотопная диаграмма с конкордией для проанализированных кристаллов циркона. Эллипсы соответствуют погрешности 2σ .

Fig. 4. U-Pb isotope diagram with concordia for the analyzed zircon crystals. Ellipses correspond to 2σ error.

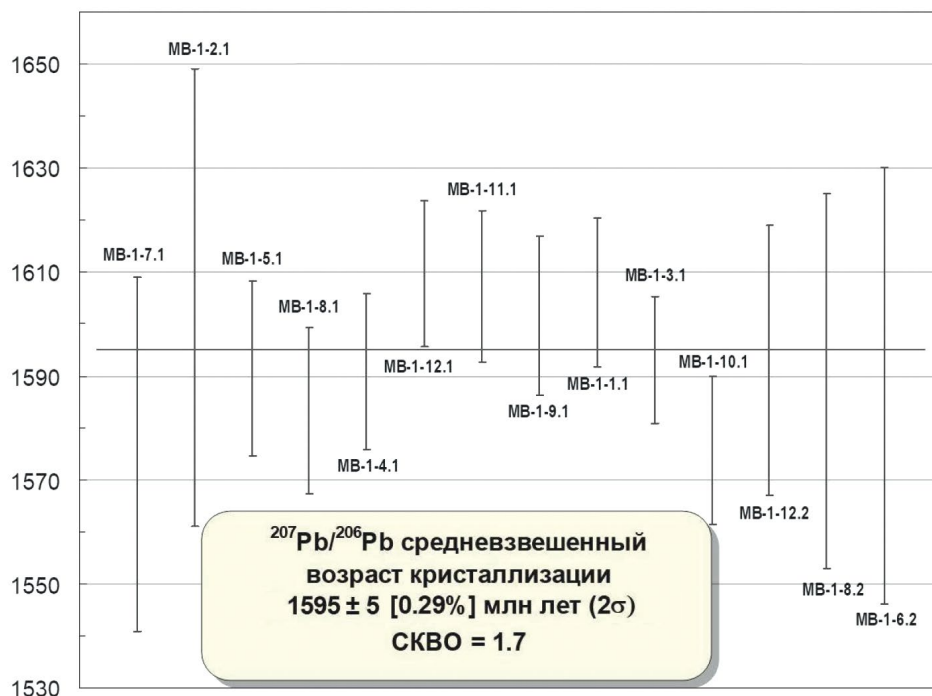


Рис. 5. Диаграмма $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возраста для 14 проанализированных кристаллов циркона. Ошибки индивидуальных анализов 2σ .

Fig. 5. $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age diagram for 14 analyzed zircon crystals. Errors of individual analyses are presented at the 2σ level.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Граниты с возрастом 1595 млн лет пока что не выявлены ни в Выборгском (1665—1615 млн лет), ни в Салминском (1547—1535 млн лет) массивах гранита рапакиви (Ларин, 2011; Heinonen et al., 2017). Это обстоятельство, а также исключительно крупные размеры и монолитность исходного валуна Гром-каменя, не очень характерные для моренных отложений Южной Карелии и Карельского перешейка, позволяют предположить наличие еще не установленных промежуточных фаз раннерифейского гранитоидного магматизма в южной части Фенноскандинавского щита. О возможном расширении разнообразия геологической истории магматизма в регионе указывалось и на основании результатов U-Pb датирования методом ID-TIMS циркона трахитоидных гранитов, относимых к третьей фазе Выборгского массива (Губановская интрузия) — 1620 млн лет (устное сообщение С. Г. Скублова на Годичном собрании РМО в 2023 г.).

Как видим, Гром-камень оправдал свою репутацию явления необычного и в определенной степени загадочного. По геохронологической характеристике он не вписывается в картину современных представлений о геологической истории регионов, географически близких к месту его обнаружения. Тем самым он как бы «намекает» на то, что родину его следует искать в этих краях среди еще не выявленных геологических проявлений раннерифейского гранитоидного магматизма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Булах А. Г., Попов Г. Н., Иванов М. А., Янсон С. Ю., Гавриленко В. В., Платонова Н. В. Минеральный состав и архитектоника пьедестала «Медного всадника» в Санкт-Петербурге // ЗРМО. 2017. № 6. С. 111—125.

Булах А. Г., Попов Г. Н., Янсон С. Ю., Иванов М. А. Новые данные о гранитном постаменте памятника Петру I «Медный всадник» в Санкт-Петербурге // Записки Горного института. 2021. Т. 248. С. 180—189.

Иванов М. А., Булах А. Г., Попов Г. Н. Превращение Гром-камня в постамент памятника (историческая реконструкция) // Вознесся Всадник Медный над исполинскою скалой...: альбом, сб. ст./ Гос. Музей городск. скульптуры. СПб: «ФриЛансПарк», 2022. С. 173—176.

Ларин А. М. Граниты рапакиви и ассоциирующие породы. СПб.: Наука, 2011. 403 с.

Музей под открытым небом. Проблемы сохранения памятников в городской среде // Сборник научн. Трудов V научн.-практ. конф. «Музей под открытым небом» СПб: МедиаКомфорт; СПбГУПТД, 2021. 140 с.

