



MAGMATITES OF THE KASTEL MOUNTAIN AS A LOCAL SOURCE OF DETRITAL ZIRCONS FOR THE DEMERDZHI FORMATION (SOUTHERN DEMERDZHI MOUNTAIN), MOUNTAINOUS CRIMEA

T.V. Romanyuk ¹, N.B. Kuznetsov ², A.S. Novikova ², I.V. Latysheva ², I.V. Fedyukin ¹,
A.S. Dubenskiy ², K.G. Erofeeva ², V.S. Sheshukov ²

¹ Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, 10-1 Bolshaya Gruzinskaya St, Moscow 123242, Russia

² Geological Institute, Russian Academy of Sciences, 7-1 Pyzhevsky Ln, Moscow 119017, Russia

ABSTRACT. The paper presents the first results of U-Pb LA-ICP-MS isotope dating (GIN RAS) of accessory zircon from magmatites of the Kastel Mountain and detrital zircons from the sandy matrix of conglomerates of the lower subformation of the Demerdzhi formation (vicinity of the Southern Demerdzhi Mountain). The three age estimates – ($\pm 1\sigma$) – 147 ± 1 , 156 ± 1 and 167 ± 1 Ma, – obtained for granitoids of the Kastel intrusive, are consistent with the concept of its long-term and multi-stage magmatic evolution. The age of 167 ± 1 Ma coincides with the final stages of the episode of bimodal magmatism widespread throughout the Mountainous Crimea from the Cape Fiolent to the Karadag. The intrusion of the first portions of basic magma near this time boundary had initiated the Kastel intrusion formation. The fractionation of basic magma during the second stage about 156 ± 1 Ma gave rise to the formation of silicic melts from which the plagiogranites, comprising most of Kastel intrusive, were crystallized. About 147 ± 1 Ma, the residual portions of silicic melts as small aplite veins intervened in the main volume of the intrusive and the adjacent host rocks.

A comparison was made of the currently known ages of magmatites and detrital zircons from sandy rocks of some of the Triassic-Jurassic sedimentary strata of the Mountainous Crimes in order to clarify the source areas of the materials constituting the stratified rocks. It was shown that the magmatites of Kastel Mountain were a local source for the Demerdzhi formation.

KEYWORDS: Mountainous Crimea; Cimmerides; magmatites; Kastel intrusive; Demerdzhi formation; zircon; U-Pb age; Jurassic; paleogeography

FUNDING: The study was supported by the RSF (grant 23-27-00409, project manager T.V. Romanyuk).



REVIEW

Correspondence: Tatiana V. Romanyuk, t.romanyuk@mail.ru

Received: August 7, 2024

Revised: September 27, 2024

Accepted: October 14, 2024

FOR CITATION: Romanyuk T.V., Kuznetsov N.B., Novikova A.S., Latysheva I.V., Fedyukin I.V., Dubenskiy A.S., Erofeeva K.G., Sheshukov V.S., 2024. Magmatites of the Kastel Mountain as a Local Source of Detrital Zircons for the Demerdzhi Formation (Southern Demerdzhi Mountain), Mountainous Crimea. *Geodynamics & Tectonophysics* 15 (6), 0794. doi:10.5800/GT-2024-15-6-0794

МАГМАТИТЫ ГОРЫ КАСТЕЛЬ – ЛОКАЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК ДЕТРИТОВОГО ЦИРКОНА ДЛЯ ДЕМЕРДЖИЙСКОЙ СВИТЫ (г. ЮЖНАЯ ДЕМЕРДЖИ) ГОРНОГО КРЫМА

Т.В. Романюк¹, Н.Б. Кузнецов², А.С. Новикова², И.В. Латышева², И.В. Федюкин¹,
А.С. Дубенский², К.Г. Ерофеева², В.С. Шешуков²

¹ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 123242, Москва, ул. Большая Грузинская, 10, стр. 1, Россия

² Геологический институт РАН, 119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 1, Россия

АННОТАЦИЯ. Представлены первые результаты U-Pb изотопного датирования (LA-ICP-MS, ГИН РАН) акцессорного циркона из магматитов г. Кафель и детритового циркона из песчаного матрикса конгломератов нижней подсвиты демерджийской свиты (окрестности г. Южная Демерджи). Полученные три возраста ($\pm 1\sigma$) – 147 ± 1 , 156 ± 1 и 167 ± 1 млн лет – для гранитоидов Кафельского интрузива согласуются с представлениями о его длительной и многоэтапной магматической эволюции. Возраст 167 ± 1 млн лет совпадает с заключительными стадиями широко проявленного по всему Горному Крыму от м. Фиолент до Карадага эпизода бимодального магматизма. Внедрение первых порций базитовой магмы около этого временного рубежа положило начало формированию Кафельского интрузива. Во время второго этапа в результате фракционирования основной магмы около рубежа 156 ± 1 млн лет происходило формирование кремнекислых расплавов, из которых были кристаллизованы плагиограниты, слагающие основной объем интрузива. Около рубежа 147 ± 1 млн лет остаточные порции кремнекислых расплавов внедрились в основной объем интрузива и близко расположенные вмещающие породы в виде малообъемных аплитовых жил.

Выполнено сопоставление известных на сегодняшний день датировок магматитов и зерен детритового циркона из песчаных пород некоторых триас-юрских осадочных толщ Горного Крыма с целью уточнения источников сноса материала, слагающего породы этих толщ. Показано, что магматиты г. Кафель были локальным источником для демерджийской свиты.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Горный Крым; киммериды; магматиты; Кафельский интрузив; демерджийская свита; циркон; U-Pb возраст; юра; палеогеография

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФ (грант №23-27-00409, рук. Т.В. Романюк).

1. ВВЕДЕНИЕ

Строение киммерийского структурного комплекса Горного Крыма. Геологическое строение п-ова Крым охарактеризовано в большом количестве публикаций (см. обзорные работы [Mazarovich, Mileev, 1989; Nikishin et al., 2006, 2017, 2020a; Mileev et al., 1995, 2006, 2009; Yudin, 2011; Okay, Nikishin, 2015; State Geological Map..., 2019] и ссылки в данных работах). В Крыму выделяют два тектонических подразделения наиболее крупного ранга: Степной Крым и Горный Крым. Степной Крым – это фрагмент эпигерцинской Скифской плиты, а Горный Крым – это киммерийская складчатая область, вовлеченная в синальпийское горообразование. В пределах Горного Крыма отчетливо обособлены три орографически различных района, называемые Первая, Вторая и Третья гряды (рис. 1).

В геологическом строении Горного Крыма выделяют два структурно-тектонических этажа: нижний (киммерийский), представленный складчатым комплексом, – киммерийский фундамент, и верхний (синальпийский), представляющий собой эпикиммерийский чехол.

Киммерийский структурный комплекс Горного Крыма представлен неравномерно деформированными и дислоцированными осадочными, реже – вулканоген-

но-осадочными и вулканическими толщами, относящимися к стратиграфическому интервалу от верхов триаса до верхов юры, а возможно, и самых низов нижнего мела. Этот структурный комплекс был сформирован в ходе нескольких деформационных этапов, в результате которых образовались разнообразие складчатые и покровно-надвиговые структуры. Киммерийский структурный комплекс хорошо обнажен в пределах Первой гряды Горного Крыма и образует структурное основание моноклинали Второй гряды Горного Крыма, сложенной синальпийским структурным комплексом. Синальпийский структурный комплекс состоит из залегающих моноклиналино меловых и кайнозойских толщ. Ими сложены верхние элементы структуры Второй гряды и Третья гряда Крымских гор.

В разрезе киммерийского складчатого комплекса Горного Крыма выделяют пять серий: эскиординскую, таврическую, карадагскую, судакскую и яйлинскую [Mileev et al., 2006]). Серии, как правило, имеют тектонические взаимоотношения. Образования эскиординской и таврической серий считают практически одновозрастными [Panov et al., 2001; Nikishin et al., 2020b], в то время как прочие серии в сводном стратиграфическом разрезе киммерийского комплекса Горного Крыма «надстраивают» друг друга.

В тектоническом отношении в киммерийском структурном комплексе Горного Крыма выделяют две структурные зоны, имеющие различное строение: Горно-Крымскую и Лозовскую [Slavin, 1989; Panov, 2002; Mileev et al., 2006]. Последнюю из них в некоторых работах

называют зоной смятия [Mileev et al., 1997] или зоной Симферопольского меланжа [Yudin, 1993].

Магматиты киммерийского структурного комплекса Горного Крыма. В Горном Крыму магматические проявления, приуроченные к киммерийскому

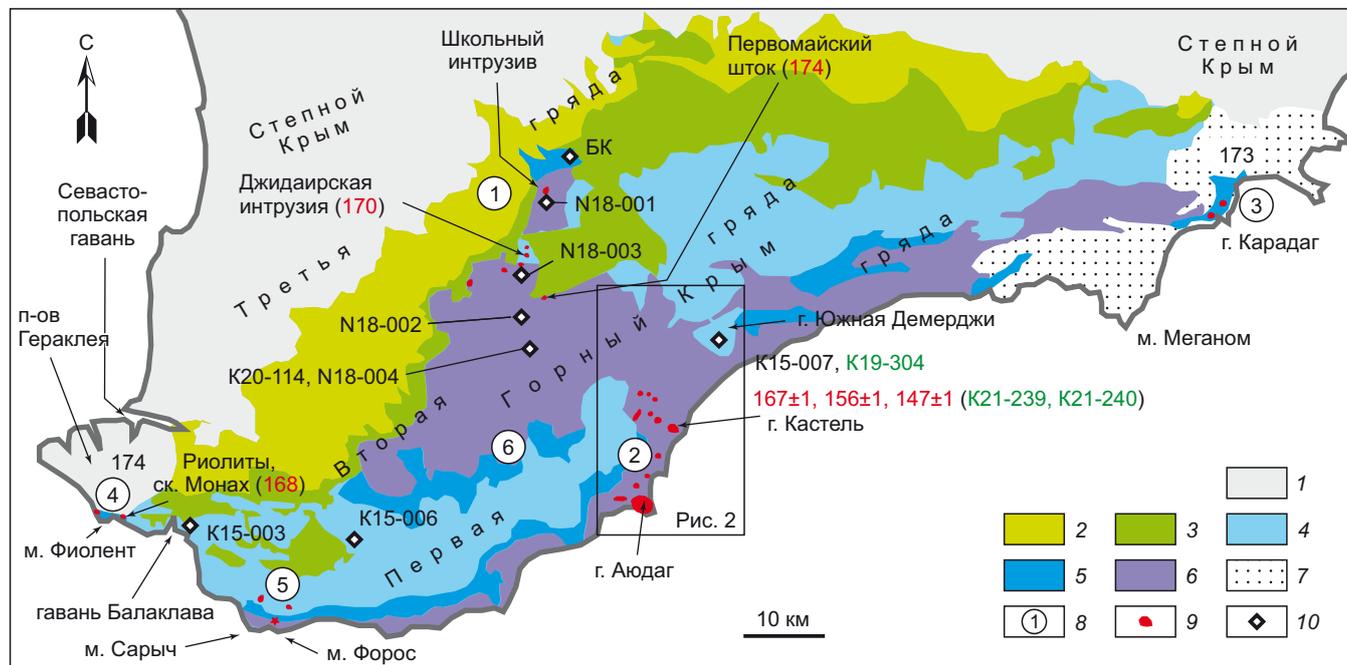


Рис. 1. Геологическая схема Горного Крыма (по [Kuznetsov et al., 2024], с упрощениями, добавлениями). 1–3 – синальпийский структурный комплекс: 1 – верхнекайнозойские толщи осадочных терригенно-глинисто-карбонатных пород, слагающие Третью грядку Крымских гор и верхние части разреза регионов Скифской плиты, попадающие в пределы Степного Крыма, 2 – верхнемеловые и нижнекайнозойские толщи осадочных глинисто-карбонатных и карбонатных пород, слагающие верхние части разреза Второй грядки Крымских гор, 3 – нижнемеловые толщи осадочных терригенных пород, слагающие нижние части разреза Второй грядки Крымских гор; 4–6 – киммерийский структурный комплекс: 4 – верхнеюрские (верхнеюрско-бериасские) толщи карбонатных, карбонатно-обломочных и терригенных грубообломочных (конгломератов) пород, слагающие вершинные платообразные части Первой грядки Крымских гор, 5 – среднеюрские толщи вулканогенных, вулканогенно-осадочных, терригенных (конгломераты, песчаники) пород и угленосные толщи, слагающие склоны Первой грядки Крымских гор, 6 – верхнетриасово-нижнеюрские флишевые толщи – таврическая и эскиординская серии, слагающие структурное основание Первой и Второй гряд Крымских гор; 7 – карбонатно-глинисто-терригенные толщи, охватывающие стратиграфический интервал келловей – неоген, развитые на востоке Крымских гор; 8 – магматические ареалы (1 – «Бодрак-Первомайский», 2 – «Аюдаг-Кастель», 3 – «Кардаг», 4 – «Фиолент-Гераклея», 5 – «Сарыч-Форос-Олива», 6 – «Верхняя Кача»); 9 – магматиты (для некоторых объектов цифрами дан возраст в млн лет, красный шрифт – U-Pb датирование, черный шрифт – Ar-Ar или K-Ar датирование); 10 – положение мест отбора проб песчаников из юрских толщ киммерийского структурного комплекса Горного Крыма, для которых на сегодняшний день известны результаты датирования зерен детритового циркона. Зеленый цвет – номера проб, представленных в настоящей работе. Рамка с надписью «Рис. 2» – положение геологической схемы, показанной на рис. 2.

Fig. 1. Geological scheme of the Mountainous Crimea (simplified and supplemented after [Kuznetsov et al., 2024]). 1–3 – synalpine structural complex: 1 – Upper Cenozoic terrigenous-clayey-carbonate sedimentary rock units comprising the Third ridge of Crimean Mountains and upper sections of the Scythian Plate regions falling within the Steppe Crimea, 2 – Upper Cretaceous and Low Cenozoic clayey-carbonate and carbonate sedimentary rock units comprising the upper sections of the Second ridge of the Crimean Mountains, 3 – Low Cretaceous terrigenous sedimentary rock units comprising the lower sections of the Second ridge of the Crimean Mountains; 4–6 – Cimmerian structural complex: 4 – Upper Jurassic (Upper Jurassic – Berriassian) carbonate, detrital-carbonate and terrigenous clastic (conglomerates) rock units comprising the summit plateau-shaped parts of the First ridge of Crimean Mountains, 5 – Middle Jurassic volcanogenic, volcanogenic-sedimentary, terrigenous (conglomerates, sandstones) and coal-bearing rock units comprising the slopes of the First ridge of the Crimean mountains, 6 – Upper Triassic – Lower Jurassic flysch units – Tauric and Eski-Orda series, comprising the structural basements of the First and Second ridges of the Crimean Mountains; 7 – Callovian – Neogene carbonaceous-clayey-terrigenous units occurring in the east of Crimean Mountains; 8 – magmatic areas (1 – "Bodrak-Pervomaisky", 2 – "Ayudag-Kastel", 3 – "Karadag", 4 – "Fiolent-Gerakleya", 5 – "Sarych-Foros-Oliva", 6 – "Verkhnyaya Kacha"); 9 – magmatites (the figures indicate ages (Ma) of some of the objects, red font – U-Pb dating, black font – Ar-Ar or K-Ar dating); 10 – sample location referring to where sandstone samples were taken from the Jurassic sequences of the Cimmerian structural complex of the Mountainous Crimea for which the results of detrital zircon dating are now available. The green highlights the numbers of samples considered herein. Inscription frame "Рис. 2" is a scheme of the geological location shown in Fig. 2.

складчатому комплексу, сосредоточены по меньшей мере в шести ареалах – «Фиолент-Гераклея», «Бодрак-Первомайский», «Карадаг», «Аюдаг-Кастель», «Сарыч-Форос-Олива» и «Верхняя Кача» (рис. 1) [Muratov, 1969; Spiridonov et al., 1990; Yudin, 2003; Kuznetsov et al., 2022b]. До недавнего времени возраст магматитов в Горном Крыму был обоснован преимущественно полевыми (в т.ч. в отдельных случаях биостратиграфическими) методами и очень ненадежными геохронологическими данными (результаты K/Ar или Ar/Ar изотопного датирования). Активное развитие методов U-Pb датирования циркона (в модификациях SIMS, SHRIMP, LA-ICP-MS и др.) привело к тому, что в последнее десятилетие стали появляться высокоточные оценки изотопного возраста магматитов Горного Крыма. Их краткая сводка вместе с некоторыми устаревшими геохронологическими данными и выборочной другой информацией по магматическим ареалам Горного Крыма приведена ниже.

1. **«Фиолент-Гераклея».** Апоперидотитовые серпентиниты, габброиды, базальты, долериты и плагиоориолиты, обнаженные в береговых скалах в районе мыса Фиолент [Demina et al., 2015, 2017; Promyslova et al., 2014, 2016, 2017], а также вскрытые скважинами на Гераклейском плато [Shnyukova, 2016]. Для плагиоориолитов скалы Монах района мыса Фиолент получена конкордантная возрастная оценка – 168.3 ± 1.3 млн лет (U-Pb изотопное датирование, 20 анализов, выполненных по 20 кристаллам циркона, SHRIMP-II, ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург) [Kuznetsov et al., 2022b]. В настоящее время это самая надежная в методическом и метрологическом смысле геохронологическая датировка магматических образований Крыма. С плагиоориолитами скалы Монах района мыса Фиолент пространственно, а скорее всего и парагенетически, связаны околорудные (мыс Виноградный) и рудные (плато Гераклея на одноименном полуострове) колчеданные образования, а также подушечные базальты, габброиды и серпентинизированные гипербазиты, объединяемые в офиолитовую ассоциацию мыса Фиолент. Полученная датировка – это верхнее возрастное ограничение времени формирования всей офиолитовой ассоциации мыса Фиолент.

2. **«Бодрак-Первомайский».** Среднеюрская толща вулканогенно-осадочных пород, распространенных в окрестностях с. Трудолюбовка (включая Первомайский шток и Джидайскую интрузию), и пространственно тяготеющие к полям развития пород этой толщи мелкие тела габброидов, диабазов, габбро-диабазов, долеритов, габбро-диоритов и микродиоритов [Nikitin, Bolotov, 2006; Nikitin et al., 2006]. Возраст (SHRIMP-II, U-Pb изотопные датировки по циркону) долеритов Первомайского штока по 16 кристаллам циркона составил 174.2 ± 1.2 млн лет, габбро-долеритов Джидайской интрузии по 9 кристаллам циркона – 169.7 ± 1.5 млн лет, порфировых лейкократовых базальтов из силлоподобного тела, расположенного к востоку от с. Трудолюбовка, по пяти кристаллам циркона – 144.2 ± 2.0 млн

лет. Базальтоиды еще для двух тел (по двум и одному кристаллу циркона – статистически ненадежные данные) 136 и 125 млн лет [Morozova et al., 2017].

3. **«Карадаг».** Базальты, андезиты и дациты, слагающие часть горного массива Карадаг, включающего две вулканические постройки – Хоба-Тепе и Святая Гора. В работе [Meijers et al., 2010] были представлены результаты Ar/Ar изотопного датирования нескольких образцов из магматитов ареала «Карадаг», которые показали возраст 142–151 млн лет. Недавно для вулкаников Карадага получен Ar/Ar изотопный возраст 172.8 ± 4.5 млн лет [Popov et al., 2019], который существенно отличается от полученных ранее оценок [Meijers et al., 2010].

4. **«Аюдаг-Кастель».** Массивы габброидов и гранитоидов, слагающих крупные интрузивы Аюдаг, Кастель, Урага, Чамны-Бурун и ассоциированные с ними меньшие интрузивные тела (Плака, Малый Маяк, Верблюд, Шарха, Сераус, Ай-Йори, Партенит) и множество мелких безымянных магматических тел, входящих в этот ареал (рис. 2), по регионально-геологическим данным принято считать бат-байоскими [Spiridonov et al., 1990; и мн. др.].

Современных U-Pb датировок по циркону для магматитов этого ареала до нашей работы не было. Устаревшие, не удовлетворяющие современным требованиям оценки возраста пород по валовым пробам K/Ar методом для нескольких массивов (Кастель, Шарха, Урага, Сераус, Ай-Йори) показали очень широкий разброс значений: от позднего триаса до позднего мела (см. обзор в работе [Yudin, 2012]). Так, например, возраст пород массива Шарха в работе [Geological Map..., 1984] оценен в 158 ± 8 млн лет, а в работе [Shnyukov et al., 1997] – ~ 185 млн лет (монофракция плагиоклаза). Возраст плагиогранит-порфиров Кастельского интрузива был оценен как 170 ± 6 млн лет [Bagdasaryan, Lebedinsky, 1967].

5. **«Сарыч-Форос-Олива».** Долериты, андезибазальтовые порфириты и дациты, слагающие субвулканические тела, гипабиссальные штоки и силлы, пространственно и, по-видимому, парагенетически ассоциирующие со среднеюрскими туфоогенно-осадочными толщами, распространенными в западной части южного берега Крыма – в полосе от дачи Тессели на западе, через район Фороса до пос. Олива (бывшая Мухалатка) на востоке. К этому же ареалу, очевидно, следует относить также магматические образования, установленные на дне Черного моря в 44 км к югу от Балаклавской бухты (Форосский выступ). С Форосского выступа во время экспедиций НИС «Профессор Водяницкий» и «Владимир Паршин» с глубины 1240, 1606 и 1757 м были драгированы дациты, для которых получена оценка K/Ar изотопного возраста ~ 197 млн лет [Shnyukova, 2016]. Прямых геохронологических оценок возраста магматитов наземной части ареала «Сарыч-Форос-Олива» до сих пор не опубликовано. Фактически общепринято считать их среднеюрскими [Muratov, 1969; Lebedinsky, Solovyov, 1988].

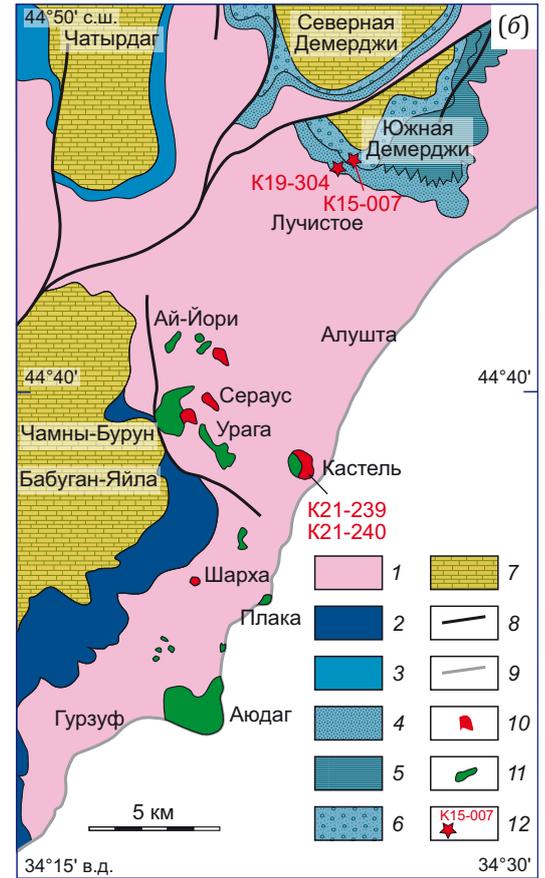


Рис. 2. Вид на г. Кабель (а) и геологическая схема фрагмента южного побережья Крыма (б).

За основу схемы взят фрагмент карты [Geological Map..., 1968] и использованы собственные полевые наблюдения авторов. 1 – верхний триас – нижняя юра, таврическая серия, терригенно-глинистый флиш; 2 – байосский ярус, туфогенно-терригенно-глинистый флиш; 3–6 – верхняя юра, демерджийская свита: 3 – демерджийская свита, не расчлененная на подсвиты, 4–5 – нижнедемерджийская подсвита: 4 – конгломераты, 5 – песчаники, 6 – верхнедемерджийская подсвита, конгломераты и песчаники; 7 – верхняя юра – нижний(?) мел, яйлинская серия, известняки; 8 – разломы; 9 – береговая линия; 10–11 – интрузивные тела, сложенные породами кремнекислого (10) и основного (11) состава; 12 – места отбора проб и номер пробы.

Fig. 2. A view of the Kastel Mountain (a) and a geological scheme of the fragment of the south coast of the Crimea (b).

The scheme is based on the map fragment [Geological Map..., 1968] and the authors' field observations. 1 – Upper Triassic – Lower Jurassic, Tauric series, terrigenous-clayey flysch; 2 – Bajocian stage, tuffogenous-terrigenous-clayey flysch; 3–6 – Upper Jurassic, Demerdzhi formation: 3 – Demerdzhi formation undissected into subformations, 4–5 – Lower Demerdzhi subformation: 4 – conglomerates, 5 – sandstones, 6 – Upper Demerdzhi subformation, conglomerates and sandstones; 7 – Upper Jurassic – Lower (?) Cretaceous, Yaila series, limestones; 8 – faults; 9 – coastline; 10–11 – intrusive bodies composed of siliceous (10) and mafic (11) rocks; 12 – sampling sites and sample numbers.

6. «Верхняя Кача». Магматические породы, залегающие среди осадочных пород, отнесенных к таврической серии, вскрытые бурением на нескольких интервалах вертикальной мощностью от 50 до 150 м в центральной части Качинского поднятия. Самые общие сведения об этих магматитах со ссылками на результаты крупномасштабных геолого-съёмочных работ В.И. Иванова и Б.И. Чайковского приведены в статьях [Lysenko, 2019a, 2019b]. Там же высказано предположение о поздне триасовом возрасте этих магматических образований.

Таким образом, только для трех магматических объектов Горного Крыма – для Первомайского штока, Джидайрской интрузии и плагиориолитов скалы Монах – к моменту написания настоящей статьи были известны надежные U-Pb датировки по сингенетичному акцессорному циркону.

Обзор стратиграфических образований Горного Крыма, охарактеризованных U-Pb датированием зерен детритового циркона. К настоящему времени уже опубликованы результаты U-Pb датирования зерен детритового циркона (dZr) из некоторых стратиграфических образований Горного Крыма, которые

обеспечили информацию о первичных источниках сноса для песчаных пород изученных осадочных толщ (см. рис. 1). Так, в работе [Nikishin et al., 2017] представлены суммарные результаты U-Pb датирования dZr из набора проб песчаников, попадающих в стратиграфический интервал от средней юры до неогена. В работах [Nikishin et al., 2016; Rud'ko et al., 2018, 2019; Kuznetsov et al., 2019; Romanyuk et al., 2020] приведены результаты изучения dZr из песчаников средне- и верхнеюрских грубообломочных толщ, в работе [Kuznetsov et al., 2024] – для среднеюрских песчаников ченкской толщи. В работах [Nikishin et al., 2020b; Kuznetsov et al., 2022a] представлены результаты U-Pb изотопного датирования детритового циркона, характеризующие песчаники из таврической и эскиординской серий.

Прямые геохронологические исследования магматитов, представленных на современном эрозионном срезе, и изучение провенанс-сигналов разновозрастных осадочных толщ в одном и том же регионе дополняют друг друга. Их сопоставление позволяет тестировать положение источников сноса, а также палеогеографические и палеотектонические реконструкции для

различных временных рубежей. В некоторых случаях результаты U-Pb изотопного датирования зерен dZr могут с высокой вероятностью определить магматические комплексы, которые были (или могли быть) непосредственными локальными источниками для пород изученной толщи.

В настоящей статье представлены первые результаты U-Pb изотопного датирования акцессорного циркона из магматитов г. Капель и зерен dZr из нижней подбиты демерджийской свиты (юго-западный склон г. Южная Демерджи). Выполнено сопоставление имеющих на сегодняшний день датировок магматитов и результатов датирования зерен dZr из некоторых триас-юрских осадочных толщ Горного Крыма с целью уточнения источников сноса и тестирования палеогеографических реконструкций в Крымском регионе в конце мезозоя.

2. ИНТРУЗИВ ГОРЫ КАДЕЛЬ

Интрузив горы Капель (Капельский интрузив) – это одно из относительно крупных магматических тел, выведенных на современный эрозионный срез в пределах магматического ареала «Аюдаг-Капель» (см. рис. 1; рис. 2). Массив Капель имеет в плане овальное очертание (вытянут в близмеридиональном направлении) и размер около 800×400 м [State Geological Map..., 2008; Yudin, 2012; Routes..., 2021]. Интрузив внедрен в сложно дислоцированную флишевую таврическую серию и слабо тектонизирован.

Геодинамическая природа (в частности, аллохтонное или автохтонное положение?) Капельского интрузива до сих пор дискуссионна. Имеющиеся геологические ограничения по результатам изучения контактовых зон массива с вмещающими породами и корреляций интрузива с другими магматическими телами (как близко, так и далеко расположенными) различного морфологического типа и генетической природы (дайки, жилы, штоки, потоки и покровы подушечных базальтов и андезибазальтов и др.) во многом субъективны, разные исследователи их часто оспаривают и допускают кардинально различные толкования (см., например, обзор в работе [Yudin, 2012]). В противоположность этому, по результатам многолетнего геохимического и петрологического изучения пород интрузива достигнут определенный консенсус в понимании его состава и этапов становления [Spiridonov et al., 1990, 2022; Nikitin, Bolotov, 2006; Nikitin et al., 2006; Spiridonov, 2021; Spiridonov, Putintseva, 2021; и ссылки в данных работах]. Нет сомнений в том, что наиболее распространенные породы в интрузиве – это плагиограниты. Кроме того, в его строении участвуют также кварцевые диориты и небольшие (размером до 15 см) включения габброидов (габбро-диоритов), интерпретируемые как «не до конца преобразованные участки пород основного состава» [Routes..., 2021]. В районе бывшей мастерской по распиловке и полировке камня, расположенной у южного склона г. Капель, можно наблюдать редкие дайко- и жилородные тела аплитов.

Плагиограниты – порфировидные кристаллические породы гипабиссального интрузивного облика, светло-розового и светло-серого цвета. Кварцевые диориты – более темная серо-зеленая порода, иногда с пятнистой текстурой. Отчетливо видно, что в этих породах содержится больше темноцветных минералов, все они вторично изменены (хлоритизированы). Текстура мелкокристаллическая (типичный размер кристаллов не превышает 1–2 мм), иногда порфировидная. Габброиды – темно-серые, иногда почти черные породы, с очень мелкими белыми кристаллами (типичный размер кристаллов менее 1 мм) плагиоклаза. Габброиды слагают включения среди кварцевых диоритов. Включения габброидов имеют округлые очертания. Границы включений с вмещающими кварцевыми диоритами довольно резкие, часто подчеркнуты светлой каемкой, обогащенной кристаллами плагиоклазов. Такие каемки могут быть одним из признаков смешения магм разного состава. Аплиты и аплитовидные породы – породы светло-розового или светло-серого цвета, мелкокристаллические, массивного облика, слагают редкие дайко- и жилородные тела.

Наличие нескольких разновидностей пород, в том числе габброидов в виде включений и аплитовых дайко- и жилородных тел в интрузиве, доказывает неоднозначную историю его формирования. Специфической особенностью химического состава плагиогранитов интрузива г. Капель, позволяющей классифицировать их как фаялитовые плагиограниты, является повышенное содержание Fe и Mn в составе оливина, Na и K – в составе плагиоклаза, Mn – в составе ильменита, Hf – в составе циркона, Th – в составе монацита [Spiridonov, 2021; Spiridonov, Putintseva, 2021].

Результаты минералогического изучения плагиогранитоидов интрузивного массива г. Капель показывают, что для этих пород характерны «... обильные акцессорные – циркон, монацит, ксенотим» [Spiridonov, Putintseva, 2021, с. 98]. Авторы процитированной работы связывают обогащение этими компонентами плагиогранитов, а также участвующих в их сложении минералов с процессом кристаллизационной дифференциации. Это в полной мере соответствует представлениям о едином длительно существующем очаге магмы основного состава, «питающем» Капельский интрузив.

Из интрузива г. Капель нами было отобрано две пробы (K21-239 и K21-240) для выделения кристаллов акцессорного циркона с целью их последующего изучения и U-Pb изотопного датирования. Обе пробы отобраны на южном склоне г. Капель вблизи от бывшей мастерской по распиловке и полировке камня для декоративных целей: проба K21-239 – из массивных плагиогранитов (координаты 44°38'8.53" с.ш., 34°22'59.91" в.д.), проба K21-240 – из жилы аплитов (координаты 44°38'2.44" с.ш., 34°23'6.49" в.д.).

Проведенное нами геохимическое изучение гранитоидов интрузива г. Капель (табл. 1) показало, что содержание циркония в них более 150 г/т, что фактически

Таблица 1. Результаты количественного химического анализа магматитов (плагииграниты – проба K21-239, аплиты – проба K21-240) г. Кагель, Горный Крым

Table 1. Results of quantitative chemical analysis of magmatites (plagiogranites – sample K21-239, aplite – sample K21-240) of the Kastel Mountain, Mountainous Crimea

Петрогенные оксиды	K21-239	K21-240	Элементы-примеси	K21-239	K21-240	Элементы-примеси	K21-239	K21-240	Элементы-примеси	K21-239	K21-240
SiO ₂	69.58	68.68	Li	17.8	14.5	Nb	2.8	2.8	Tb	0.86	0.85
TiO ₂	0.14	0.15	Be	1.01	1.04	Mo	3.1	2.1	Dy	5.5	5.5
Al ₂ O ₃	15.12	15.39	Sc	7.6	7.2	Sn	1.34	1.22	Ho	1.20	1.19
Fe ₂ O ₃	1.38	2.35	V	4.3	4.4	Sb	0.091	0.12	Er	3.7	3.5
FeO	1.91	1.14	Cr	26	26	Cs	0.97	1.46	Tm	0.58	0.56
MnO	0.10	0.10	Co	1.27	1.30	Ba	206	162	Yb	3.8	3.7
MgO	0.28	0.27	Ni	2.7	3.1	La	14.9	14.3	Lu	0.63	0.62
CaO	2.42	2.78	Cu	7.2	6.4	Ce	35	32	Hf	4.2	4.2
Na ₂ O	4.48	4.40	Ga	16.5	15.9	Pr	4.3	4.3	W	0.53	0.53
K ₂ O	1.26	1.13	Rb	38	39	Nd	18.0	17.8	Tl	0.22	0.20
P ₂ O ₅	0.06	0.06	Sr	111	127	Sm	4.6	4.6	Pb	6.7	5.7
п.п.п	3.06	3.43	Y	33	32	Eu	1.22	1.19	Th	4.8	4.4
Сумма	99.79	99.88	Zr	152	155	Gd	5.0	5.2	U	1.02	0.92
									Ta	0.32	0.21

Примечание. Анализы выполнены в ЦКП ГИН РАН (лаборатория химико-аналитических исследований, аналитик О.И. Окينا). Погрешность результатов анализа не превышает нормативов по ОСТ 41-08-212-04. Содержания окислов (в %) определены методом рентгенофлуоресцентного анализа, содержания элементов-примесей (в мкг/г) – методом ICP-MS.

Note. The analyses were made at the SRF GIN RAS (Laboratory of Physical and Analytical Methods of Study, analyst O.I. Fokina). The error of the analysis results does not exceed OST 41-08-212-04. The oxide contents (%) were determined by X-ray fluorescence analysis, the accompanying-element contents (µg/g) – by the ICP-MS method.

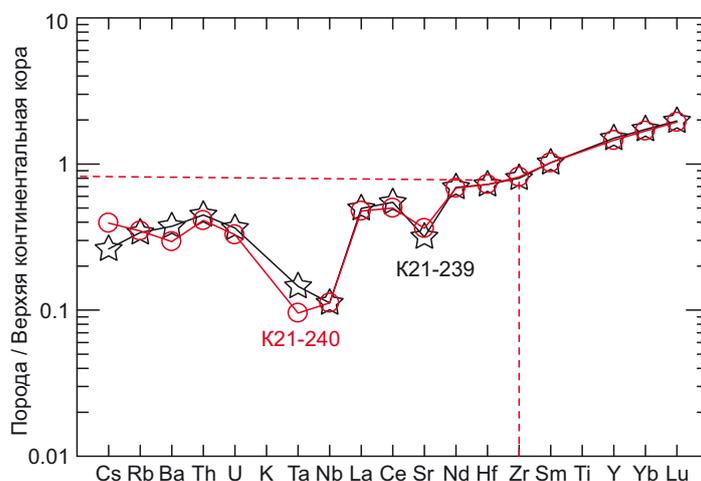


Рис. 3. Диаграмма нормированных к усредненной верхней континентальной коре (по [Taylor, McLennan, 1985]) содержаний элементов-примесей в магматитах г. Кагель, Горный Крым (плагииграниты – проба K21-239, аплиты – проба K21-240).

Fig. 3. Diagram of the average upper continental crust-normalized (after [Taylor, McLennan, 1985]) accompanying-element contents of magmatites of the Kastel Mountain, Mountainous Crimea (plagiogranites – sample K21-239, applites – sample K21-240).

соответствует содержанию этого элемента в усредненной верхней континентальной коре (рис. 3).

3. ДЕМЕРДЖИЙСКАЯ СВИТА

В 13 км к северу от г. Кагель, сложенной породами одноименного интрузива, расположена г. Южная Демерджи, у южного подножья которой расположен пос. Лучистое (см. рис. 2). На южном, юго-западном и

западном склонах г. Южная Демерджи широко развиты конгломераты. Толща этих конгломератов выделена как верхнеюрская демерджийская свита и многократно изучена [Chernov, 1971; Slavina, 1989; Baraboshkin, Piskunov, 2010; Piskunov et al., 2012; Rud'ko, 2014; Rud'ko et al., 2018, 2019; Kuznetsov et al., 2019]. Демерджийскую свиту включают в сводный стратиграфический разрез судакской серии (рис. 4).

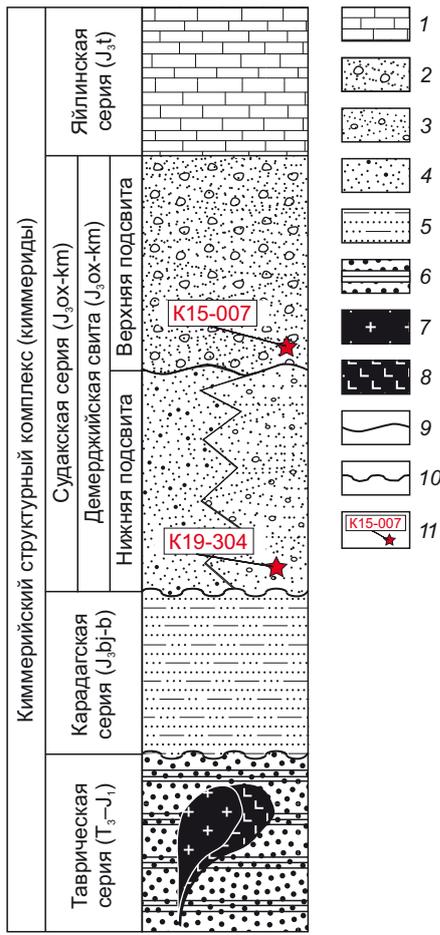


Рис. 4. Стратиграфическая колонка района плато Демерджи, Чатырдаг и Бабуган-Яйла, Горный Крым (основа по [Rud'ko et al., 2019], с добавлениями).

1 – известняки; 2 – полимиктовые конгломераты с прослоями полимиктовых песчаников и карбонатных конглобрекций; 3 – грязно-лиловые валунно-галечные полимиктовые конгломераты с прослоями полимиктовых песчаников с карбонатно-глинистым цементом; 4 – песчаники; 5 – туфогенно-терригенно-глинистый флиш; 6 – терригенно-глинистый флиш; 7–8 – гипабиссальные интрузии и субвулканические тела кремнекислого (7) и среднесоснового (8) состава; 9–10 – несогласия: 9 – эрозионное (конседиментационное угловое несогласие между нижней и верхней подсвитой демерджийской свиты), 10 – структурное; 11 – приблизительное стратиграфическое положение проб на детритовый циркон (K15-007, по [Rud'ko et al., 2019]; K19-304 – настоящая работа).

Fig. 4. Stratigraphic column of the Demerdzhi, Chatyrdag and Babugan-Yaila plateaus area, Mountainous Crimea (supplemented after [Rud'ko et al., 2019]).

1 – limestones; 2 – polymictic conglomerates interlayered with polymictic sandstones and carbonate conglobreccias; 3 – mud-purple boulder-pebble polymictic conglomerates interlayered with polymictic carbonate-clay-cemented sandstones; 4 – sandstones; 5 – tuffogenous-terrigenous-clayey flysch; 6 – terrigenous-clayey flysch; 7–8 – siliceous (7) and intermediate-mafic (8) hypabissal intrusions and subvolcanic bodies; 9–10 – unconformities: 9 – erosional (consedimentary angular unconformity between the upper and lower subformations of the Demerdzhi formation), 10 – structural; 11 – approximate stratigraphic location of the detrital zircon samples (K15-007, after [Rud'ko et al., 2019]; K19-304 – present paper).

Грубообломочные образования демерджийской свиты в типовом разрезе на юго-западном склоне г. Южная Демерджи расчленены на нижнюю и верхнюю подсвиту, детали описаны в работах [Baraboshkin, Piskunov, 2010; Piskunov et al., 2012; Rud'ko, 2014; Rud'ko et al., 2018, 2019]. Нижняя подсвита сложена грязно-лиловыми валунно-галечными полимиктовыми конгломератами с прослоями полимиктовых песчаников с карбонатно-глинистым цементом. Слоистость внутри подсвиты наклонена на запад, северо-запад и прилегает к выровненной эрозионной поверхности интенсивно деформированных пород таврической серии. На конгломератах и песчаниках нижнедемерджийской подсвиты залегают серые, в основном менее грубые полимиктовые конгломераты с прослоями полимиктовых песчаников и карбонатных конглобрекций верхнедемерджийской подсвиты. Слои в разрезе этой подсвиты полого падают на восток под незначительными углами, что, возможно, отражает их первичное негоризонтальное (наклонное) залегание или незначительный тектонический наклон всего разреза г. Южная Демерджи.

Нижняя и верхняя подсвита контактируют по резкой хорошо дешифрируемой эрозионной границе, отражающей конседиментационное угловое несогласие (рис. 5). Это несогласие обусловлено клиноформным строением двух последовательно сформированных не-

сколько разнонаправленных проградационных дельтовых конусов [Baraboshkin, Piskunov, 2010; Piskunov et al., 2012; Rud'ko, 2014], что типично для седиментационных структур, образованных внутри дельт гильбертова типа [Longhitano, 2008; Rohais et al., 2008].

В разрезях нижней и верхней подсвиты демерджийской свиты принимают участие пачки мощностью 1.0–1.2 м с ярко выраженным косослоистым внутренним строением. Пространственная ориентировка косо залегающих слоев внутри косых серий в разрезях нижней и верхней подсвиты демерджийской свиты – юго-юго-восток под углом 20–25° и юго-юго-запад под углом 15–20° [Lalomov, 2007]. По мнению автора данной работы, это указывает на то, что материал, слагающий породы демерджийской свиты, поступал преимущественно с севера. В противоположность этому в работе [Shnyukov et al., 1990] на основе статистического анализа результатов изучения пространственной ориентировки уплощенных галек в разрезях демерджийской свиты был сделан вывод о том, что область сноса грубообломочного материала, аккумулированного в ней, была расположена южнее поля ее развития.

Ранее в средней части юго-западного склона г. Южная Демерджи в основании бастионоподобных скальных обнажений из низов разреза верхнедемерджийской подсвиты была отобрана проба K15-007 из косослоистого песчаного матрикса редкогогалечных конгломератов.



Рис. 5. Конседиментационное угловое несогласие (красная пунктирная линия) между ниже- и верхнедемерджийской подсвитами на юго-западном склоне г. Южная Демерджи. Желтые и белые пунктирные линии – слоистость в ниже- и верхнедемерджийской подсвитах соответственно.

Fig. 5. Considerimentary angular unconformity (red dashed line) between the Lower and Upper Demerdzhi subformations on the south-western slope of the Southern Demerdzhi Mountain. Yellow and white dashed lines indicate the layering in the Lower and Upper Demerdzhi subformations, respectively.



Рис. 6. Общий вид и детали обнажения конгломератов нижедемерджийской подсвиты на участке отбора пробы K19-304.

Fig. 6. A general view and details of the Lower Demerdzhi subformation conglomerate outcrops at the site where sample K19-304 was taken.

Результаты комплексного изучения зерен dZr из этой пробы опубликованы в работах [Rud'ko et al., 2018, 2019; Kuznetsov et al., 2019].

Для U-Pb-изотопного датирования зерен dZr из песчаного матрикса конгломератов нижней части разреза нижедемерджийской подсвиты была отобрана проба K19-304 начальным весом ~1.5 кг (рис. 6). Место отбора пробы расположено в нижней части южного склона г. Южная Демерджи в скальном обнажении на правом борту глубокой промоины в точке с координатами 44°44'40.8" с.ш., 34°24'15.2" в.д. (высота 643 м). Точ-

ка отбора расположена в 280 м (по азимуту 34°) от места сочленения улиц Леонида Гайдая и Горная на севере селения Лучистое.

Гипсометрически ниже выходов грязно-лиловых конгломератов нижедемерджийской подсвиты, в нескольких десятках метров вниз по промоине от точки отбора пробы K19-304, расположены крупные вертикальные скальные обнажения флиша верхнетриасово-нижнеюрской таврической серии. В этих обнажениях слоистость во флише залегает полого, а уже в полусотне метров ниже по этой же промоине, а также в дорожной

выемке в северной части улицы Леонида Гайдая на севере селения Лучистое углы падения слоистости во флише фактически вертикальные. Это указывает на то, что залегающую полого (фактически в ненарушенном первичном залегании) верхнеюрскую демерджийскую свиту на юго-западном склоне г. Южная Демерджи подстилает сложнодислоцированный флиш верхнетриасово-нижнеюрской таврической серии.