Музей под открытым небом. Стратегия сохранения скульптуры в городской среде / В. В. Александрова, М. А. Бахарева, И. П. Беляева и др. Санкт-Петербург: Знакъ, 2018. 140 с.

About the Age of Granite of the Famous Thunderstone Pedestal of the Monument to Peter the Great “The Bronze Horseman” in Saint Petersburg

Ivanov M. A.¹, Shevchenko S. S.², Sergeev S. A.², Popov G. N.³, Efremova N. N.⁴

¹Saint Petersburg Mining University

²Russian Geological Research Institute (VSEGEI)

³Pangea LLC

⁴The State Museum of Urban Sculpture

The age of the Thunderstone granite, which is the pedestal of the Bronze Horseman monument to Peter the Great in Saint Petersburg, is dated at ~1595 Ma. This age was obtained by U-Pb dating of accessory zircon separated with a jewelry gravel from the biotite flakes. The study was carried out on a secondary ion microprobe SIMS SHRIMP-IIe at the Center of Isotopic Research of the Karpinsky Institution (Saint Petersburg). 15 local U-Pb isotopic analyses were performed on 12 zircon crystals. It is not yet possible to recognize the source of the Thunder Stone, since granites of the same age have not yet been found either in the Vyborg batholith (1665—1615 million years), or in the Salminsky batholith (1547—1535 million years), or in other granite intrusions located in the proximity of Saint Petersburg. Thus, the Thunder Stone seems to confirm the historically established idea about its uniqueness and hints that its homeland should be sought among the manifestations of the yet unidentified phases of Early Riphean granitoid magmatism in the nearest regions.

Key words: Thunder-stone, Bronze Horseman monument, Saint Petersburg, isotope dating, zircon, age of granite

REFERENCES

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-Pb geochronology. *Chem. Geol.* 2003. Vol. 200. P. 155—170.

Bulakh A. G., Popov G. N., Ivanov M. A., Yanson S. Yu., Gavrilenko V. V., Platonova N. V. Mineral composition and architectonics of the Bronze Horseman pedestal in St. Petersburg. *Zapiski RMO (Proc. Russian Miner. Soc.)*. 2017. N 6. P. 111—125 (in Russian).

Bulakh A. G., Popov G. N., Yanson S. Yu., Ivanov M. A. New data on the granite pedestal of the monument to Peter I "The Bronze Horseman" in St. Petersburg. *Journal of Mining Institute*. **2021**. Vol. 248. P. 180—189.

Heinonen A. P., Rämö O. T., Mänttari I., Andersen T., Larjamo K. Zircon as a proxy for the magmatic evolution of Proterozoic ferroan granites; the Wiborg rapakivi granite batholith, SE Finland. *J. Petrol.* **2017**. Vol. 58. P. 2493—2517.

Ivanov M. A., Bulakh A. G., Popov G. N. Transformation of the Thunderstone into a monument pedestal (historical reconstruction). In: The Bronze Horseman rose above the giant rock...: State Museum of urban sculpture. Saint Petersburg: FriLansPark, **2022**. P. 173—176 (*in Russian*).

Larin A. M. Rapakivi granites and associated rocks. Saint Petersburg: Nauka, **2011**. 403 p. (*in Russian*).

Ludwig K. R. SQUID1.02, A User Manual, A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, Berkeley, USA, **2001**.

Ludwig K. R. User's Manual for Isoplot/Ex, Version 3.00, A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, Berkeley, USA, **2003**.

Open-air museum. Problems of preserving monuments in the urban environment. *Proc. V sci.-pract. conf. "Open-air museum"*. Saint Petersburg: MediaComfort, **2021**. 140 p. (*in Russian*).

Open-air museum. Strategy for preserving sculpture in the urban environment. Ed by V. V. Alexandrova, M. A. Bakhareva, I. P. Belyaeva. Saint Petersburg: Znak, **2018**. 140 p. (*in Russian*).

Schuth S., Gornyy V. I., Berndt J., Shevchenko S. S., Sergeev S. A., Karpuzov A. F., Mansfeldt T. Early Proterozoic U-Pb zircon ages from basement gneiss at the Solovetsky Archipelago, White Sea, Russia. *Int. Journal of Geosci.* **2012**. Vol. 3. N 2. P. 289—296.

Stacey S., Kramers J. D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth Planet. Sci. Lett.* **1975**. Vol. 26. P. 207—221.

Wetherill G. W. Discordant uranium-lead ages. *Trans. Amer. Geophys. Union*. **1956**. Vol. 37. p. 320—326.

Wiedenbeck M., Allé P., Corfu F., Griffin W. L., Meier M., Oberli F., Von Quadt A., Roddick J. C., Spiegel W. Three Natural Zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses. *Geo-standards Newsletter*. **1995**. Vol. 19. P. 1—23.

Williams I. S. U-Th-Pb Geochronology by Ion Microprobe. In: McKibben M. A., Shanks III W. C. and Ridley W. I. (eds.), Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes. *Rev. Econ. Geol.* **1998**. Vol. 7. P. 1—35.