4. КРАТКОЕ ПЕТРОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОБ ИЗ МАГМАТИТОВ ИНТРУЗИВА г. КАСТЕЛЬ И ИЗ ПЕСЧАНОГО МАТРИКСА КОНГЛОМЕРАТОВ НИЖНЕЙ ПОДСВИТЫ ДЕМЕРДЖИЙСКОЙ СВИТЫ

Проба K21-239. Плагиигранитовый порфирит. Текстура породы плотная, однородная. Структура порфировидная (рис. 7), вкрапленники составляют около 30 % породы и сложены плагиеклазом, замещенным

соссюритовым агрегатом с участием кальцита (около 75 % вкрапленников), кварцем (около 20 %) и редкими кристаллами темноцветного минерала, вероятно биотита и амфибола, полностью замещенных хлоритом (около 5 %). Основная масса представлена микрокристаллическим агрегатом кварц + плагиеклаз (альбит) + хлорит + рудный минерал, вероятно магнетит. Плагиеклаз образует таблитчатые кристаллы длиной до 0.8 мм, типичный размер около 0.3 мм. Кварц представлен изометричными шестиугольными и ромбовидными сечениями размером до 0.3 мм. Размер вкрапленников темноцветного минерала 0.2–0.5 мм.

Проба K21-240. Аплитовидный плагиигранит-порфир (рис. 8). Текстура породы плотная, однородная – массивного облика. Структура порфировидная, вкрапленники составляют около 30 % породы и сложены плагиеклазом, замещенным соссюритовым агрегатом с участием кальцита (около 70 % вкрапленников),

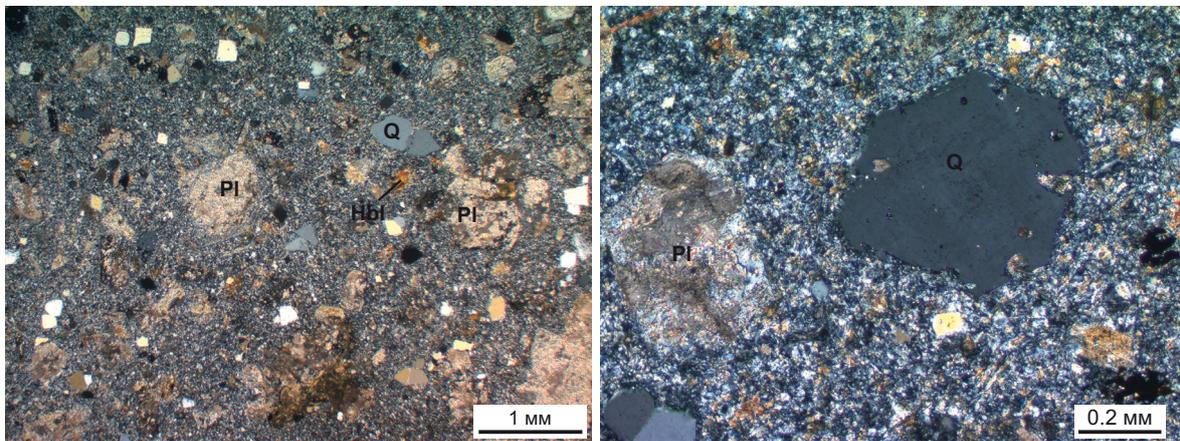


Рис. 7. Микрофотографии (фотографии шлифа) плагиигранитового порфирита (проба K21-239). Никели скрещены. Буквами выборочно обозначены вкрапленники: Q – кварц, Pl – плагиеклаз, Hbl – роговая обманка.

Fig. 7. Microphotographs (thin section photographs) of plagiogranite porphyrite (sample K21-239). Crossed nicols. The letters selectively denote phenocrysts: Q – quartz, Pl – plagioclase, Hbl – hornblende.

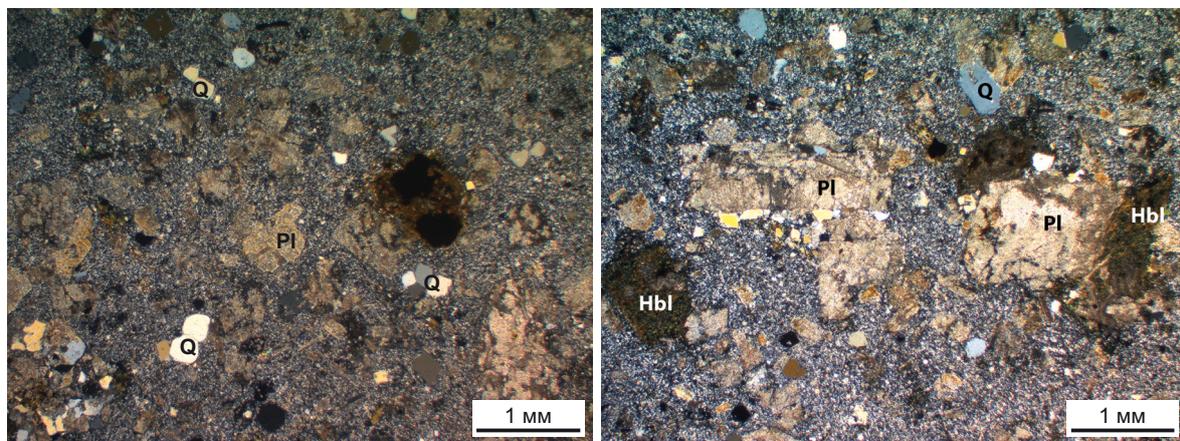


Рис. 8. Микрофотографии (фотографии шлифа) аплитовидного плагиигранит-порфира (проба K21-240). Никели скрещены. Буквами выборочно обозначены вкрапленники: Q – кварц, Pl – плагиеклаз, Hbl – роговая обманка.

Fig. 8. Microphotographs (thin section photographs) of aplite-like plagiogranite-porphyr (sample K21-240). Crossed nicols. The letters selectively denote phenocrysts: Q – quartz, Pl – plagioclase, Hbl – hornblende.

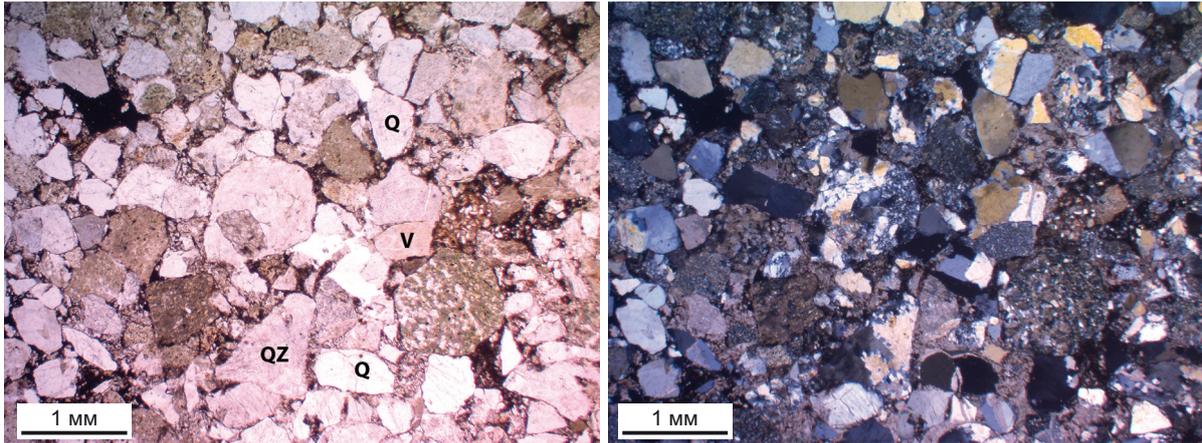


Рис. 9. Микрофотографии (фотографии шлифа) крупнозернистого грауваккового песчаника массивного облика, слагающего матрикс конгломератов нижнедемерджийской подсвиты (проба K19-304). (а) – николи параллельны, (б) – скрещены. Буквами выборочно обозначены зерна: Q – кварца, Qz – кварцита, V – вулканической породы (фельзита).

Fig. 9. Microphotographs (thin section photographs) of massive-looking coarse-grained greywacke sandstone composing the Lower Demerdzhi Subformation conglomerate matrix (sample K19-304). (a) – parallel nicols, (b) – crossed nicols. The letters selectively denote grains: Q – quartz, Qz – quartzite, V – volcanic rock (felsite).

кварцем (около 20 %) и редкими кристаллами темноцветного минерала, вероятно биотита и амфибола, полностью замещенных хлоритом (около 10 %). Вкрапленники часто образуют гломеропорфировые сростки. Основная масса представлена микрокристаллическим агрегатом кварц+плаггиоклаз (альбит)+хлорит+рудный минерал, вероятно магнетит.

Плаггиоклаз образует таблитчатые кристаллы длиной до 1.3 мм, типичный размер около 0.3–0.5 мм. Кварц представлен кристаллами с изометричными сечениями, размером до 0.5 мм. Среди темноцветных минералов присутствуют замещенные хлоритом биотит и роговая обманка. На наличие роговой обманки указывает характерная форма сечений – удлинённых шестиугольников, а биотита – удлинённых чешуек. Размер вкрапленников темноцветного минерала до 1 мм.

Проба K19-304. Песчаник массивный крупнозернистый, граувакковый (по классификации В.Д. Шутова [Shutov, 1965] – кварцевая граувакка) (рис. 9). Сортировка средняя, размер обломков от 0.2 до 1.0 мм, зерна неокатанные. Цемент базальный кальцитовый. Состав обломков: кварц (30–40 %) и обломки пород (кварциты, сланцы хлоритовые, мелкозернистые карбонаты, кремни, фельзиты).

5. МЕТОДИКА

Выделение зерен акцессорного и детритового циркона. Пробы магматических пород интрузива г. Капель и песчаника (песчаного матрикса конгломерата) из нижней части разреза нижнедемерджийской свиты юго-западного склона г. Южная Демерджи были раздроблены вручную в чугунной ступе без применения механических дробилок до обломков размером менее 0.25 мм с использованием одноразовых капроновых сит. Измельченный материал был отмучен в проточной водопроводной воде, просушен, разделен в тяжелой

(~2.95 г/см³) жидкости ГПС-В и подвергнут магнитной сепарации. Из немагнитной части тяжелой фракции вручную с использованием бинокля были случайным образом выбраны кристаллы (пробы K21-239 и K21-240) и зерна (проба K19-304) циркона, которые были имплантированы в эпоксидные шашки и приполированы вручную до половины типичного размера кристаллов и зерен.

Изучение кристаллов и зерен циркона. Кристаллы и зерна циркона были изучены с использованием оптического поляризационного (петрографического) микроскопа. Для всех изученных кристаллов и зерен были сделаны серии микрофотографий с разной глубиной фокусировки, начиная от фокусировки на верхней отполированной поверхности циркона и далее вниз вплоть до фокусировки на нижнюю, соприкасающуюся с эпоксидной смолой, поверхность кристалла и зерна. Это позволило выявлять детали не только в приповерхностных, но и в глубинных частях кристаллов и зерен циркона. Для изотопного датирования в кристаллах и зернах намечены участки диаметром 20–30 мк, лишенные нарушений (трещин и метамиктных зон), чужеродных минеральных включений и других поверхностных и внутренних дефектов. Для кристаллов циркона с кондиционными датировками были получены также катодолюминисцентные изображения.

Методика U-Pb изотопного датирования циркона и первичной обработки аналитических данных. U-Pb изотопное датирование кристаллов циркона из проб K21-239, K21-240 и зерен dZr из пробы K19-304 выполнено методом LA-ICP-MS в ЦКП ГИН РАН. Описание аппаратуры, а также технология измерений, методические приемы и константы, используемые для обработки первичных аналитических данных, приведены в публикациях [Nikishin et al., 2020b; Kolodyazhny et al., 2023]. Обработка первичных аналитических данных

выполнена с помощью коммерческой компьютерной программы «GLITTER» [Griffin et al., 2008], приобретенной ГИН РАН, и программ Isoplot/Ex и Isoplot/R [Ludwig, 2012; Vermeesch, 2012, 2018], размещенных в свободном доступе.

Программа «GLITTER» дает исследователям принципиальную возможность видеть и анализировать графическое представление количества поступающих на детекторы ионов ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , ^{232}Th и ^{238}U в процессе испарения. Исследователь может видеть в развертке во времени для каждого конкретного анализа, какое количество перечисленных выше ионов, «извлекаемых» последовательно из все более и более глубоко расположенных частей кристалла/зерна, поступает на детекторы по мере проникновения луча лазера в глубь анализируемого кристалла или зерна. Очевидно, что начальные части аналитического сигнала содержат информацию о части кристалла или зерна циркона, расположенной сразу под его верхней приполированной поверхностью. При этом конечные части того же сигнала несут информацию о более глубоких, удаленных от полированной поверхности частях того же самого кристалла или зерна. Развертку во времени аналитической записи каждого конкретного изотопного анализа мы называем аналитическим сигналом. Возможно «вырезать» из аналитического сигнала его любую часть и получить для нее изотопную датировку. Опыт предыдущих наших исследований показал, что довольно часто для одного кристалла/зерна циркона можно получить две или даже три датировки.

Если кристалл/зерно циркона в аналитическом препарате приполировано (сошлифовано) примерно до середины, то начальные части аналитического сигнала чаще всего соответствуют ядру кристалла/зерна циркона, а конечные – оболочке. Однако, если изучать зерна предельно малого размера (без приполированной поверхности), сложноустроенные зерна с инородными включениями или зерна, представляющие собой окатанные осколки более крупных зерен, то определение того, какая часть сигнала соответствует ядру и оболочке(ам), не очевидно. Для этого нужен дополнительный анализ изображения зерна.

Калибровка выполненных нами изотопных измерений проведена по внешнему стандарту с использованием циркона GJ-1 [Jackson et al., 2004; Elhlou et al., 2006], качество анализа оценивалось путем последовательного измерения неизвестных образцов и контрольных стандартов циркона 91500 [Wiedenbeck et al., 2004; Yuan et al., 2008] и Plesoviče [Sláma et al., 2008] с аттестованными по изотопному отношению $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ значениями возраста ($\pm 2\sigma$) 601.9 ± 0.4 , 1063.5 ± 0.4 и 337.2 ± 0.1 млн лет, полученными методом CA-ID-TIMS [Horstwood et al., 2016].

Рабочие параметры аппаратуры, а также процедура обработки и критерии селекции первичных аналитических данных описаны в работах [Nikishin et al., 2020b; Kolodyazhny et al., 2023]. При изучении кристаллов циркона из магматических пород Кастельского интрузива

наша задача состояла в том, чтобы максимально точно определить возраст магматических пород этого интрузива, а в идеале – возраст возможных стадий магматического процесса, поэтому мы задали более жесткие критерии при селекции результатов анализов, чем при датировании зерен детритового циркона. Для дальнейшего использования были оставлены только датировки (мы называем их кондиционными), удовлетворяющие нижеперечисленным четырем критериям/правилам (в скобках указаны пороговые значения величин, использованные нами при селекции данных по детритовому циркону).

(1) $-3 (10) \% < D1$ и $D2 < 3 (10) \%$. Для характеристики степени дискордантности анализов нами использованы величины $D1$ и $D2$, которые рассчитаны по формулам:

$$D1 = 100 \% \cdot (\text{возраст } (^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}) / \text{возраст } (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) - 1),$$

$$D2 = 100 \% \cdot (\text{возраст } (^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}) / \text{возраст } (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) - 1).$$

Заданный критерий обеспечивает фактически идеальную сходимость оценок возрастов по двум разным U-Pb изотопным системам.

(2) Аналитическая ошибка измерений обеспечивает точность оценки возраста $< 5 (25)$ млн лет. С уменьшением длительности интегрируемой части аналитического сигнала обычно падает и аналитическая точность. При низких концентрациях U и Th в анализируемой части кристалла/зерна это может привести к появлению неприемлемо большой аналитической ошибки. Пример такого анализа (попытка определить возраст оболочки зерна детритового циркона из песчаного матрикса конгломератов нижней подсвиты демерджийской свиты) – $a20 \text{ rim1} - 170 \pm 107$ млн лет ($D1 = 1.2 \%$, $D2 = 11.8 \%$, $U = 2.1 \text{ г/т}$, $Th = 2.3 \text{ г/т}$). При хорошей ($D1$) и удовлетворительной ($D2$) величине дискордантности аналитическая ошибка ± 107 млн лет при возрасте 170 млн лет настолько велика, что их комбинация бессмысленна. Этот критерий применен нами для исключения подобных анализов из рассмотрения.

(3) Поправка на обыкновенный свинец меняет возраст $< 5 (50)$ млн лет. В реализации технологии LA-ICP-MS в ЦКП ГИН РАН содержание ^{204}Pb не определяют. Для коррекции на обыкновенный свинец мы использовали компьютерную программу ComPbCorr [Andersen, 2008]. Теоретические основы коррекции и формулы, по которым проведена коррекция, изложены в работе [Andersen, 2002]. Нарушение изотопной U-Th-Pb системы циркона оценивают, исходя из измеренных содержаний изотопов свинца ^{206}Pb , ^{207}Pb и ^{208}Pb в цирконе и известных изотопных соотношений между изотопами свинца, которые в программе приняты как $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.7$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.628$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.63$. Такая поправка, очевидно, менее надежная, чем по измеренным содержаниям ^{204}Pb , поэтому анализы, в которых величина поправки возраста более пороговой, отбраковываются. Однако по факту при анализе результатов по пробам K21-239 и K21-240 в данном исследовании этот критерий оказался излишним, поскольку все такие анализы оказались отсеченными критерием (1).

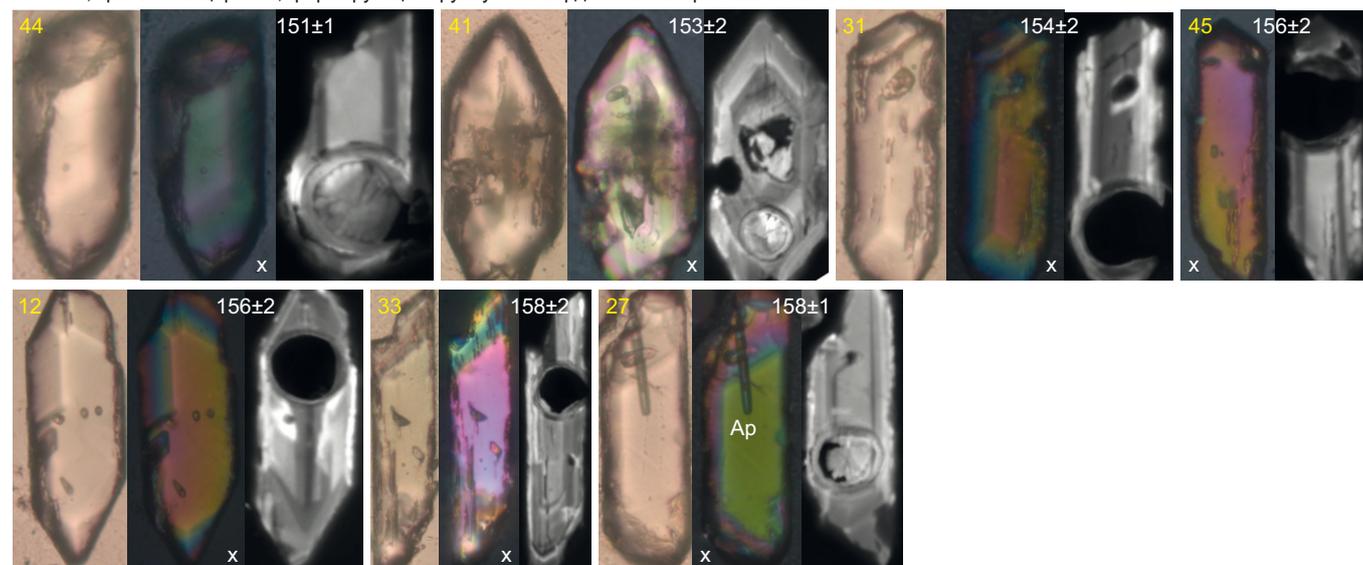
(4) С учетом рекомендаций [Gehrels, 2012] за датировку был принят возраст, рассчитанный по изотопному отношению $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ для датировок моложе 1 млрд лет, а для более древних – по изотопному отношению $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$.

6. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ КРИСТАЛЛОВ АКЦЕССОРНОГО ЦИРКОНА ИЗ ПОРОД КАСТЕЛЬСКОГО ИНТРУЗИВА

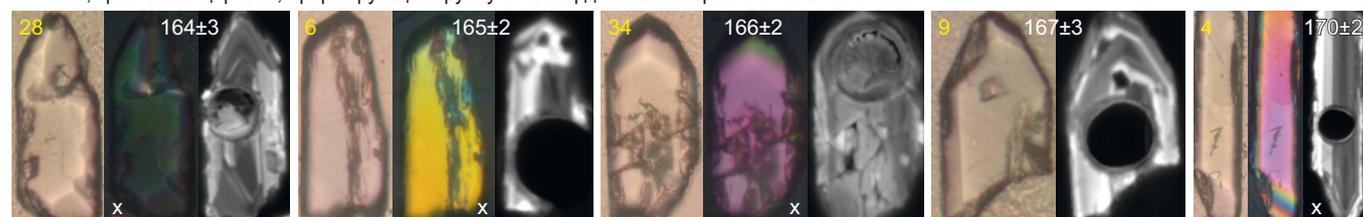
Описание кристаллов циркона. Большинство кристаллов циркона содержат многочисленные включе-

ния разной природы, каналы течения вещества и трещины, различные по цвету, размеру, форме и другим деталям (рис. 10, 11). Часто можно наблюдать включения игольчатой формы, которые, наиболее вероятно, представляют собой микрокристаллы апатита (см. рис. 10, № 27; рис. 11, № 50). В единичных случаях в зернах видны ядра (см. рис. 10, № 10, 41 и 43; рис. 11, № 55 и 70). Несмотря на многочисленные нарушения и дефекты, очевидно, что весь изученный циркон – это изначально правильные удлиненные кристаллы. В большинстве случаев кристаллы циркона имеют нечеткие

K21-239, кристаллы циркона, формирующие группу с конкордантным возрастом 156 ± 1 млн лет



K21-239, кристаллы циркона, формирующие группу с конкордантным возрастом 167 ± 1 млн лет



K21-239, кристаллы циркона с дюрским возрастом

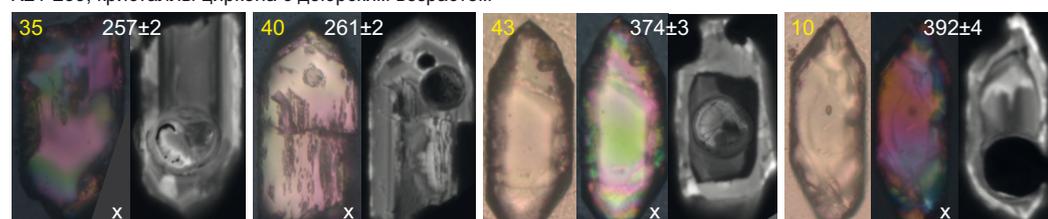


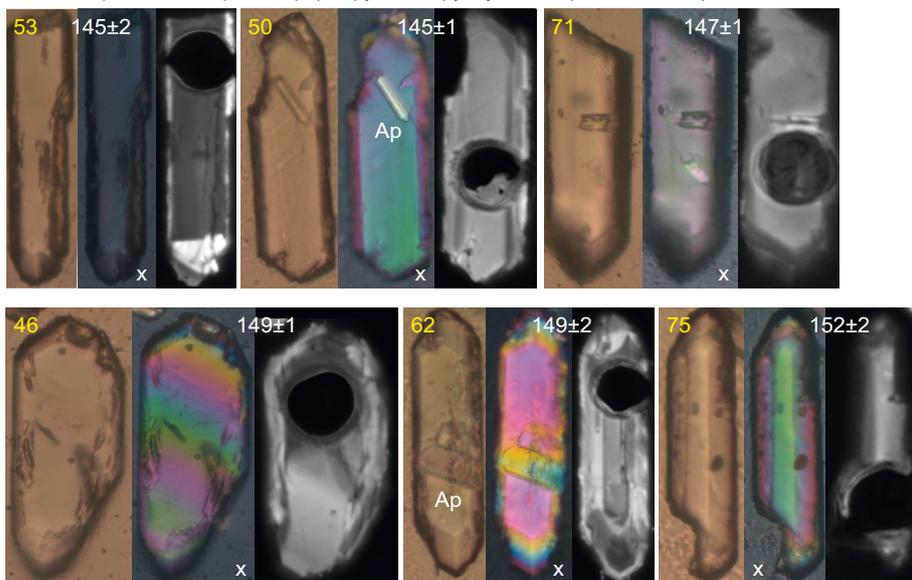
Рис. 10. Оптические в проходящем свете (индекс x означает скрещенные николи) и катодолуминесцентные изображения кристаллов циркона из плагиогранитов (проба K21-239) интрузива г. Капель, для которых получены кондиционные датировки.

Для каждого изображения в левом верхнем углу цифрой желтого цвета указан номер анализа, возраст в млн лет ($\pm 1\sigma$) показан цифрами белого цвета. Положение кратера лазерной абляции (диаметр 25 мк) видно на катодолуминесцентном изображении. Изображения смонтированы слева направо и сверху вниз по нарастанию возраста. Ap – включения апатита(?).

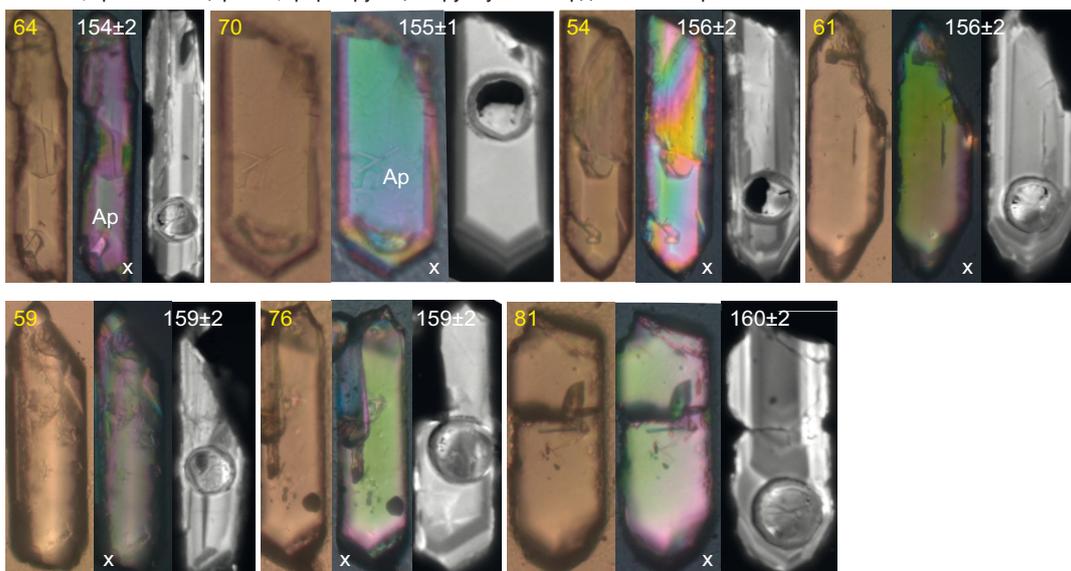
Fig. 10. Optical transmission (the index x denotes crossed nicols) and cathodoluminescence images of zircons from plagiogranites (sample K21-239) of the Kastel intrusive for which the conditional dates are obtained.

The yellow figure in the upper left corner of each image indicates the number of analysis, the white figure indicates the age, Ma ($\pm 1\sigma$). The location of the laser ablation crater (of 25 μm diameter) is seen in the cathodoluminescence image. The images are mounted from left to right and from up to down in the order of ascending age. Ap – apatite (?).

K21-240, кристаллы циркона, формирующие группу с конкордантным возрастом 147 ± 1 млн лет



K21-240, кристаллы циркона, формирующие группу с конкордантным возрастом 157 ± 1 млн лет



K21-240, кристалл циркона с доюрским возрастом

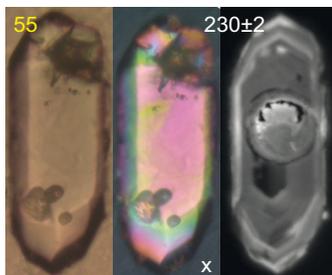


Рис. 11. Оптические в проходящем свете (индекс x означает скрещенные николи) и катодолуминесцентные изображения кристаллов циркона из аплитовой жилы (проба K21-240) интрузива г. Кастель, для которых получены кондиционные датировки. Объяснения – см. подпись к рис. 10.

Fig. 11. Optical transmission (the index x denotes crossed nicols) and cathodoluminescence images of zircons from an aplite vein (sample K21-240X) of the Kastel intrusive for which the conditional dates are obtained. See the caption of Fig. 10 for explanations.

границы и ребра не за счет реального окатывания, а по причине вторичных изменений: либо частичного растворения верхнего слоя кристалла, либо, напротив, его обрастания тонкой метаморфической оболочкой. Зерен, выглядящих как сильно и полностью окатанные, не зафиксировано¹. Каких-либо групп или корреляций между возрастом и внешним обликом кристаллов циркона не выявлено.

Результаты U-Pb датирования. В пробе K21-239 изучение U-Pb изотопной системы выполнено для 45 кристаллов циркона, а в пробе K21-240 – для 38 кристаллов циркона (Прил. 1, табл. 1.1). Хотя для пробоотбора специально были намечены области кристаллов, свободные от видимых нарушений (см. рис. 10; рис. 11), почти для всех анализов характерна очень высокая вариабельность аналитического сигнала, что свидетельствует о сильной вещественной неоднородности изученных частей кристаллов циркона и/или о наличии в них невидимых включений, нарушений и т.п. Попытки определить по записи в одном кристалле возраст возможного ядра (ядер) и оболочки (оболочек) не удалось. Для значительного количества анализов кондиционные датировки были получены только по короткому фрагменту записи. Всего для кристаллов циркона из пробы K21-239 получено 16 (рис. 12, а), а для

кристаллов циркона из пробы K21-240 – 14 кондиционных датировок (рис. 13, а). Только эти датировки были использованы нами для дальнейших расчетов, в том числе для конкордантных оценок возраста.

В проанализированном цирконе из проб K21-239 и K21-240 для кондиционных анализов зафиксированы содержания Th от 43.2 до 600.2 и U от 66.3 до 472.3 г/т; при этом величины Th/U варьируются в диапазоне от 0.60 до 1.91 (рис. 14). Из 30 анализов в 19 случаях зафиксированы величины Th/U в пределах 0.6–1.0, а для 11 анализов получены более высокие отношения Th и U, попадающие в интервал от 1.0 до 2.0.

Каких-либо отчетливых отличий между кристаллами циркона из проб K21-239 и K21-240 по содержаниям Th и U и величинам Th/U, равно как и очевидных закономерностей между U-Pb возрастом кристаллов циркона и величинами Th/U для этих кристаллов, не обнаружено (рис. 14).

В пробе K21-239 получены четыре кондиционные докембрийские датировки – 257±2, 261±2, 374±3 и 392±4 млн лет. Остальные датировки сгруппированы в два кластера, отчетливо проявляемые двумя пиками на кривой плотности вероятности (см. рис. 12, д) и центрированные около конкордантных возрастов 155.53±0.72 (n=7) (см. рис. 12, в) и 166.87±0.93 млн лет (n=5) (см.

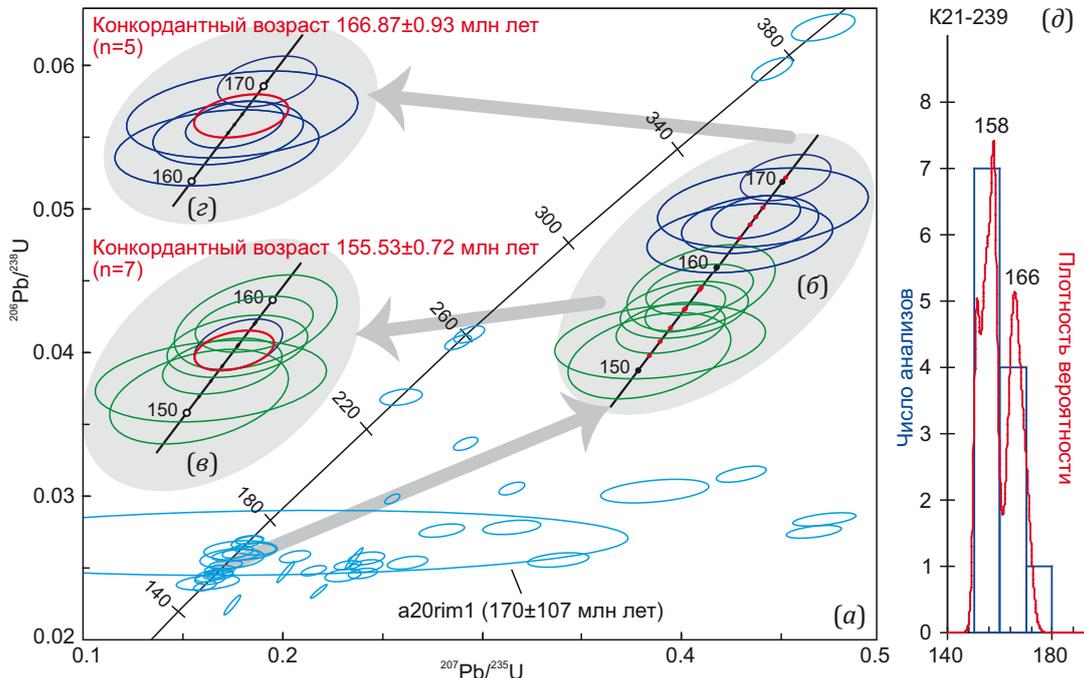


Рис. 12. Диаграмма с конкордией U-Pb датировок изученных зерен акцессорного циркона из плагиогранитов г. Капель (проба K21-239) (а).

Синие эллипсы показывают 68%-ный доверительный интервал измерений ($\pm 1\sigma$). На врезках (б, в, з) показаны увеличенные фрагменты конкордии, красные эллипсы – конкордантные значения. На (д) показаны гистограмма и кривая плотности вероятности для юрских датировок.

Fig. 12. Concordia diagram of U-Pb dating data for accessory zircons from plagiogranites of the Kastel Mountain (sample K21-239) (a). The blue ellipses show 68 % confidence interval measurement ($\pm 1\sigma$). The insets (b, v, z) show the enlarged concordia fragments, red ellipses indicate concordant values. (d) shows the histogram and the probability density curves of the Jurassic ages.

¹При оценке степени окатанности зерен циркона мы следуем принципам классификации, предложенным в работе [Romanyuk, Kotler, 2024].

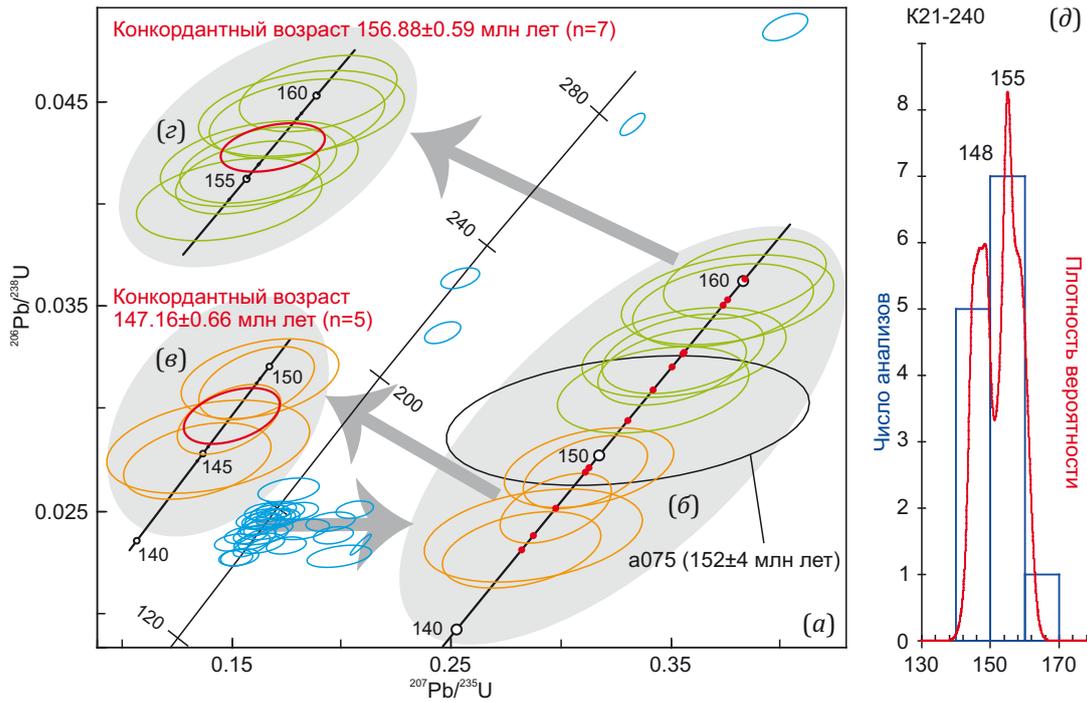


Рис. 13. Диаграмма с конкордией U-Pb датировок изученных зерен акцессорного циркона из аплитов г. Капель (проба K21-240) (a). Дальнейшие пояснения см. рис. 12.

Fig. 13. Concordia diagram of U-Pb dating data for accessory zircons from aplites of the Kastel Mountain (sample K21-240) (a). See Fig. 12 for further explanations.

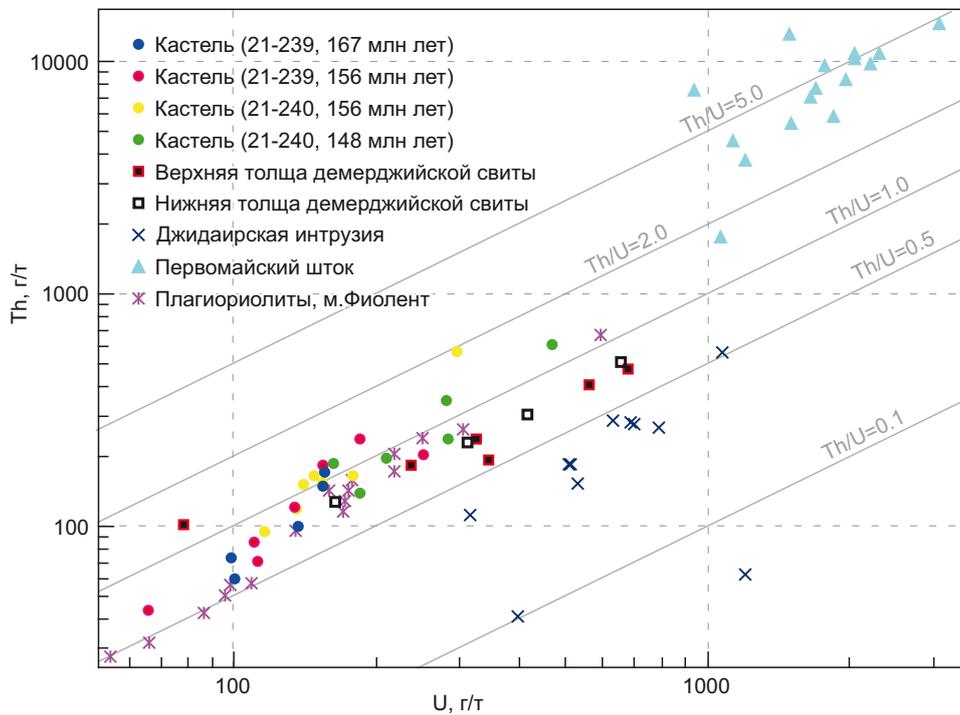


Рис. 14. Сводка измеренных содержаний U и Th в изученных кристаллах циркона юрского возраста из магматитов г. Капель, Джидаирской интрузии [Morozova et al., 2012], Первомайского штока [Morozova et al., 2017] и плагиориолитов мыса Фиолент [Kuznetsov et al., 2022b], а также зерен dZr юрского возраста из песчаного матрикса конгломератов верхней [Rud'ko et al., 2018, 2019; Kuznetsov et al., 2019] и нижней (настоящая статья) подсвиты демерджийской свиты.

Fig. 14. Summary of the U and Th contents in the Jurassic zircons from magmatites of the Kastel Mountain, Dzhidair intrusion [Morozova et al., 2012] and Pervomayskiy stock [Morozova et al., 2017], from plagioclase of the Cape Fiolent [Kuznetsov et al., 2022b], and of those in the Jurassic dZr grains from the sand matrix of the conglomerates of the upper [Rud'ko et al., 2018, 2019; Kuznetsov et al., 2019] and lower (present paper) subformations of the Demerdzi formation.

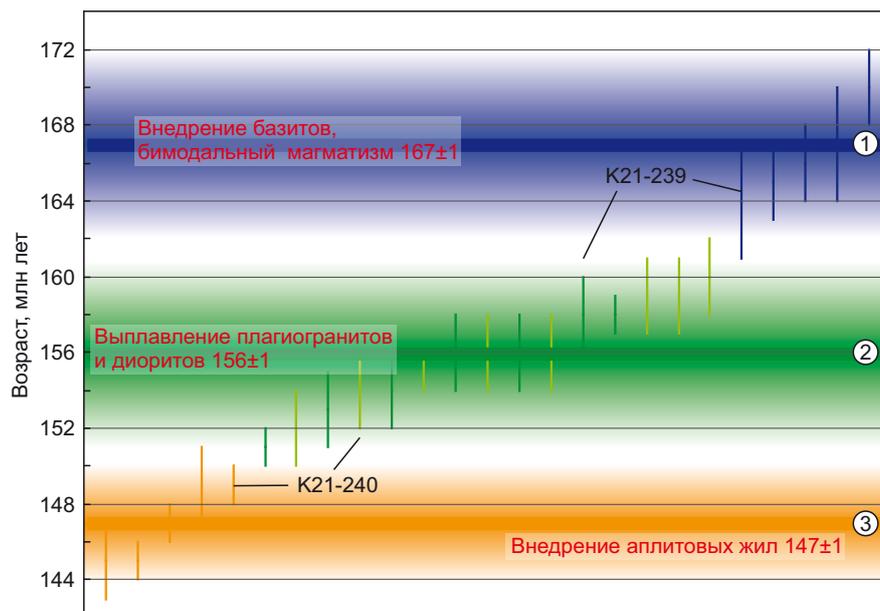


Рис. 15. Диаграмма юрских U-Pb датировок ($\pm 1\sigma$) изученных зерен акцессорного циркона из плагиогранитов (проба K21-239) и аплитов (проба K21-240) г. Кагель.

Цифра в кружке – номер магматического этапа становления интрузива г. Кагель, этапы условно показаны цветными градиентными полосами.

Fig. 15. Diagram of the Jurassic U-Pb ages ($\pm 1\sigma$) of the accessory zircons from plagiogranites (sample K21-239) and aplites (sample K21-240) of the Kastel Mountain.

The circled number indicates the number of the magmatic stage of the Kastel intrusive formation, the stages are conditionally shown by gradient color stripes.

рис. 12, г). В пробе K21-240 все датировки, за исключением одной – 230 ± 2 млн лет, сгруппированы в два кластера, проявляемые двумя пиками на кривой плотности вероятности (см. рис. 13, д) и центрированные около конкордантных возрастов 156.88 ± 0.59 ($n=7$) (см. рис. 13, б) и 147.16 ± 0.66 млн лет ($n=5$) (см. рис. 13, в). Одна датировка (a075) – 152 ± 4 млн лет – занимает промежуточное положение между кластерами. При включении ее в первый кластер его конкордантный возраст слегка вырастет – 147.97 ± 0.87 ($n=6$), а для второго понизится – 156.82 ± 0.62 млн лет ($n=8$). Изменения незначительные, в пределах ошибки округления.

В пробе K21-239 (плагиограниты) выявлены два возраста – 167 ± 1 и 156 ± 1 млн лет, а в пробе K21-240 (аплиты) – 157 ± 1 и 147 ± 1 млн лет. Отметим, что значения 156 ± 1 и 157 ± 1 млн лет совпадают в пределах ошибки (все ошибки $\pm 1\sigma$). Расчет общего конкордантного возраста по 15 анализам из обеих проб дает значение 156.28 ± 0.47 млн лет, поэтому за оценку возраста, общую по двум пробам, принята величина 156 ± 1 млн лет.

Таким образом, по пробам K21-239 (плагиограниты) и K21-240 (аплиты) получены три оценки возраста – 147 ± 1 , 156 ± 1 и 167 ± 1 млн лет (рис. 15). Самый молодой возраст – 147 ± 1 млн лет – проявлен только в аплитовой жиле, поэтому мы трактуем его как возраст третьего магматического эпизода, завершившего формирование Кагельского интрузивного массива, во время которого произошло внедрение аплитовых

жил. Самый древний возраст 167 ± 1 млн лет, проявлен только в плагиогранитах, и мы связываем его с первой начальной фазой, во время которой внедрение базитовой магмы положило начало формированию интрузива. Возраст 156 ± 1 млн лет получен и в пробе из плагиогранитов, и в пробе из аплитов, мы связываем его со вторым основным этапом, во время которого происходило образование плагиогранитов/диоритов из дифференциата базитовой магмы. Можно полагать, что процесс формирования интрузива г. Кагель был более многоэтапным, но полученные фактические данные позволяют выделить пока только три фазы.

7. РЕЗУЛЬТАТЫ U-Pb ДАТИРОВАНИЯ ЗЕРЕН ДЕТРИТОВОГО ЦИРКОНА ИЗ ПЕСЧАНОГО МАТРИКСА КОНГЛОМЕРАТОВ НИЖНЕЙ ПОДСВИТЫ ДЕМЕРДЖИЙСКОЙ СВИТЫ г. ЮЖНАЯ ДЕМЕРДЖИ

Описание зерен циркона. Большинство зерен циркона окатаны со степенью от средней до полной (рис. 16). Зерна содержат многочисленные включения разной природы, различные по цвету, размеру, форме и другим деталям, а также каналы течения вещества и трещины. Часто можно наблюдать включения игольчатой формы, которые, наиболее вероятно, представляют собой микрокристаллы апатита. В единичных случаях в зернах видны древние ядра. Более чем для 10 % зерен dZr из пробы K19-304 участков, подходящих для U-Pb датирования, наметить не удалось. Каких-либо

групп или корреляций между возрастом и внешним обликом кристаллов циркона не выявлено.

Результаты U-Pb датирования зерен циркона. Из песчаного матрикса конгломератов нижней подсвиты демерджийской свиты изучено 149 зерен dZr (Прил. 1, табл. 1.2), получено 107 кондиционных значений возраста (рис. 17, а, б). Минимальный возраст – 162±2 млн лет, а максимальный – 3497±10 млн лет.

Для четырех зерен по разным частям аналитического сигнала удалось получить возраст ядер и оболочек (шашка авс-05) – а2 (321±3 и 298±3 млн лет), а7 (321±3 и 255±3 млн лет), а9 (229±2 и 221±2 млн лет) и а60 (257±2 и 231±2 млн лет). Все значения пермско-триасовые.

В изученных зернах dZr из пробы К19-304 зафиксированы содержания Th от 6.1 до 1017.2 мкг/г и U от

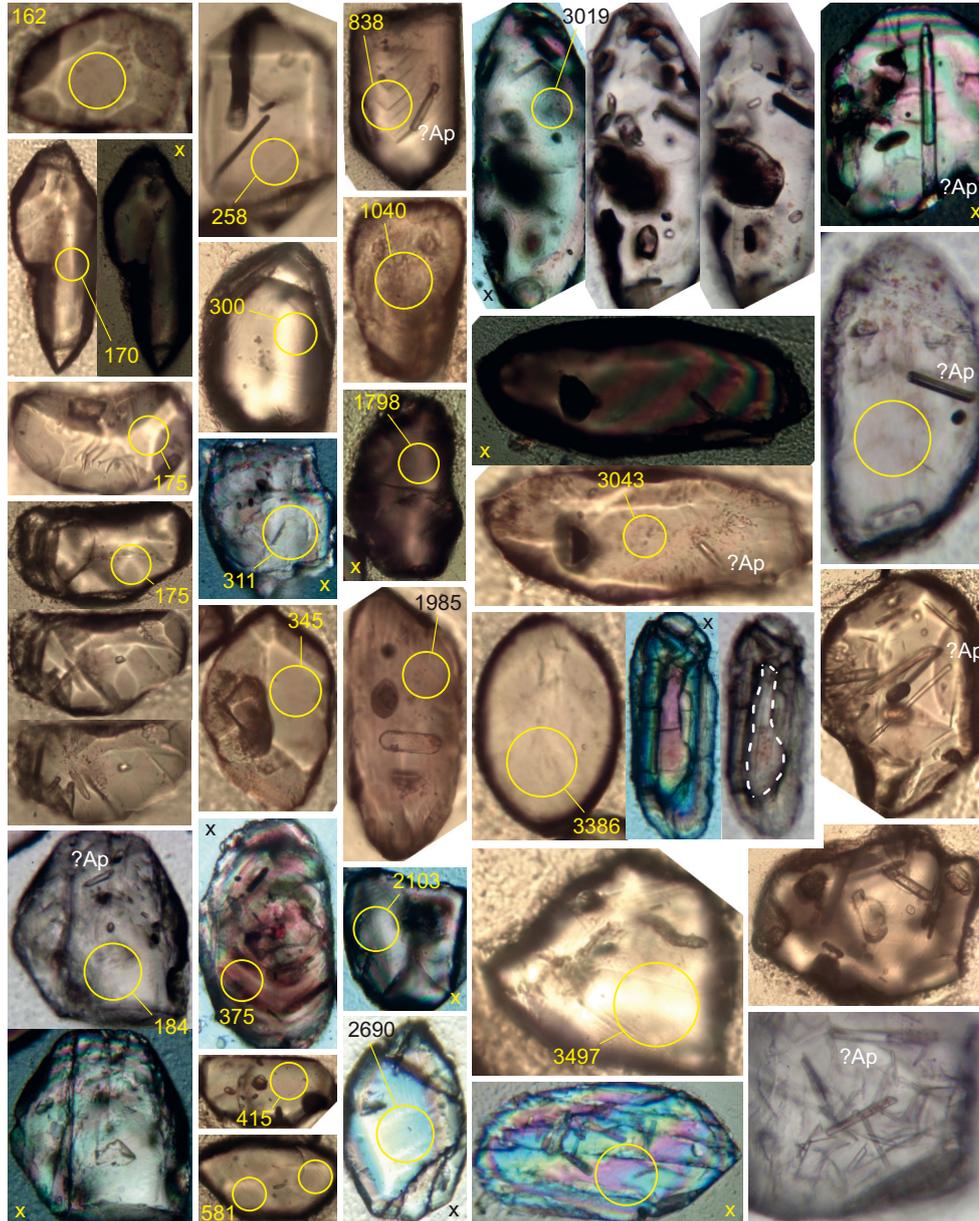


Рис. 16. Оптические изображения в проходящем свете (индекс x означает скрещенные николи) зерен циркона из нижнедемерджийской подсвиты, г. Южная Демерджи (проба К19-304).

Левая колонка – юрский циркон. Положение кратера лазерной абляции (кружок, диаметр 25 мк) и возраст в млн лет показаны желтым (иногда черным) цветом. Белой точечной линией намечено древнее ядро зерна циркона или граница между разнородными частями. ?Ap – возможные включения апатита.

Fig. 16. Optical transmission images (the index x denotes crossed nicols) of zircons from the Lower Demerdzhi subformation (sample K19-304).

Left column – Jurassic zircon. The location of the laser ablation crater (a circle with 25 μm diameter) and age in Ma are shown by yellow or black color. The white dotted line shows an ancient zircon core or the boundary between the heterogeneous parts. ?Ap – probable apatite inclusions.

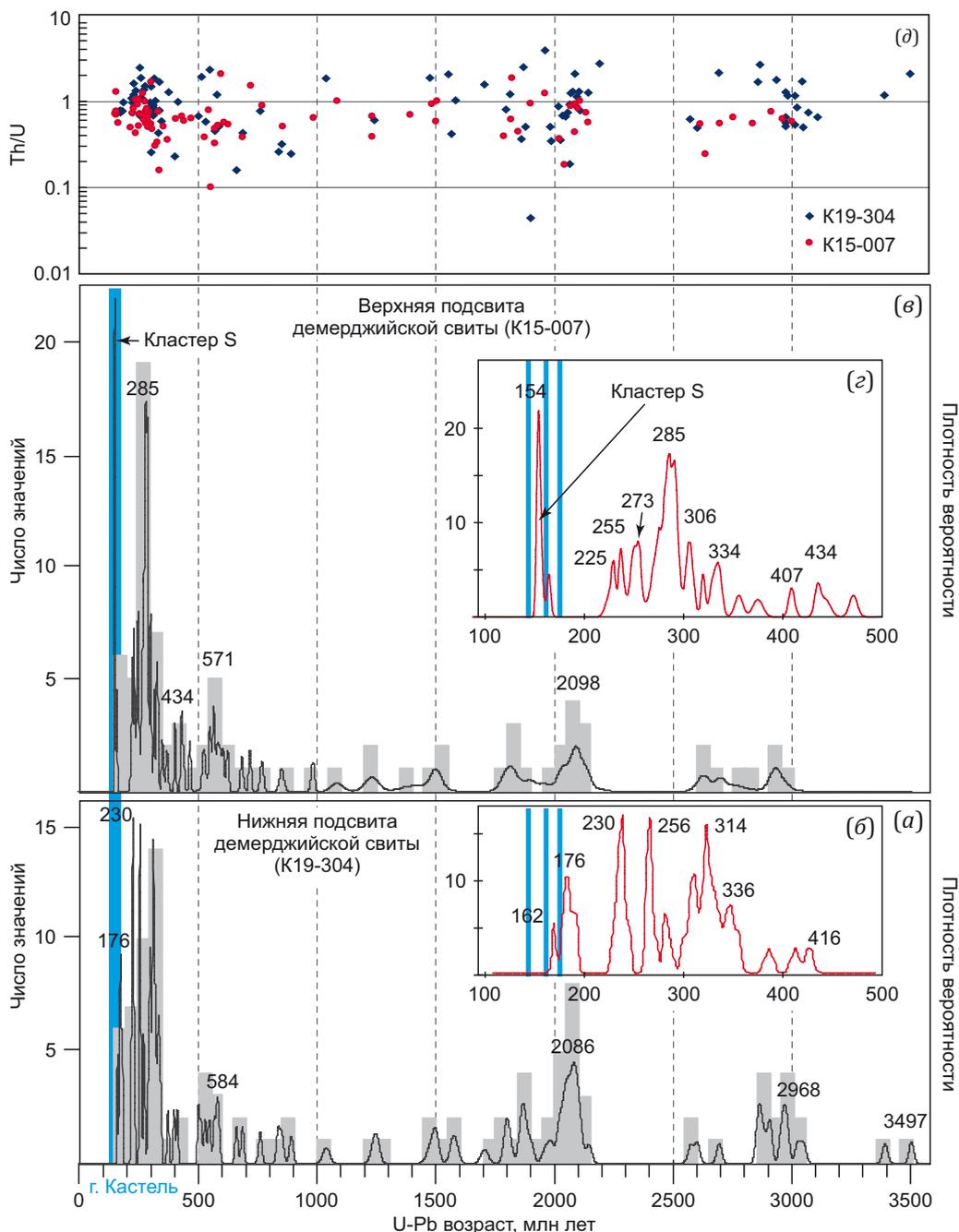


Рис. 17. Сопоставление результатов изучения зерен детритового циркона из песчаного матрикса конгломератов нижней и верхней подсвиты демерджийской свиты (южный склон г. Южная Демерджи, Горный Крым). (a-e) – гистограммы и кривые плотности вероятности (КПВ) U-Pb изотопных возрастов зерен циркона из проб K19-304 (a, б) и K15-007 (в, г). На врезках (б, г) показаны увеличенные фрагменты КПВ для интервала возрастов 100–500 млн лет. (д) – диаграмма Th/U – U-Pb возраст. Синими линиями показаны три возраста, полученные для магматитов интрузива г. Кастель. Данные по верхней подсвите демерджийской свиты (проба K15-007) по [Kuznetsov et al., 2019], по нижней подсвите (проба K19-304) – настоящая статья.

Fig. 17. Comparison of the results of the study of detrital zircons from the sand matrix of the conglomerates of the lower and upper subformations of the Demerdzhi formation (southern slope of the Southern Demerdzi Mountain, Mountainous Crimea). (a-e) – histograms and probability density curves (PDC) of the U-Pb isotopic ages of zircons from samples K19-304 (a, б) and K15-007 (в, г). The insets (б, г) show the enlarged fragments of PDC at 100–500 million year time intervals. (д)– Th/U – U-Pb age diagram. Blue lines show three ages obtained for the Kastel intrusion. The data on the upper subformation of the Demerdzhi formation (sample K15-007) after [Kuznetsov et al., 2019], on the lower subformation (sample K19-304) – the present paper.

9.3 до 2088.8 мкг/г; при этом величины Th/U варьируются в диапазоне от 0.04 до 3.85 (рис. 17, д). Для 62 % проанализированных зерен dZr получены величины Th/U в пределах 0.1–1.0 (причем преимущественно в пределах 0.5–1.0), которые принято считать статистически присущими магматогенному циркону из кремнекислых и средних пород [Hoskin, Schaltegger, 2003; Kirkland et al., 2015; Rubatto, 2017]. Одновременно присутствует существенное количество зерен dZr с более высокими отношениями Th и U, 19 % – Th/U > 1.5, 14 анализов показали значения Th/U более 2.0. Такие значения часто фиксируют в цирконе из меланократовых (мафических) пород [Kaczmarek et al., 2008; Linnemann et al., 2011] и/или в цирконе из пород, которые сформированы в обстановках метаморфизма высоких температур, низких и средних давлений [Wanless et al., 2011].

Зафиксированная в песчаном матрикс конгломератов из нижней подсвиты демерджийской свиты высокая доля зерен dZr с повышенными (>1) величинами Th/U может означать то, что среди первичных источников зерен dZr были широко представлены меланократовые (мафические) породы и/или метаморфические породы высоких температур, низких и средних давлений. Каких-либо очевидных закономерностей между U-Pb возрастом изученных зерен циркона из песчаного матрикса конгломератов нижедемерджийской подсвиты и величинами Th/U для этих зерен не обнаружено (рис. 17, д).

8. ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

8.1. О субстрате магм гранитоидов Кастельского интрузива

Акцессорный циркон в магматических породах сложного генезиса может сохранить информацию как о различных этапах становления магматической породы, так и о субстрате, из которого родоначальная магма была выплавлена, т.е. о протолите этой магматической породы. Например, внутри микроксенолитов в магматической породе могут быть сохранены практически неизменными единичные кристаллы циркона из магмогенерирующего субстрата (протолита). Некоторые кристаллы циркона первично-магматического происхождения могут в процессе своей эволюции образовать позднемагматическую, метаморфическую или гидротермальную оболочку, испытать частичное растворение и другие изменения [Rubin et al., 1989, 1993; Ramezani et al., 2000; Pettke et al., 2005; Schaltegger et al., 2005; Kaulina, 2010; Yang et al., 2023]. При прохождении магмы по подводящим каналам возможен захват чужеродных кристаллов циркона из окружающих кристаллических пород или зерен детритового циркона из (мета)осадочных пород.

По акцессорному циркону обеих проб магматических пород интрузива г. Кастель суммарно получены пять кондиционных доюрских оценок возраста – датировки 392±4, 374±3, 261±2, 257±2 и 230±2 млн лет; далее для краткости будем называть их «доюрскими».

Они не входят в кластеры возрастов, сгруппированных около значений 167±1, 156±1 и 147±1 млн лет.

Кастельский интрузив внедрен в сильнодеформированные породы верхнетриасово-нижнеюрской таврической серии, которая уже охарактеризована результатами U-Pb датирования зерен dZr [Nikishin et al., 2020b; Kuznetsov et al., 2022a]. Эти результаты показывают, что провенанс-сигналы верхнетриасовой части таврической серии и ее стратиграфического эквивалента – эскиординской серии – кардинально отличаются от провенанс-сигнала нижнеюрской части таврической серии. В породах верхнетриасовой части таврической и эскиординской серий доминирует циркон архейского (в числе прочего представлены и зерна с древнейшими палеоархейскими датировками) и палеопротерозойского возраста, и только в минимальных количествах присутствуют датировки, попадающие в палеозойско-мезозойский интервал (рис. 18, а). В породах нижнеюрской части таврической серии значения возраста циркона «рассеяны» в диапазоне от архейского до пермского и не формируют каких-либо больших групп (рис. 18, б). При этом и в породах из нижнеюрской части таврической серии, и в породах из верхнетриасовых частей таврической и эскиординской серий зерна циркона палеозойско-мезозойского возраста составляют лишь незначительную долю от общего их количества.

Единичные возрасты зерен dZr из песчаников таврической серии близки к значениям, зафиксированным в «доюрских» датировках циркона из магматитов г. Кастель. Но при этом по акцессорному циркону из этих пород не было получено ни одной докембрийской датировки. Если чужеродные зерна циркона были бы захвачены расплавом из пород таврической серии, то, наряду с палеозойско-мезозойскими, неизбежно были бы захвачены и докембрийские зерна циркона, поскольку они доминируют в песчаниках таврической серии. Трудно допустить, что из окружающих осадочных толщ выборочно были бы захвачены только относительно молодые (палеозойские) зерна циркона, составляющие лишь небольшую долю от их общего количества в песчаниках таврической серии. Кроме того, для циркона таврической серии характерна чрезвычайно высокая степень окатанности зерен циркона [Romanyuk, Kotler, 2024], а все «доюрские» зерна циркона из магматитов Кастельского интрузива нельзя охарактеризовать как в значительной степени окатанные (см. рис. 10, 11), поэтому мы считаем маловероятным захват магмами интрузива г. Кастель «доюрских» зерен циркона из пород таврической серии.

Альтернативную интерпретацию можно считать гораздо более реалистичной. В породах из юрских грубообломочных толщ (в песчаном матрикс юрских конгломератов) и в песчаниках ченкской толщи, по которым уже получены результаты датирования зерен dZr, циркон с мезозойско-палеозойским возрастом доминирует (рис. 18, г, д). Его источником были кристаллические комплексы мезозойско-палеозойского возраста.

Части этих комплексов или их возрастных аналогов могли быть вовлечены в строение доверхнетриасового основания Горного Крыма и стать составной частью протолита для магм, сформировавших Капельский интрузив. В дальнейшей длительной магматической истории Капельского интрузива некоторые единичные кристаллы/зерна циркона из протолита могли

сохранить свою U-Pb изотопную систему без особых нарушений.

Таким образом, из возможных вариантов интерпретации «доюрских» оценок возраста как (1) возраста захваченных зерен/кристаллов циркона из окружающих пород или (2) возраста, характеризующего протолит, мы полагаем второй вариант более обоснованным.

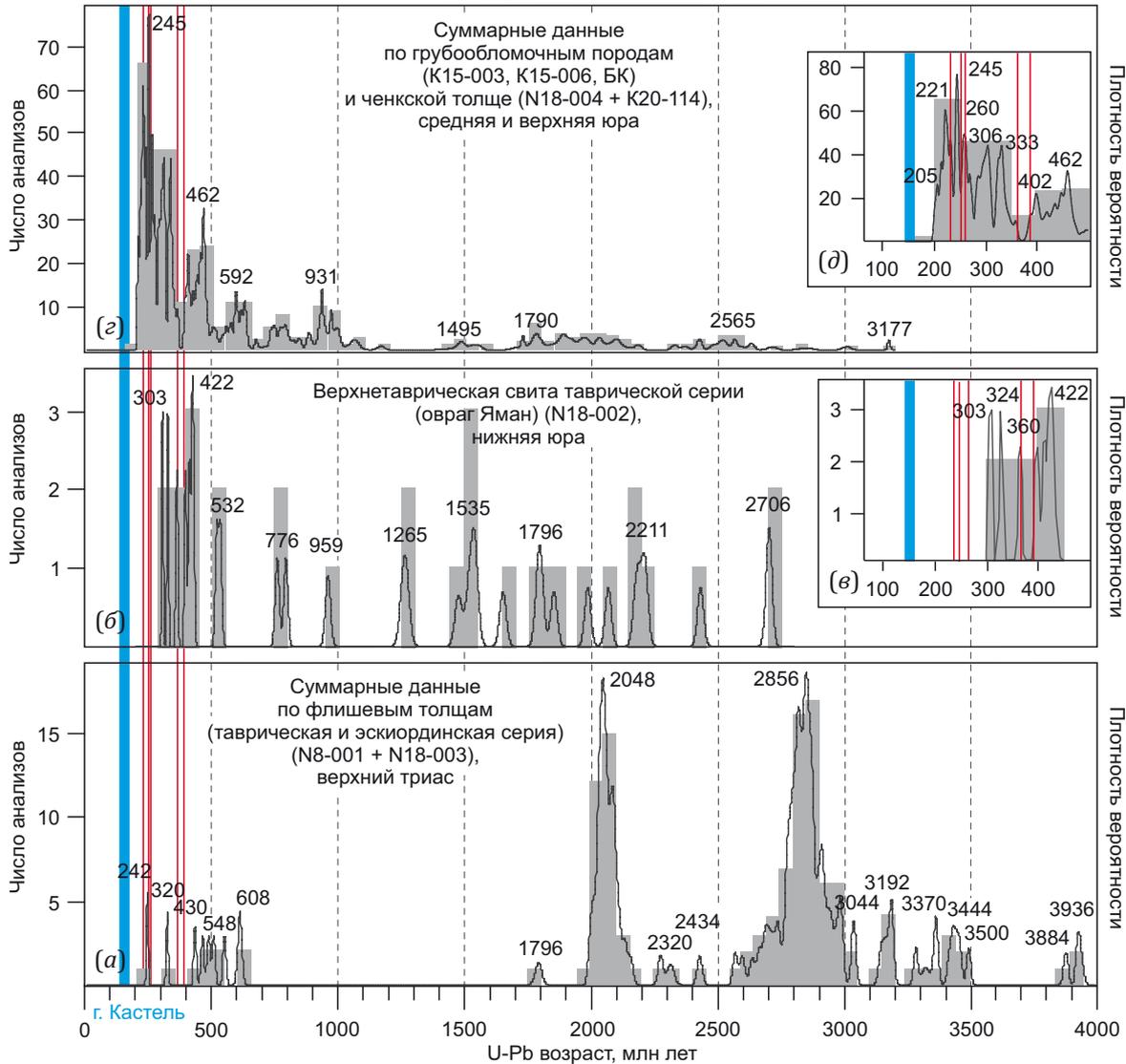


Рис. 18. Гистограммы и кривые плотности вероятности U-Pb возрастов изученных зерен детритового циркона из песчаников верхнетриасовых флишевых толщ (а), нижнеюрских флишевых толщ (б), ченкской толщи и песчаного матрикса конгломератов средне- и верхнеюрских грубообломочных толщ (з). В виде врезок (в, д) показаны увеличенные фрагменты графиков (б, з), соответственно, для интервалов 200–600 млн лет.

Данные для БК (битакские конгломераты), K15-007, K15-006 и K15-003 – [Romanyuk et al., 2020]; N18-004 и K20-114 – [Kuznetsov et al., 2024]; N18-001, N18-003 – [Nikishin et al., 2020b]; N18-002 – [Kuznetsov et al., 2022a]. Синяя полоса – диапазон, в который попали оценки возраста трех эпизодов магматизма г. Капель, красные линии – пять «доюрских» датировок, интерпретируемых как возрасты, характеризующие протолит магматитов интрузива г. Капель.

Fig. 18. Histograms and probability density curves of the U-Pb ages of detrital zircons from sandstones of the Upper Triassic flysch units (a), Lower Jurassic flysch units (b), Chenk formation and sand matrix of the conglomerates of the Middle-Upper Jurassic coarse detrital units (z). The insets (v, d) show the enlarged fragments of plots ((b, z), respectively) at 200–600 million year time intervals. The data on BC (Bitaxian conglomerates), K15-007, K15-006 and K15-003 [Romanyuk et al., 2020]; N18-004 and K20-114 – [Kuznetsov et al., 2024]; N18-001, N18-003 – [Nikishin et al., 2020b]; N18-002 – [Kuznetsov et al., 2022a]. The blue stripe is the range including age estimates for three episodes of magmatism of the Kastel Mountain, red stripes are five pre-Jurassic ages interpreted as the ages characterizing the protholith of magmatites of the Kastel intrusive.

8.2. Тектоническая и палеогеографическая интерпретация возрастов магматитов Кастельского интрузива

Полученные нами по акцессорным кристаллам циркона из проб K21-239 (плагииграниты) и K21-240 (аплиты) три возраста – 147±1, 156±1 и 167±1 млн лет (см. рис. 15) – отражают события, которые происходили в Кастельском интрузиве и хорошо соответствуют высказанным ранее представлениям о его длительной и многоэтапной магматической эволюции, основанном на геохимических данных [Spiridonov et al., 1990; Spiridonov, 2021; Spiridonov, Putintseva, 2021, и ссылки в данных работах].

Здесь следует особо отметить, что ранне- и среднеюрские возрасты магматитов уже надежно (U-Pb по циркону) доказаны в Горном Крыму (см. рис. 1), но надежные позднеюрские U-Pb возрасты магматизма для этого региона получены впервые. При этом на Малом Кавказе, в Понтидах и на Балканах такие объекты известны: их интерпретируют как реликты обширной системы мезозойско-кайнозойских вулканических дуг, функционировавших в океане Тетис (рис. 19).

Так, для Восточных Понтидов в работе [Ustaömer et al., 2013] сообщено о секущей плутон Камликая (Camlikaaya) гранитной дайке, возраст которой определен (U-Pb по циркону) как 156.3±2 млн лет. Для гранитов Кесикая (Kesikaaya) получен Ar/Ar возраст – 153±3.4 млн лет [Dokuz et al., 2010], а для метадацитов из комплекса Чангалдаг (Cangaldag) получен U-Pb возраст 156.2±2.9 млн лет [Çimen et al., 2017]. Близкие оценки возраста известны и для метаморфических пород: из ме-

ланжа сутуры Измир-Анкара-Эрзинкан возраст 158.4±4.2 млн лет [Sarifakioglu et al., 2014], а из комплекса Кундуз – 159.3±1 млн лет [Aygül et al., 2016].

На Малом Кавказе в Сомхето-Карабахской и Спитак-Капанской зонах многие магматические тела охарактеризованы юрскими датировками, в том числе для нескольких объектов получены значения возраста, близкие к 154 млн лет. Так, по данным, приведенным в работе [Galoyan et al., 2018]:

- (1) в интрузивном массиве Когб-Шног (Koghb-Shnogh) тоналиты и кварцевые диориты первой фазы, а также лейкограниты второй фазы имеют Rb-Sr возраст 164±6 и 156±3 млн лет соответственно, а андезиты, слагающие одну из даек в рудном поле Алаверди (Alaverdi) этого массива, – 155±6 млн лет;
- (2) плагииграниты интрузии Хагпат (Haghpat) имеют U-Pb возраст 165±4 млн лет, а тоналиты интрузии Когб-Шног – 152±4 млн лет и 155±4 млн лет;
- (3) лейкограниты массива Чочкан (Chochkan) показали U-Pb возраст 152±4 млн лет, а плагииграниты одной из даек в этом массиве – 151±4 млн лет;
- (4) гранодиориты интрузии Мехмана (Mehmana) имеют U-Pb возраст 154–147 млн лет.

Сводка позднеюрских возрастов пород из офиолитовых ассоциаций и гранитоидов на Балканах, соотносимых с сутурой Вардар (рис. 19, 20), приведена в работе [Gallhofer et al., 2017]. Образование этих пород связано с закрытием океана Западный Вардар и сопровождающими это событие существенными тектоническими перестройками в функционировании всей системы вулканических дуг в этом регионе.

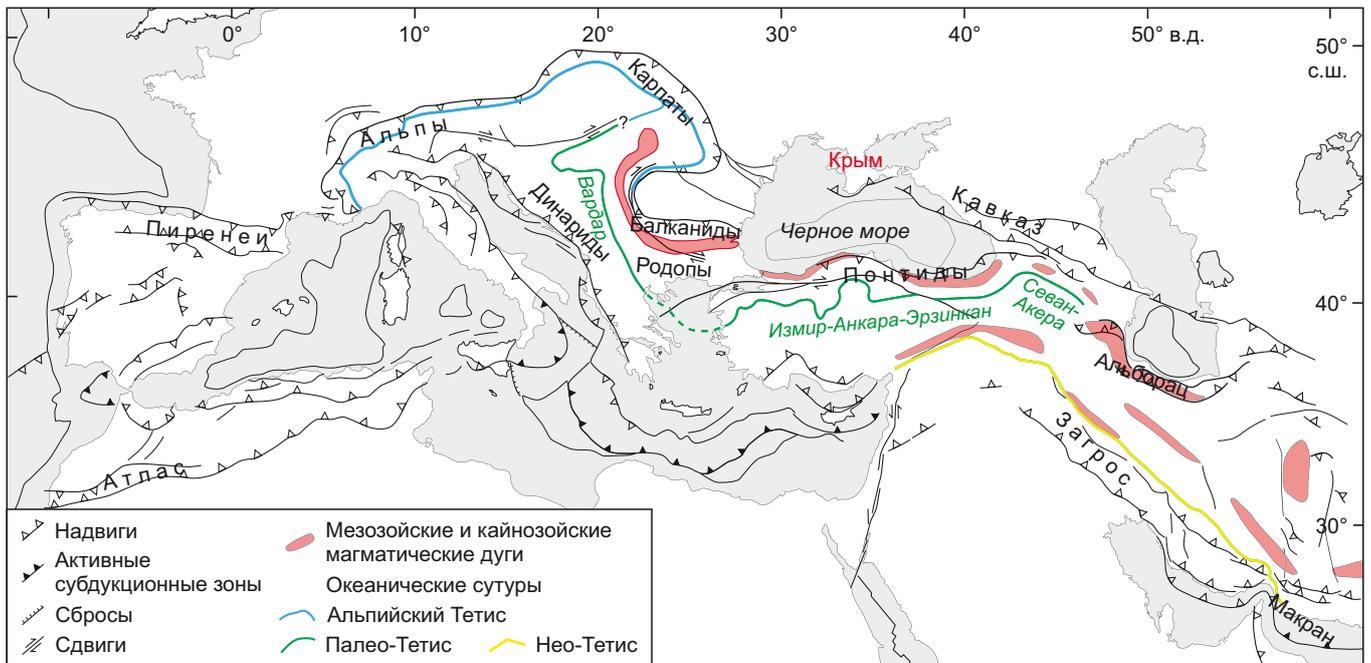


Рис. 19. Положение реликтов мезозойских и кайнозойских вулканических дуг на тектонической схеме Средиземноморско-Каспийского региона (по [Gallhofer et al., 2015], с упрощениями).

Fig. 19. Location of relics of the Mesozoic and Cenozoic volcanic arcs on the tectonic scheme of the Mediterranean-Caspian (simplified after [Gallhofer et al., 2015]).

Полученные нами три возраста – 147 ± 1 , 156 ± 1 и 167 ± 1 млн лет – для магматитов Кастельского интрузива можно логично вписать в известные модели тектонической эволюции Причерноморского региона. Возраст 167 ± 1 млн лет в пределах ошибки совпадает с поздними фазами широко проявленного по всему Горному Крыму от мыса Фиолент до Карадага эпизода бимодального (базитового+кремнекислого) магматизма (см. рис. 1), оценки возраста которого надежно охарактеризованы данными, полученными методом U-Pb датирования по циркону. Этот эпизод ранне- и среднеюрского магматизма связывают с раскрытием задугового бассейна в тылу Понтидской вулканической дуги, реликты которой представлены в современной структуре Понтид (см. рис. 19; рис. 20). Внедрение первых порций базитовой магмы положило начало формированию Кастельского интрузива. Реликты этой первичной магмы представлены в интрузиве в виде небольших остаточных габбровых включений.

Помимо этого, получены надежные оценки возраста еще как минимум для двух магматических эпизодов – 156 ± 1 и 147 ± 1 млн лет. Поскольку возраст 156 ± 1 получен и в пробе из плагиогранитов, и в пробе из аплитов, мы связываем его со вторым этапом, во время которого происходило образование из дифферен-

циата базитовой магмы плагиогранитов/диоритов. Во время этого эпизода был сформирован основной объем интрузива.

Вторую стадию магматических событий интрузивного массива г. Кастель мы интерпретируем как «отголосок» широко проявленного в Причерноморском регионе (включая Понтидскую дугу) позднеюрского магматизма. В юре, до начала образования в меловое время Черноморских впадин, Понтидская вулканическая дуга была расположена гораздо ближе к Крыму (рис. 20), во всяком случае на более близком расстоянии, чем в настоящее время удалены от Крыма ее реликты (см. рис. 19).

Третий возраст – 147 ± 1 млн лет – проявлен только в аплите, поэтому мы трактуем его как заключительный эпизод. Этот завершающий формирование интрузивного массива г. Кастель магматический эпизод не оказал большого влияния на основное тело интрузива, а только был проявлен локально и связан с формированием малообъемных аплитовых жил, секущих основную часть интрузива и его контактовый ореол.

Отметим, что в работе [Solov'ev, Rogov, 2010] методом трекового анализа циркона (zircon fission-track, ZFT) выполнено изучение выборки зерен циркона,

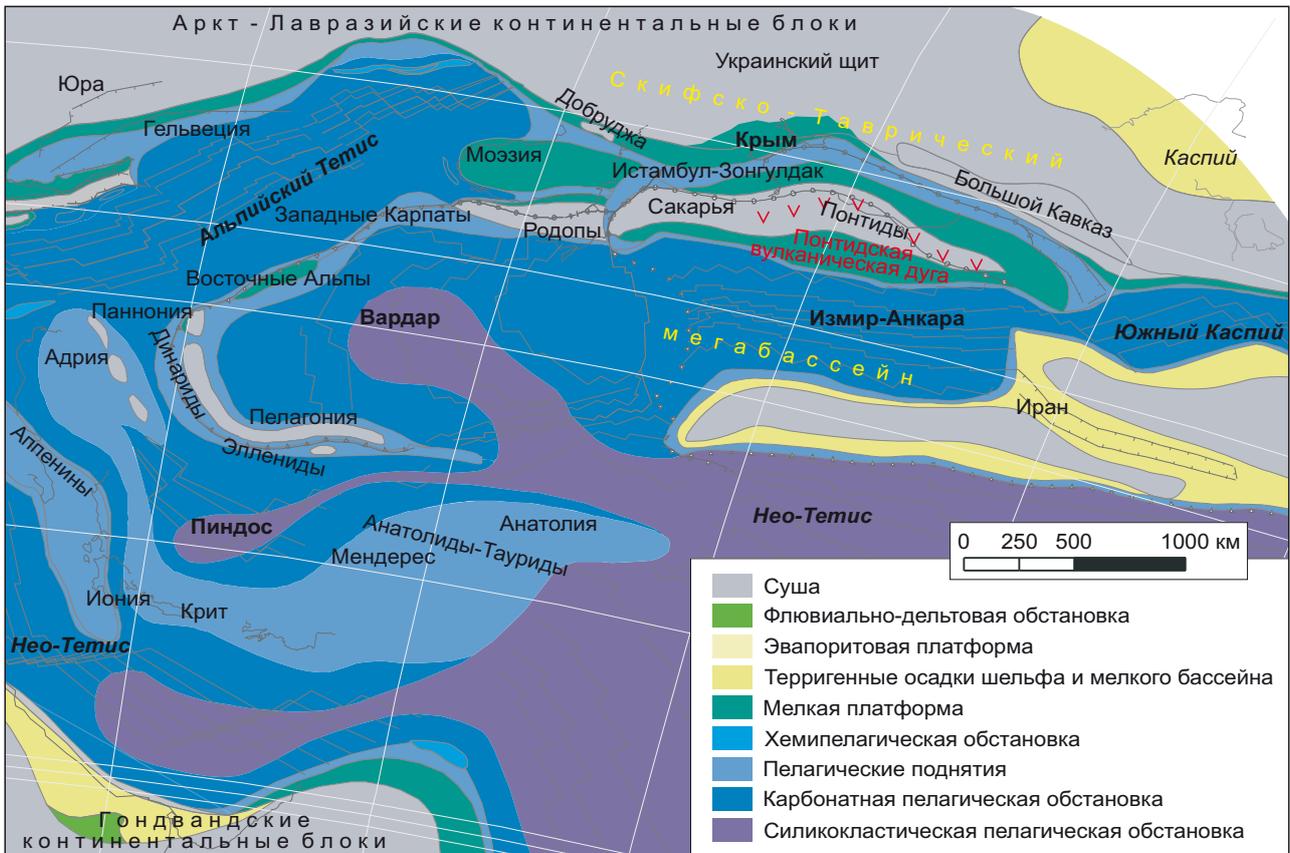


Рис. 20. Палеогеографическая схема северной периферии океана Тетис для титонского времени (основа – по [Wilhem, 2014a, 2014b, 2014c], с упрощениями и добавлениями).

Fig. 20. Paleogeographic scheme of the northern periphery of the Thetys Ocean for the Tithonian (simplified and supplemented after [Wilhem, 2014a, 2014b, 2014c]).

выделенных из диоритов г. Капель. Возраст остывания массива г. Капель ниже температуры ~ 200 °С (в областях с активным вулканизмом это соответствует глубине 400–1000 м) определен как 149.0 ± 10.9 ($\pm 1\sigma$) млн лет. Точность таких оценок низкая, тем не менее оценка возраста третьего этапа магматизма в интрузиве г. Капель 147 ± 1 млн лет формально совпадает с оценкой возраста остывания. Таким образом, третий магматический эпизод, скорее всего, был очень локальным и связанным с деформациями, сопровождавшими подъем и выведение интрузива к поверхности, во время которого в массив в виде жил были внедрены и кристаллизовались остаточные порции расплава. Не исключено, что на поверхности не было проявлений магматизма, поэтому циркон этого возраста не попал в разновозрастные толщи.

В долине верхнего течения р. Бодрак и ее притоков известны небольшие силлы [Nikitin, Bolotov, 2006; Nikitin et al., 2006]. Один из них, расположенный к востоку от с. Трудолюбивка, сложен порфиоровыми лейкократовыми базальтами, по пяти кристаллам циркона из которых получена датировка 144.2 ± 2.0 млн лет [Morozova et al., 2017]. Нельзя исключать того, что внедрение этих силлоподобных тел в долине р. Бодрак и аплитовых жил интрузива г. Капель с возрастом 147 ± 1 млн лет – это связанные события, маркирующие самое начало процесса раскрытия глубоководных впадин Черного моря.

8.3. Капельский интрузив – локальный источник обломочного циркона для пород демерджийской свиты

К настоящему времени породы как верхней, так и нижней подсвиты демерджийской свиты, распространенные на южном и юго-западном склонах г. Южная Демерджи, охарактеризованы результатами U-Pb датирования зерен dZr. Пробы из нижней и верхней подсвиты были отобраны в нижних частях их разрезов (см. рис. 4). Результаты U-Pb датирования зерен dZr из песчаного матрикса конгломератов нижней подсвиты (проба K19-304) впервые представлены в настоящей статье (см. рис. 17, а). Циркон из песчаного матрикса конгломератов верхней подсвиты (проба K15-007) был изучен по методике Tera-Chrone, которая, помимо U-Pb датирования зерен циркона (см. рис. 17, б), включала изучение Hf-изотопных характеристик датированного циркона и содержания элементов-примесей в тех же зернах циркона [Kuznetsov et al., 2019].

Кардинальных различий между характером распределения U-Pb возрастов зерен dZr из песчаного матрикса конгломератов нижней и верхней подсвиты не проявлено, оба набора возрастов циркона очень похожи. Можно отметить лишь меньшую представленность докембрийского циркона относительно фанерозойского в пробе из верхней подсвиты по сравнению с пробой из нижней подсвиты. Также нет различий и в величинах отношений Th и U в датированных зернах dZr из этих песчаных пород (см. рис. 17, д).

В песчаном матриксе конгломератов верхней подсвиты демерджийской свиты (проба K15-007) зафиксировано шесть зерен dZr с юрским возрастом. Из них одно зерно имеет возраст 164 ± 2 млн лет, остальные пять зерен составляют группу с близкими верхнеюрскими возрастными и средневзвешенным значением 154 ± 2 млн лет. Далее для краткости эти пять зерен называем кластером S. У зерен кластера S в пределах погрешности $\pm 2\sigma$ совпадают возрасты, но также схожи содержания элементов-примесей (существенно повышенные содержания $P3\text{Э} > 3000$ г/т и $Y > 4430$ г/т, нетипичные для циркона из гранитоидов нормальной и пониженной кремнекислотности, но характерные для циркона из пород сиенит/монцитонитового типа) и довольно близкие слабоотрицательные Hf-характеристики ($\epsilon_{\text{Hf}} = -1.5 \dots -6.9$) [Kuznetsov et al., 2019]. Это сильный аргумент в пользу того, что поставщиком зерен циркона кластера S в песчаный матрикс конгломератов верхнедемерджийской подсвиты было близкорасположенное магматическое тело – локальный источник. В его строении существенную роль играли породы сиенит/монцитонитового типа с возрастом $\sim 154 \pm 2$ млн лет, а его магомгенерирующий субстрат (протолит) охарактеризован мезопротерозойскими оценками модельного возраста ($T_{\text{DM}}^c = 1.16\text{--}1.54$ млрд лет). Зерно циркона с возрастом 164 ± 2 млн лет помимо возраста показало весьма отличные от зерен циркона кластера S другие параметры ($\epsilon_{\text{Hf}} = 2.5 \pm 0.9$, $T_{\text{DM}}^c = 1.05$ млрд лет и содержания элементов-примесей, типичные для гранитоидов пониженной кремнекислотности), поэтому его первичным источником было другое магматическое тело. Следующее по удревнению значение возрастных оценок – 225 ± 4 млн лет, т.е. других зерен циркона с юрскими возрастными в песчаном матриксе конгломератов верхнедемерджийской подсвиты не выявлено.

Для песчаного матрикса конгломератов нижнедемерджийской подсвиты (проба K19-304), как и для пород из верхнедемерджийской подсвиты, получено шесть юрских возрастов (162 ± 2 , 170 ± 2 , 175 ± 2 , 175 ± 2 , 180 ± 2 и 184 ± 2 млн лет). Остальные значения древнее 207 ± 2 млн лет. Таким образом, в породах и верхней, и нижней подсвиты демерджийской свиты выявлен циркон с юрским возрастом.

Сопоставление возрастов юрских зерен обломочного циркона из песчаников демерджийской свиты и датировок некоторых магматических комплексов Горного Крыма представлено на рис. 21.

В породах из грубообломочных юрских толщ других четырех локаций в Горном Крыму – (i) битакских конгломератах на юго-восточной окраине г. Симферополь, (ii) конгломератах г. Спидия около Балаклавской бухты, (iii) конгломератах правого борта Байдарской долины около с. Орлиное, а также (iiii) песчаниках ченкской толщи на южном склоне плато Обсерватория, для которых имеются результаты U-Pb датирования зерен dZr (положение мест отбора проб см. рис. 1), циркон с юрскими датировками не выявлен (см. рис. 18, г, д).

Юрские магматиты проявлены в разных районах Горного Крыма (см. рис. 1). Однако юрские зерна dZr в пробах из изученных к настоящему времени осадочных пород юрского возраста (см. рис. 18) зафиксированы только в породах демерджийской свиты. Это еще

одно свидетельство того, что поставщиком юрского циркона в демерджийскую свиту был локальный источник, который не мог быть расположен на большом удалении от г. Южная Демерджи, где последовательно накапливались породы верхне- и нижнедемерджийских

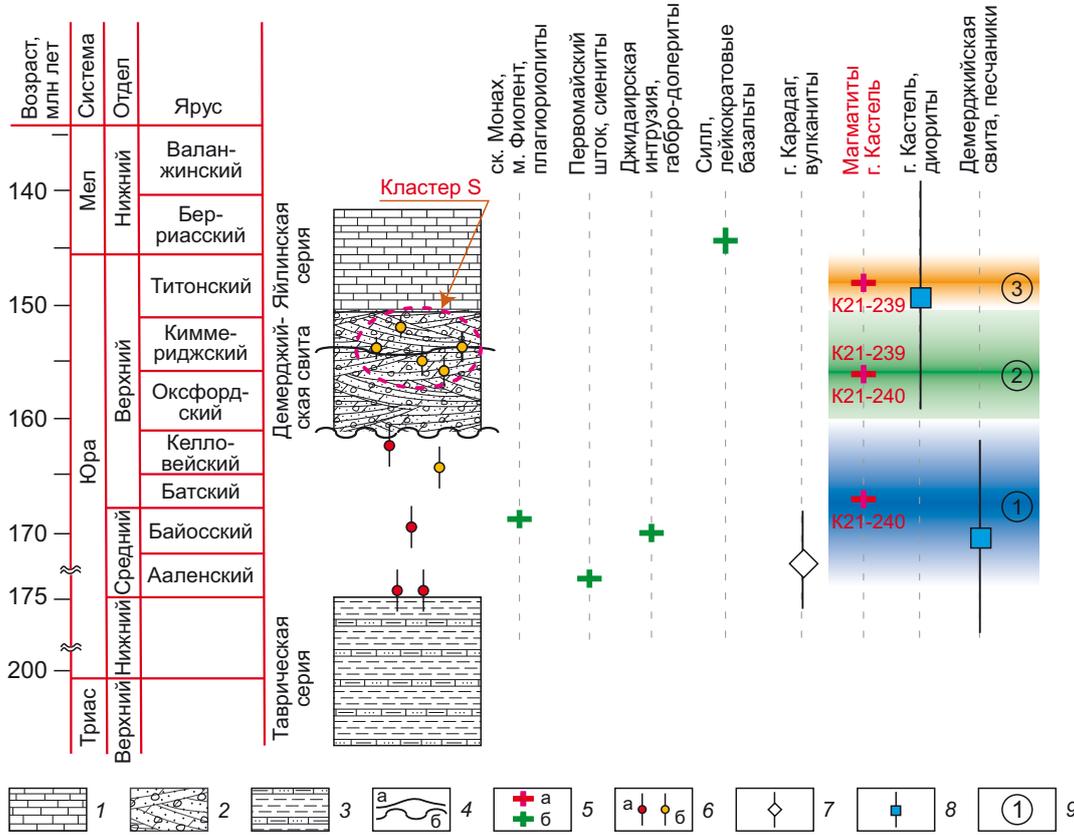


Рис. 21. Сводка результатов геохронологического изучения пород из магматических ареалов Горного Крыма и юрских зерен обломочного циркона из песчаников демерджийской свиты.

В верхней части рисунка – названия объектов, слева – временная и геологическая шкалы по [Cohen et al., 2023]. Справа цветными полосами показаны три этапа магматизма, проявленные в Кастельском интрузиве. Дополнительные комментарии по поводу «Кластера S» и этапов становления интрузива г. Кастель – в тексте. 1 – яйлинская серия, известняки; 2 – демерджийская свита, конгломераты и песчаники; 3 – таврическая серия, флиш; 4 – несогласия: а – эрозионное (конседиментационное угловое несогласие между нижней и верхней подсвитой демерджийской свиты), б – структурное; 5 – U-Pb датировки по циркону: а – магматитов Кастельского интрузива (наст. работа), б – других магматических тел: плагиориолиты скалы Монах, м. Фиолент по [Kuznetsov et al., 2022b], диориты Первомайского штока, диабазы Джидайрской интрузии и лейкобазальты безымянного силла по [Morozova et al., 2017]; 6 – юрские датировки зерен обломочного циркона из песчаного матрикса конгломератов нижней (а) и верхней (б) подсвиты демерджийской свиты; 7 – датировки Ar/Ar методом вулканитов массива Карадаг по [Popov et al., 2019]; 8 – оценки времени остывания диоритов Кастельского интрузива и демерджийской свиты по [Solov'ev, Rogov, 2010]; 9 – цифра в кружке – номер магматического этапа становления интрузива г. Кастель, этапы условно показаны цветными градиентными полосами. Вертикальный размер значков 5–8 показывает ошибку $\pm 1\sigma$.

Fig. 21. Summary of the geochronological results of the rocks from magmatic areas of the Mountainous Crimea and of the Jurassic detrital zircons from sandstones of the Demerdzhi formation.

The upper part of the figure presents the names of the objects, the left part – the timeline and the geological scale after [Cohen et al., 2023]. The colored stripes on the right are three stages of magmatism of the Kastel intrusive. See the text for additional comments on "Cluster S" and the Kastel intrusive formation stages. 1 – Yaila Series, limestones; 2 – Demerdzhi formation, conglomerates and sandstones; 3 – Tauric Series, flysch; 4 – unconformities: a – erosional (consedimentary angular unconformity between the lower and upper subformations of the Demerdzhi formation), b – structural; 5 – U-Pb zircon ages: a – magmatites of the Kastel intrusive (present paper), b – other magmatic bodies: plagiogranites of the Rock Monah, Cape Fiolent after [Kuznetsov et al., 2022b], diorites of the Pervomaisky stock, diabases of the Dzhidair intrusion and leucobasalts of the nameless sill after [Morozova et al., 2017]; 6 – Jurassic ages of detrital zircons from the sand matrix of the conglomerates of the lower (a) and upper (b) subformations of the Demerdzhi formation; 7 – Ar/Ar ages of volcanites of the Karadag massif after [Popov et al., 2019]; 8 – cooling time estimates for diorites of the Kastel intrusive and Demerdzhi formation after [Solov'ev, Rogov, 2010]; 9 – the circled number is the number of magmatic stage of the Kastel intrusive formation, the stages are conditionally shown by gradient color stripes. The vertical size of marks 5–8 shows an error of $\pm 1\sigma$.

подсвет. Гора Кагель расположена всего в 10–15 км от г. Южная Демерджи (см. рис. 2), поэтому магматиты Кагельского интрузива вполне могли быть потенциальным локальным источником циркона для обломочных пород демерджийской свиты.

Сопоставление полученных оценок возраста для трех магматических эпизодов г. Кагель и юрских возрастов зерен dZr из обломочных пород нижней и верхней подсветы демерджийской свиты показывает очень хорошее совпадение (рис. 21). Более того, особенности распределения юрских датировок зерен dZr в породах нижней и верхней подсветы демерджийской свиты, а также оценки времени остывания циркона из пород нижнедемерджийской подсветы и диоритов массива г. Кагель соответствуют реконструируемым палеогеографическим условиям последовательного накопления этих двух толщ. Изучение циркона из пород нижнедемерджийской подсветы и диоритов массива г. Кагель трековым методом [Solov'ev, Rogov, 2010] зафиксировало воздымание области, в пределах которой расположена г. Южная Демерджи, в ранней юре, а области, в пределах которой расположена г. Кагель, – в поздней юре (рис. 21). Однако погрешность этого метода довольно высокая, ожидать хороших совпадений с временными рубежами, полученными гораздо более точными методами, не приходится. При совместной интерпретации трековых данных и гораздо более точных результатов U-Pb изотопного датирования циркона речь может идти лишь о качественных корреляциях. Тем не менее мы полагаем, что трековые данные надежно зафиксировали воздымания в ранней и поздней юре той части Крымского региона, в пределах которой расположены горы Кагель и Южная Демерджи.

Возраст изученного фрагмента нижних уровней разреза верхнедемерджийской подсветы не может быть древнее, чем возраст самых молодых выявленных в породах из этого разреза зерен циркона. В породах самых низов разреза верхнедемерджийской подсветы выявлен кластер S из пяти зерен с верхнеюрскими датировками со средневзвешенным значением 154 ± 2 млн лет. Это дает надежное нижнее ограничение возраста начала накопления верхней подсветы, базальные уровни которой начали накапливаться на эрозионной поверхности нижней подсветы. Средневзвешенное значение по четырем самым молодым значениям возраста зерен циркона из нижнедемерджийской подсветы – 171 ± 2 млн лет (162 ± 2 , 170 ± 2 , 175 ± 2 и 175 ± 2 млн лет) ограничивает снизу ее возраст.

Накопление нижнедемерджийской подсветы происходило на фоне широко проявленного по всему Горному Крыму эпизода бимодального магматизма, в горном массиве Карадага сохранились реликты вулканических построек. Однако продукты разрушения магматических пород этого этапа зафиксированы только в породах демерджийской свиты, а в изученных породах средневерхнеюрских осадочных толщ других четырех разных локаций Горного Крыма зерен dZr с юрскими датировками нет. По-видимому, магматизм этой ста-

дии был проявлен на фоне регионального прогибания и преимущественно в виде интрузий, которые не попадали в размыв. Однако регион г. Кагель и г. Южная Демерджи был подвержен локальным воздыманиям, во время которых интрузивные тела могли выйти на поверхность, попасть в размыв, и таким образом единичные зерна циркона юрского возраста могли попасть в породы демерджийской свиты. Также поставщиком циркона могли быть несохранившиеся вулканические постройки.

Во время широко проявленного в Горном Крыму эпизода ранне- и среднеюрского бимодального магматизма, когда в области расположения будущей г. Кагель были внедрены первые порции базитовых магм, случилась локальная инверсия тектонических движений и регион испытал воздымание. Это воздымание было зафиксировано трековым методом в зернах циркона из демерджийских песчаников [Solov'ev, Rogov, 2010]. При этом продукты эрозии магматитов, внедрение которых происходило в том месте, где сейчас расположен Кагельский интрузив, попали в нижнедемерджийскую подсвету.

Во время этого эпизода магматизма были образованы также два других магматических тела: Первомайский шток (174 ± 2 млн лет) и Джидайрская интрузия (170 ± 2 млн лет), расположенные на расстоянии не более 50 км от мест отбора проб, характеризующих нижне- и верхнедемерджийские подсветы (см. рис. 1). Для этих тел U-Pb возраст в пределах допустимых погрешностей соответствует возрасту трех зерен dZr из нижнедемерджийской подсветы (рис. 21). Однако эти тела вряд ли были источниками юрского циркона для пород нижнедемерджийской подсветы, так как в цирконе из Первомайского штока и Джидайрской интрузии зафиксированы содержания U и Th и Th/U отношения, кардинально отличные от таковых в зернах dZr из пород нижнедемерджийской подсветы (см. рис. 14). Отметим, что циркон из магматитов г. Кагель и плагиориолитов мыса Фиолент по содержаниям U и Th гораздо лучше подходит на роль источника юрского циркона как для пород верхне-, так и для пород нижнедемерджийской подсветы (см. рис. 14).

Около рубежа 156 млн лет произошел второй эпизод магматизма, во время которого были переработаны базиты и выплавились магмы, давшие начало плагиогранитам г. Кагель. Этот этап магматизма коррелирует с тектонической перестройкой, во время которой произошло существенное изменение обстановки седиментации в окрестностях г. Южная Демерджи и было сформировано седиментационное несогласие, разделяющее нижне- и верхнедемерджийскую подсветы. Однако по результатам изучения возрастов детритового циркона существенного изменения в источниках сноса для пород верхней и нижней подсветы демерджийской свиты не зафиксировано (см. рис. 15). Это хорошо соответствует представлениям о том, что тектонические и деформационные события в этой части Горного Крыма в это время носили локальный характер.

В этой связи можно отметить, что в работах [Baraboshkin, Piskunov, 2010; Piskunov et al., 2012; Rud'ko, 2014] было показано, что верхняя подсвита демерджийской свиты, распространенная на западном склоне г. Южная Демерджи, сформирована в обстановке дельты гильбертова типа, которая характерна для тех мест впадения в осадочные бассейны горных рек, где происходят быстрые знакопеременные тектонические движения [Postma, 1990; Longhitano, 2008; Rohais et al., 2008].

Таким образом, многочисленные фактические данные свидетельствуют в пользу того, что магматиты г. Кагель и/или их близкорасположенные малообъемные аналоги были локальным источником циркона для пород, участвующих в строении разрезов нижней и верхней подсвиты демерджийской свиты, накопление которой происходило в расположенной поблизости от магматического ареала г. Кагель области, где в настоящее время расположена г. Южная Демерджи.

9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлены первые результаты U-Pb изотопного датирования (LA-ICP-MS, ГИН РАН) акцессорного циркона из магматитов интрузивного массива г. Кагель и обломочного циркона из песчаного матрикса конгломератов нижней подсвиты верхнеюрской демерджийской свиты (окрестности г. Южная Демерджи).

Полученные по пробам K21-239 (плаггиограниты) и K21-240 (аплиты) из магматитов г. Кагель три оценки возраста – 147 ± 1 , 156 ± 1 и 167 ± 1 млн лет – отражают события, которые происходили в Кагельском интрузиве. Это в полной мере соответствует представлениям о его длительной и многоэтапной магматической эволюции.

Возраст 167 ± 1 млн лет совпадает с широко проявленным по всему Горному Крыму от м. Фиолент до Карадага эпизодом бимодального магматизма. Внедрение первых порций базитовой магмы положило начало формированию Кагельского интрузива. Возраст 156 ± 1 млн лет мы связываем со вторым этапом, во время которого происходила кристаллизация плаггиогранитов из дифференциата основной магмы и был сформирован основной объем интрузива. Возраст 147 ± 1 млн лет проявлен только в аплитовой жиле, поэтому мы трактуем его как вспомогательный эпизод, который не оказал большого влияния на основное тело интрузива, а был проявлен локально и связан с кристаллизацией остаточных порций расплава, обусловившей формирование опережающих/секущих основной массив аплитовых жил.

Шесть «доюрских» кристаллов циркона из магматических пород Кагельского интрузива мы интерпретируем как унаследованные из протолита. Возраст этих кристаллов указывает на то, что среди кристаллических пород, участвовавших в строении протолита, были широко представлены породы позднепалеозойско-раннемезозойского возраста, а более древние могли играть лишь очень небольшую роль.

Следующие фактические данные доказывают, что Кагельский интрузив (возможно и его возрастные аналоги, которые не дошли до нас или в настоящее время скрыты под более молодыми толщами) были локальным источником обломочного материала для пород демерджийской свиты.

1. Среди зерен детритового циркона из песчаного матрикса конгломератов нижней (проба K19-304) и верхней (проба K15-007) подсвиты демерджийской свиты выявлены зерна dZr с юрскими возрастными. В песчаных разностях грубообломочных юрских пород других четырех локаций в Горном Крыму, для которых в настоящее время уже есть результаты U-Pb датирования циркона, юрский циркон не выявлен. Это – (i) битакские конгломераты на юго-восточной окраине Симферополя, (ii) конгломераты г. Спилля около Балаклавской бухты, (iii) конгломераты правого борта Байдарской долины около с. Орлиное, а также (iiii) песчаники ченкской толщи на южном склоне плато Обсерватория. Поставщиком юрских зерен dZr в демерджийскую свиту мог быть только близкорасположенный источник.

2. В породах верхней подсвиты (проба K15-007) зафиксирована группа из пяти зерен не только с близкими верхнеюрскими возрастными $\sim 154 \pm 2$ млн лет, но также схожими содержаниями элементов-примесей и близкими слабоотрицательными Hf-характеристиками ($\epsilon_{\text{Hf}} = -1.5 \dots -6.9$). Поставщиком таких зерен dZr мог быть только близкорасположенный локальный источник.

3. Подразделение демерджийской свиты на нижнюю и верхнюю подсвиту, а также фациальные отличия и реконструируемые седиментационные обстановки накопления верхней и нижней подсвиты хорошо коррелируют с представлениями о трехэтапной истории становления Кагельского интрузива.

– Нижнедемерджийская подсвита (грубообломочные породы) накапливалась в режиме прогибания бассейна во время широко проявленного в Горном Крыму эпизода среднеюрского магматизма, в том числе в области, в пределах которой сейчас расположена г. Кагель, когда около рубежа 167 ± 2 млн лет были внедрены первые порции базитовых магм. Продукты разрушения базальтовой составляющей этого эпизода магматизма и/или выведенных локально на поверхность интрузивных тел попали в нижнюю подсвиту демерджийской толщи.

– Около рубежа 156 ± 2 млн лет выплавился и внедрился основной объем Кагельского интрузива. Этому этапу соответствует существенное изменение обстановки седиментации в окрестностях г. Южная Демерджи, которое выразилось в формировании седиментационного несогласия между нижней и верхней демерджийскими подсвитами. Однако по результатам изучения возрастов зерен dZr существенного изменения в источниках сноса для верхней и нижней подсвиты не зафиксировано. Это отражает, очевидно, то, что тектонические и деформационные события в этой части региона Горного Крыма в это время носили локальный

характер. Кастельский интрузив был локальным источником материала для пород верхней толщи демерджийской свиты.

– Следующий, третий, эпизод магматизма г. Кастель – кристаллизация аплитовых жил около рубежа 147 ± 1 млн лет – произошел во время накопления верхней подсвиты. Мы интерпретируем внедрение дайки и силлоподобных тел базитов с возрастом около 144.2 ± 2.0 млн лет в долине Бодрака и аплитовых жил интрузива г. Кастель с возрастом 147 ± 1 млн лет как связанные события, маркирующие самое начало процесса раскрытия глубоководных впадин Черного моря.

10. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД

АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку рукописи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

All authors made an equivalent contribution to this article, read and approved the final manuscript.

11. РАСКРЫТИЕ ИНФОРМАЦИИ / DISCLOSURE

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанного с этой рукописью.

The authors declare that they have no conflicts of interest relevant to this manuscript.

12. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Andersen T., 2002. Correction of Common Lead in U-Pb Analyses That Do Not Report ^{204}Pb . *Chemical Geology* 192 (1–2), 59–79. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(02\)0195-X](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)0195-X).

Andersen T., 2008. ComPbCorr – Software for Common Lead Correction of U-Th-Pb Analyses That Do Not Report ^{204}Pb . In: P.J. Sylvester (Ed.), *Laser Ablation ICP-MS in the Earth Sciences: Current Practices and Outstanding Issues*. Mineralogical Association of Canada Short Course Series. Vol. 40. Vancouver, Canada, p. 312–314.

Aygül M., Okay A.I., Oberhansli R., Sudo M., 2016. Pre-Collisional Accretionary Growth of the Southern Laurasian Active Margin, Central Pontides, Turkey. *Tectonophysics* 671, 218–234. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2016.01.010>.

Bagdasaryan G.P., Lebedinsky V.I., 1967. New Data on the Absolute Age of Magmatic Rocks of the Mountainous Crimea. *Doklady of the Academy of Sciences of the USSR* 1 (1), 149–152 (in Russian) [Багдасарян Г.П., Лебединский В.И. Новые данные об абсолютном возрасте магматических пород Горного Крыма // Доклады АН СССР. 1967. Т. 1. № 1. С. 149–152].

Varaboshkin E.Yu., Piskunov V.K., 2010. Structure and Conditions of Formation of Upper Jurassic Deposits of Mt. Pakhal-Kaya Area (the Crimea). *Moscow University Geology Bulletin* 1, 17–25 (in Russian) [Варабошкин Е.Ю., Пискунов В.К. Строение и условия формирования верхнеюрских отложений района г. Пакхал-Кая (Крым) // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2010. № 1. С. 17–25].

Chernov V.G., 1971. On the Composition of the Upper Jurassic Conglomerates of the Demerdzhi Mountain in the Crimea. *Moscow University Geology Bulletin* 2, 18–28 (in Russian) [Чернов В.Г. О составе верхнеюрских конгломератов горы Демерджи в Крыму // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 1971. № 2. С. 18–28].

Çimen O., Göncüoğlu M.C., Simonetti A., Sayit K., 2017. Whole Rock Geochemistry, Zircon U-Pb and Hf Isotope Systematics of the Çangaldağ Pluton: Evidences for Middle Jurassic Continental Arc Magmatism in the Central Pontides, Turkey. *Lithos* 290–291, 136–155. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2017.06.020>.

Cohen K.M., Harper D.A.T., Gibbard P.L., Car N., 2023. The ICS International Chronostratigraphic Chart, September 2023. Available from: <http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2023-09.pdf> (Last Accessed May 20, 2024).

Demina L.I., Promyslova M.Y., Koronovskii N.V., Tzarev V.V., 2017. First Find of Serpentinite in the Cliffs of the Heracleian Peninsula of Southwestern Crimea. *Doklady Earth Sciences*. 2017. 475, 724–726. <https://doi.org/10.1134/S1028334X17070017>.

Demina L.I., Promyslova M.Yu., Koronovskii N.V., Tzarev V.V., 2015. The First Finding of Serpentinite in Bedrock Outcrops of Crimean Mountains. *Moscow University Geology Bulletin* 70 (5), 377–385. <https://doi.org/10.3103/S0145875215050038>.

Dokuz A., Karsli O., Chen B., Uysa I., 2010. Sources and Petrogenesis of Jurassic Granitoids in the Yusufeli Area, Northeastern Turkey: Implications for Pre- and Post-collisional Lithospheric Thinning of the Eastern Pontides. *Tectonophysics* 480 (1–4), 259–279. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.10.009>.

Elhoul S., Belousova E., Griffin W.L., Pearson N.J., O'Reilly S.Y., 2006. Trace Element and Isotopic Composition of GJ-Red Zircon Standard by Laser Ablation. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 70 (18), A158. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2006.06.1383>.

Gallhofer D., von Quadt A., Peytcheva I., Schmid S.M., Heinrich C.A., 2015. Tectonic, Magmatic, and Metallogenic Evolution of the Late Cretaceous Arc in the Carpathian-Balkan Orogen. *Tectonics* 34 (9), 1813–1836. <https://doi.org/10.1002/2015TC003834>.

Gallhofer D., von Quadt A., Schmid S.M., Guillong M., Peytcheva I., Seghed I., 2017. Magmatic and Tectonic History of Jurassic Ophiolites and Associated Granitoids from the South Apuseni Mountains (Romania). *Swiss Journal of Geosciences* 110, 699–719. <https://doi.org/10.1007/s00015-016-0231-6>.

Galoyan Gh.L., Melkonyan R.L., Atayan L.S., Chung S.L., Khorenyan R.H., Lee Y.H., Amiraghyan S.V., 2018. On the Petrology and Geochemistry of the Jurassic Magmatites of the Somkhethi Segment of Somkhetho-Karabagh Tectonic Zone (Northern Armenia). *Proceedings of NAS RA. Earth Sciences* 71 (1), 3–27.

Gehrels G., 2012. Detrital Zircon U-Pb Geochronology: Current Methods and New Opportunities. In: C. Busby, A. Azor (Eds), *Tectonics of Sedimentary Basins: Recent*

Advances. John Wiley & Sons, UK, p. 45–62. <https://doi.org/10.1002/9781444347166.ch2>.

Geological Map of Crimea, 1968. Scale of 1:1000000. VSEGEI, Leningrad (in Russian) [Геологическая карта Крыма. Масштаб 1:1000000. Л.: ВСЕГЕИ, 1968].

Geological Map of the Mountainous Crimea, 1984. Scale of 1:200000. Explanatory Note. Publishing House of the USSR Ministry of Geology, Kiev, 134 p. (in Russian) [Геологическая карта Горного Крыма. Масштаб 1:200000: Объяснительная записка. Киев: Мингео УССР, 1984. 134 с.].

Griffin W.L., Powell W.J., Pearson N.J., O'Reilly S.Y., 2008. GLITTER: Data Reduction Software for Laser Ablation ICP-MS. In: P.J. Sylvester (Ed.), *Laser Ablation ICP-MS in the Earth Sciences: Current Practices and Outstanding Issues*. Mineralogical Association of Canada Short Course Series. Vol. 40. Vancouver, Canada, p. 308–311.

Horstwood M.S.A., Kosler J., Gehrels G., Jackson S.E., McLean N.M., Paton Ch., Pearson N.J., Sircombe K. et al., 2016. Community-Derived Standards for LA-ICP-MS U-(Th)-Pb Geochronology – Uncertainty Propagation, Age Interpretation and Data Reporting. *Geostandards and Geoanalytical Research* 40 (3), 311–332. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.2016.00379.x>.

Hoskin P.W., Schaltegger U., 2003. The Composition of Zircon and Igneous and Metamorphic Petrogenesis. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 53 (1), 27–62. <https://doi.org/10.2113/0530027>.

Jackson S.E., Pearson N.J., Griffin W.L., Belousova E.A., 2004. The Application of Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry to in Situ U-Pb Zircon Geochronology. *Chemical Geology* 211 (1–2), 47–69. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.06.017>.

Kaczmarek M.A., Müntener O., Rubatto D., 2008. Trace Element Chemistry and U-Pb Dating of Zircons from Oceanic Gabbros and Their Relationship with Whole Rock Composition (Lanzo, Italian Alps). *Contributions to Mineralogy and Petrology* 155, 295–312. <https://doi.org/10.1007/s00410-007-0243-3>.

Kaulina T.V., 2010. Formation and Metamorphism of Zircon in Polymetamorphic Complexes. KSC RAS, Apatity, 144 p. (in Russian) [Каулина Т.В. Образование и преобразование циркона в полиметаморфических комплексах. Апатиты: КНЦ РАН, 2010. 144 с.].

Kirkland C.L., Smithies R.H., Taylor R.J.M., Evans N., McDonald B., 2015. Zircon Th/U Ratios in Magmatic Environments. *Lithos* 212–215, 397–414. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2014.11.021>.

Kolodyazhny S.Yu., Kuznetsov N.B., Romanyuk T.V., Strashko A.V., Shalaeva E.A., Novikova A.S., Dubenskiy A.S., Erofeeva K.G., Sheshukov V.S., 2023. The Nature of the Puchezh-Katunki Impact Structure (The Central Part of the East European Platform): Results of the U-Th-Pb Isotope System Study of Detrital Zircons from Explosive Breccias. *Geotectonics* 57, 602–625. <https://doi.org/10.1134/S0016852123050047>.

Kuznetsov N.B., Belousova E.A., Griffin W.L., O'Reilly S.Y., Romanyuk T.V., Rud'ko S.V., 2019. Pre-Mesozoic Crimea as a Continuation of the Dobrogea Platform: Insights from Detri-

tal Zircons in Upper Jurassic Conglomerates, Mountainous Crimea. *International Journal of Earth Sciences* 108, 2407–2428. <https://doi.org/10.1007/s00531-019-01770-2>.

Kuznetsov N.B., Romanyuk T.V., Nikishin A.M., Strashko A.A., Kolesnikova A.A., Dubenskiy A.S., Sheshukov V.S., Lyapunov S.M., Novikova A.S., Moskovsky D.V., 2022a. Provenance of the Upper Triassic – Lower Jurassic Flysch and the Middle–Upper Jurassic Coarse Clastic Sequences in the Cimmerides of the Crimean Mountains Based on the Results of U-Th-Pb Isotopic Dating of Detrital Zircon Grains. *Stratigraphy and Geological Correlation* 30, 228–249. <https://doi.org/10.1134/S0869593822040050>.

Kuznetsov N.B., Romanyuk T.V., Strashko A.A., Novikova A.S., 2022b. Ophiolite Association of Cape Fiolent (Western Crimean Mountains) – An Upper Age Limit Based on U-Pb Isotope Dating of Plagioclites (Rock Monakh). *Journal of Mining Institute* 255, 435–447. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.37>.

Kuznetsov N.B., Strashko A.V., Romanyuk T.V., Nikishin A.M., Moskovsky D.V., Novikova A.S., Dubenskiy A.S., Erofeeva K.G., Sheshukov V.S., 2024. The First Results of U-Th-Pb Isotopic Dating of Detrital Zircons from the Chenka Sandstones: A Contribution to the Stratigraphy of the Cimmerides of Mountainous Crimea. *Stratigraphy and Geological Correlation* 32, 265–293. <https://doi.org/10.1134/S0869593824030031>.

Lalomov A.V., 2007. Reconstruction of Paleohydrodynamic Conditions During the Formation of Upper Jurassic Conglomerates of the Crimean Peninsula. *Lithology and Mineral Resources* 42, 268–280. <https://doi.org/10.1134/S0024490207030066>.

Lebedinsky V.I., Solovyov I.V., 1988. Bajocian Volcanic Structures of the Mountainous Crimea. *Geologicheskii Zhurnal* 4, 85–93 (in Russian) [Лебединский В.И., Соловьев И.В. Байосские вулканоструктуры Горного Крыма // Геологический журнал. 1988. № 4. С. 85–93].

Linnemann U., Ouzegane K., Drareni A., Hofmann M., Becker S., Gärtner A., Sagawe A., 2011. Sands of West Gondwana: An Archive of Secular Magmatism and Plate Interactions – A Case Study from the Cambro-Ordovician Section of the Tassili Ouan Ahaggar (Algerian Sahara) Using U-Pb-LA-ICP-MS Detrital Zircon Ages. *Lithos* 123 (1–4), 188–203. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2011.01.010>.

Longhitano S.G., 2008. Sedimentary Facies and Sequence Stratigraphy of Coarse-Grained Gilbert-Type Deltas Within the Pliocene Thrust-Top Potenza Basin (Southern Apennines, Italy). *Sedimentary Geology* 210 (3–4), 87–110. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2008.07.004>.

Ludwig K.R., 2012. ISOPLOT 3.75. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. User's Manual. Berkeley Geochronology Center Special Publication 5, 75 p.

Lysenko V.I., 2019a. Characteristic of the Volcanogenic Thickness of the Upper Trias in the South-Western Part of Mountain Crimea. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology* 5 (4), 230–253 (in Russian) [Лысенко В.И. Лавовые палеопотоки триасового вулканизма в юго-западной части Горного Крыма // Ученые записки Крымского федерального

университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2019. Т. 5. № 4. С. 230–253].

Lysenko V.I., 2019b. Triassic Volcanism in the South-Western Part of Mountain Crimea. Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology 5 (3), 306–325 (in Russian) [Лысенко В.И. Лавовые палеопотоки триасового вулканизма в юго-западной части Горного Крыма // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. География. Геология. 2019. Т. 5. № 3. С. 306–325].

Mazarovich O.A., Mileev V.S., 1989. Geological Structure of the Kacha Uplift of the Mountainous Crimea. Mesozoic Stratigraphy. MSU Publishing House, Moscow, 168 p. (in Russian) [Мазарович О.А., Милеев В.С. Геологическое строение Качинского поднятия Горного Крыма. Стратиграфия мезозоя. М.: Изд-во МГУ, 1989. 168 с.].

Meijers M.J.M., Vrouwe B., van Hinsbergen D.J.J., Kuiper K.F., Wijbrans J., Davies G.R., Stephenson R.A., Kaymakci N., Matenco L., Saintot A., 2010. Jurassic Arc Volcanism on Crimea (Ukraine): Implications for the Paleo-Subduction Zone Configuration of the Black Sea Region. Lithos 119, 412–426. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2010.07.017>.

Mileev V.S., Baraboshkin E.Yu., Rozanov S.B., Rogov M.A., 2006. Kimmerian and Alpine Tectonics of Mountain Crimea. Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Section 81 (3), 22–33 (in Russian) [Милеев В.С., Барабошкин Е.Ю., Розанов С.Б., Рогов М.А. Киммерийская и альпийская тектоника Горного Крыма // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. 2006. Т. 81. № 3. С. 22–33].

Mileev V.S., Baraboshkin E.Yu., Rozanov S.B., Rogov M.A., 2009. Tectonics and Geodynamic Evolution of Mountain Crimea. Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Section 84 (3), 3–22 (in Russian) [Милеев В.С., Барабошкин Е.Ю., Розанов С.Б., Рогов М.А. Тектоника и геодинамическая эволюция Горного Крыма // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. 2009. Т. 84. № 3. С. 3–22].

Mileev V.S., Rozanov S.B., Baraboshkin E.Yu., Shalimov I.V., 1995. Location of the Upper Jurassic Deposits in the Structure of the Mountainous Crimea. Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Series 70 (1), 22–31 (in Russian) [Милеев В.С., Розанов С.Б., Барабошкин Е.Ю., Шалимов И.В. Положение верхнеюрских отложений в структуре Горного Крыма // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. 1995. Т. 70. № 1. С. 22–31].

Mileev V.S., Rozanov S.B., Baraboshkin E.Yu., Shalimov I.V., 1997. Geological Structure and Evolution of the Mountainous Crimea. Moscow University Geology Bulletin 3, 17–21 (in Russian) [Милеев В.С., Розанов С.Б., Барабошкин Е.Ю., Шалимов И.В. Геологическое строение и эволюция Горного Крыма // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 1997. № 3. С. 17–21].

Morozova E.B., Sergeev S.A., Savelev A.D., 2017. Cretaceous and Jurassic Intrusions in Crimean Mountains: The First Data of U-Pb (SIMS SHRIMP) Dating. Doklady Earth Sciences 474, 530–534. <https://doi.org/10.1134/S1028334X17050075>.

Morozova E.B., Sergeev S.A., Sufiev A.A., 2012. U-Pb Zircon Age of Djidair Intrusion as Benchmark Object for Geology

of the Crimea (Crimean Training Area of St. Petersburg State University). Vestnik of Saint Petersburg University. Series 7. Geology, Geography 4, 25–33 (in Russian) [Морозова Е.Б., Сергеев С.А., Суфиев А.А. U-Pb-цирконовый (SHRIMP) возраст Джидайрской интрузии как реперного объекта для геологии Крыма (Крымский учебный полигон СПбГУ) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология, география. 2012. № 4. С. 25–33].

Muratov M.V. (Ed.), 1969. Geology of the USSR. Crimea. Vol. VIII. Part. 1. Nedra, Moscow, 575 p. (in Russian) [Геология СССР. Крым / Ред. М.В. Муратов. М.: Недра, 1969. Т. VIII. Ч. 1. 575 с.].

Nikishin A.M., Alekseev A.S., Baraboshkin E.Yu., Bolotov S.N., Kopaevich L.F., Nikitin M.Yu., Panov D.I., Fokin P.A., Gabdullin R.R., Gavrilov Yu.O., 2006. Geological History of the Bakhchysarai Region of the Crimea. Training Manual on the Crimean Practice. MSU Publishing House, Moscow, 60 p. (in Russian) [Никишин А.М., Алексеев А.С., Барабошкин Е.Ю., Болотов С.Н., Копеевич Л.Ф., Никитин М.Ю., Панов Д.И., Фокин П.А., Габдуллин Р.Р., Гаврилов Ю.О. Геологическая история Бахчисарайского района Крыма: Учебное пособие по Крымской практике. М.: Изд-во МГУ, 2006. 60 с.].

Nikishin A.M., Gabdullin R.R., Makhatadze G.V., Khudoley A.K., Rubtsova E.V., 2016. Bitaxian Conglomerates as a Key to Understanding the Middle Jurassic Geological History of the Crimea. Moscow University Geology Bulletin 6, 20–27 (in Russian) [Никишин А.М., Габдуллин Р.Р., Махатадзе Г.В., Худолей А.К., Рубцова Е.В. Битакские конгломераты как ключ для понимания среднеюрской геологической истории Крыма // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2016. № 6. С. 20–27]. <https://doi.org/10.33623/0579-9406-2016-6-20-27>.

Nikishin A.M., Pravikova N.V., Shanina V.V. (Eds), 2020a. Field Training Geological Practice at a Distance. University Book House, Moscow, 1064 p. (in Russian) [Практика по полевым методам геологических исследований (дистанционная) / Ред. А.М. Никишин, Н.В. Правикова, В.В. Шанина. М.: КДУ, 2020. 1064 с.].

Nikishin A.M., Romanyuk T.V., Moskovskii D.V., Kuznetsov N.B., Kolesnikova A.A., Dubenskii A.S., Sheshukov V.S., Lyapunov S.M., 2020b. Upper Triassic Sequences of the Crimean Mountains: First Results of U-Pb Dating of Detrital Zircons. Moscow University Geology Bulletin 75, 220–236. <https://doi.org/10.3103/S0145875220030096>.

Nikishin A.M., Wannier M., Alekseev A.S., Almendinger O.A., Fokin P.A., Gabdullin R.R., Khudoley A.K., Kopaevich L.F., Mityukov A.V., Petrov E.I., Rubsova E.V., 2017. Mesozoic to Recent Geological History of Southern Crimea and the Eastern Black Sea Region. In: M. Sosson, R.A. Stephenson, S.A. Adamia (Eds), Tectonic Evolution of the Eastern Black Sea and Caucasus. Geological Society of London Special Publications 428, 241–264.

Nikitin M.Yu., Bolotov S.N., 2006. Geological Structure of the Crimean Testing Ground of the Moscow State University: An Album of Drawings Concerning the Second Educational Geological Practice (Folded Complex). Part 2. MSU Publishing House, Moscow, 110 p. (in Russian) [Никитин М.Ю.,

Болотов С.Н. Геологическое строение Крымского учебного полигона МГУ: Альбом рисунков по второй учебной геологической практике (Складчатый комплекс). М.: Изд-во МГУ, 2006. Ч. 2. 110 с.].

Nikitin M.Yu., Sedaeva K.M., Maiorova T.P., 2006. A Guidebook to the First Crimean Educational Geological Practice. Part 1. Syktyvkar State University, Syktyvkar, 154 p. (in Russian) [Никитин М.Ю., Седаева К.М., Майорова Т.П. Путеводитель по первой Крымской учебно-геологической практике. Сыктывкар: СГУ, 2006. Ч. 1. 154 с.].

Okay A.I., Nikishin A.M., 2015. Tectonic Evolution of the Southern Margin of Laurasia in the Black Sea Region. *International Geology Review* 57 (5–8), 1051–1076. <https://doi.org/10.1080/00206814.2015.1010609>.

Panov D.I., 2002. Stratigraphy of the Triassic and Lower-Middle Jurassic Deposits of the Lozovoye Zone of the Mountainous Crimea. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Section* 77 (3), 13–25 (in Russian) [Панов Д.И. Стратиграфия триасовых и нижне-среднеюрских отложений Лозовской зоны Горного Крыма // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. 2002. Т. 77. № 3. С. 13–25].

Panov D.I., Bolotov S.N., Nikishin A.M., 2001. Scheme of the Stratigraphic Division of the Triassic and Lower Jurassic Deposits of the Mountainous Crimea. In: *Geodynamics and Oil- and Gas-Bearing Systems of the Black Sea–Caspian Region. Collected Reports of the III International Conference "Crimea-2001"* (September 17–21, 2001, Crimea, Gurzuf). Tauria-Plus, Simferopol, p. 127–134 (in Russian) [Панов Д.И., Болотов С.Н., Никишин А.М. Схема стратиграфического расчленения триасовых и нижнеюрских отложений Горного Крыма // Геодинамика и нефтегазоносные системы Черноморско-Каспийского региона: Сборник докладов III Международной конференции «Крым-2001» (17–21 сентября 2001 г. Крым, Гурзуф). Симферополь: Таврия-Плюс, 2001. С. 127–134].

Pettke T., Audetat A., Schaltegger U., Heinrich C.A., 2005. Magmatic-to-Hydrothermal Crystallization in the W-Sn Mineralized Mole Granite (NSW, Australia): Part II: Evolving Zircon and Thorite Trace Element Chemistry. *Chemical Geology* 220 (3–4), 191–213. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.02.017>.

Piskunov V.K., Rudko V.K., Baraboshkin E.Yu., 2012. Structure and Formation Conditions of the Upper Jurassic Deposits in the Demerdzhi Plateau Area (Mountainous Crimea). *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Section* 87 (5), 7–23 (in Russian) [Пискунов В.К., Рудько С.В., Барабошкин Е.Ю. Строение и условия формирования верхнеюрских отложений района плато Демерджи (Горный Крым) // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. 2012. Т. 87. Вып. 5. С. 7–23].

Popov D.V., Brovchenko V.D., Nekrylov N.A., Plechov P.Yu., Spikings R.A., Tyutyunnik O.A., Krigman L.V., Anosova M.O., Kostitsyn Y.A., Soloviev A.V., 2019. Removing a Mask of Alteration: Geochemistry and Age of the Karadag Volcanic Sequence in SE Crimea. *Lithos* 324–325, 371–384. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.11.024>.

Postma G., 1990. Depositional Architecture and Facies of River and Fan Deltas: A Synthesis. In: A. Colella, D.B. Prior

(Eds), *Coarse Grained Deltas*. Vol.10. Blackwell, Oxford, p. 13–27. <https://doi.org/10.1002/9781444303858.ch2>.

Promyslova M.Yu., Demina L.I., Bychkov A.Yu., Gushchin A.I., Koronovsky N.V., Tsarev V.V., 2016. Ophiolitic Association of Cape Fiolent Area, Southwestern Crimea. *Geotectonics* 50, 21–34. <https://doi.org/10.1134/S0016852116010040>.

Promyslova M.Yu., Demina L.I., Bychkov A.Yu., Gushchin A.I., Tsarev V.V., 2014. The Nature of Magmatism in the Fiolent Cape Area, Southwestern Crimea. *Moscow University Geology Bulletin* 69, 390–398. <https://doi.org/10.3103/S014587521406009X>.

Promyslova M.Yu., Demina L.I., Gustchin A.I., Koronovskii N.V., 2017. The Breccia Types of the Southwestern Crimea Ophiolite Association, and Their Significance for the Paleogeodynamics of the Region. *Moscow University Geology Bulletin* 3, 35–40 (in Russian) [Промыслова М.Ю., Демина Л.И., Гущин А.И., Короновский Н.В. Типы брекчий офиолитовой ассоциации Юго-Западного Крыма и их значение для палеогеодинамики региона // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2017. № 3. С. 35–40]. <https://doi.org/10.33623/0579-9406-2017-3-35-40>.

Ramezani J., Dunning G.R., Wilson M.R., 2000. Geologic Setting, Geochemistry of Alteration, and U-Pb Age of Hydrothermal Zircon from the Silurian Stog'er Tight Gold Prospect, Newfoundland Appalachians, Canada. *Exploration and Mining Geology* 9 (3–4), 171–188. <https://doi.org/10.2113/0090171>.

Rohais S., Eschard R., Guillocheau F., 2008. Depositional Model and Stratigraphic Architecture of Rift Climax Gilbert-Type Fan Deltas (Gulf of Corinth, Greece). *Sedimentary Geology* 210 (3–4), 132–145. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2008.08.001>.

Romanyuk T.V., Kotler P.D., 2024. Method of Estimating the Integral Roundness Index for Detrital Zircons: A Case Study of Cimmeride Sedimentary Sequences in the Crimean Mountains. *Lithology and Mineral Resources* 59, 299–313. <https://doi.org/10.1134/S0024490224700524>.

Romanyuk T.V., Kuznetsov N.B., Rud'ko S.V., Kolesnikova A.A., Moskovsky D.V., Dubensky A.S., Sheshukov V.S., Lyapunov S.M., 2020. Stages of Carboniferous-Triassic Magmatism in the Black Sea Region Based on Isotope-Geochronological Study of Detrital Zircons from Jurassic Coarse Clastic Strata of the Mountainous Crimea. *Geodynamics & Tectonophysics* 11 (3), 453–473 (in Russian) [Романюк Т.В., Кузнецов Н.Б., Рудько С.В., Колесникова А.А., Московский Д.В., Дубенский А.С., Шешуков В.С., Ляпунов С.М. Этапы каменноугольно-триасового магматизма в Причерноморье по результатам изотопно-геохронологического изучения зерен детритового циркона из юрских грубообломочных толщ Горного Крыма. Геодинамика и тектонофизика. 2020. Т. 11. № 3. С. 453–473]. <https://doi.org/10.5800/GT-2020-11-3-0486>.

Routes for the Crimean Geological Training Practice, 2021. Moscow, 215 p. (in Russian) [Маршруты Крымской учебной практики по общей геологии. М., 2021. 215 с.].

Rubatto D., 2017. Zircon: The Metamorphic Mineral. Reviews in Mineralogy and Geochemistry 83 (1), 261–295. <https://doi.org/10.2138/rmg.2017.83.9>.

Rubin J.N., Henry C.D., Price J.G., 1989. Hydrothermal Zircons and Zircon Overgrowths, Sierra-Blanca Peaks, Texas. American Mineralogist 74 (7–8), 865–869.

Rubin J.N., Henry C.D., Price J.G., 1993. The Mobility of Zirconium and Other "Immobile" Elements During Hydrothermal Alteration. Chemical Geology 110 (1–3), 29–47. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(93\)90246-F](https://doi.org/10.1016/0009-2541(93)90246-F).

Rud'ko S.V., 2014. Lithology of the Progradation Structures in the Upper Jurassic – Lower Cretaceous Deposits of the Mountainous Crimea. PhD Thesis (Candidate of Geology and Mineralogy). Moscow, 230 p. (in Russian) [Рудько С.В. Литология проградационных структур в верхнеюрских нижнемеловых отложениях Горного Крыма: Дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2014. 230 с.].

Rud'ko S.V., Kuznetsov N.B., Belousova E.A., Romanyuk T.V., 2019. Age, Hf-Isotope Systematic of Detrital Zircons and the Source of Conglomerates of the Southern Demerdzhi Mountain, Mountainous Crimea. Geotectonics 53, 569–587. <https://doi.org/10.1134/S0016852119050042>.

Rud'ko S.V., Kuznetsov N.B., Romanyuk T.V., Belousova E.A., 2018. Structure and the Age of Conglomerates of Mount Southern Demerdzhi Based on the First U/Pb-Dating of Detrital Zircons (Upper Jurassic, Crimean Mountains). Doklady Earth Sciences 483, 1423–1426. <https://doi.org/10.1134/S1028334X18110223>.

Sarifakioglu E., Dilek Y., Sevin M., 2014. Jurassic–Paleogene Intraoceanic Magmatic Evolution of the Ankara Mélange, North-Central Anatolia, Turkey. Solid Earth 5 (1), 77–108. <https://doi.org/10.5194/se-5-77-2014>.

Schaltegger U., Pettke T., Audétat A., Reusser E., Heinrich C.A., 2005. Magmatic-to-Hydrothermal Crystallization in the W-Sn Mineralized Mole Granite (NSW, Australia): Part I: Crystallization of Zircon and REE-Phosphates over Three Million Years – A Geochemical and U-Pb Geochronological Study. Chemical Geology 220 (3–4), 215–235. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.02.018>.

Shnyukov E.F., Shcherbakov I.B., Shnyukova E.E., 1997. Paleoisland Arc of the Northern Black Sea. Kiev, 288 p. (in Russian) [Шнюков Е.Ф., Щербаков И.Б., Шнюкова Е.Е. Палеоостровная дуга севера Черного моря. Киев, 1997. 288 с.].

Shnyukov E.F., Zakharov Z.G., Nesterovsky V.A., 1990. Lithodynamical Studies of the Conglomerate Units of the Mountainous Crimea with the Aim of Doing Paleogeographical Reconstructions of the Upper Jurassic Time. Geologicheskii Zhurnal 4, 111–117 (in Russian) [Шнюков Е.Ф., Захаров З.Г., Нестеровский В.А. Литодинамические исследования конгломератовых толщ Горного Крыма с целью палеогеографических реконструкций верхнеюрского времени // Геологический журнал. 1990. № 4. С. 111–117].

Shnyukova E.E., 2016. Magmatism of the Junction Zone of the Western Black Sea Basin, Mountainous Crimea and Scythian Plate. Naukova Dumka, Kiev, 234 p. (in Russian) [Шнюкова Е.Е. Магматизм зоны сочленения Западно-

Черноморской впадины, Горного Крыма и Скифской плиты. Киев: Наукова Думка, 2016. 234 с.].

Shutov V.D., 1965. A Review and Analysis of the Mineralogical Classifications of Sand Rocks. Lithology and Mineral Resources 1, 95–112 (in Russian) [Шутов В.Д. Обзор и анализ минералогических классификаций песчаных пород // Литология и полезные ископаемые. 1965. № 1. С. 95–112].

Sláma J., Košler J., Condon D.J., Crowley J.L., Gerdes A., Hanchar J.M., Horstwood M.S.A., Morris G.A. et al., 2008. Plešovice Zircon – A New Natural Reference Material for U-Pb and Hf Isotopic Microanalysis. Chemical Geology 249 (1–2), 1–35. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2007.11.005>.

Slavin V.I., 1989. Mesozoic Geological Evolution of the Crimea. Moscow University Geology Bulletin 6, 24–36 (in Russian) [Славин В.И. Геологическое развитие Крыма в мезозое // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 1989. № 6. С. 24–36].

Solov'ev A.V., Rogov M.A., 2010. First Fission-Track Dating of Zircons from Mesozoic Complexes of the Crimea. Stratigraphy and Geological Correlation 18, 298–306. <https://doi.org/10.1134/S0869593810030068>.

Spiridonov E.M., 2021. Fayalite and Ferrohortonolite in Post-island-Arc Plagiogranites of the Mt. Kastel in Mountain Crimean Cimmerides. Zapiski RMO 150 (2), 57–68 (in Russian) [Спиридонов М.Э. Фаялит и феррогортонолит послеостроводужных плагиогранитов горы Кафель в киммеридеях Горного Крыма // Записки РМО. 2021. Т. 150. № 2. С. 57–68]. <https://doi.org/10.31857/S0869605521020118>.

Spiridonov E.M., Fedorov T.O., Ryakhovsky V.M., 1990. Magmatic Formations of the Mountainous Crimea. Article 1. Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Section 65 (4), 119–133 (in Russian) [Спиридонов Э.М., Федоров Т.О., Ряховский В.М. Магматические образования Горного Крыма. Статья 1 // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. 1990. Т. 65. Вып. 4. С. 119–133].

Spiridonov E.M., Ovsyannikov G.N., Filimonov G.N., Tevellev A.V., Shalimov I.V., Semikolennykh E.S., Putintseva E.V., Kravchenko S.M., Lysenko V.I., Nikitin M.Yu., 2022. Bowen's Petrogenetic Scheme and Mineral Associations of Rocks of the Pervomai-Ayudag Intrusive Complex of Mesozooids of the Mountainous Crimea: from Plagiolherzolites to Plagiogranites. In: Current Directions of Development of Geochemistry. Proceedings of the All-Russian Conference (with Participation of Foreign Scientists) Dedicated to the 65th Anniversary of the Vinogradov Institute of Geochemistry and the 105th Anniversary of Birth of Academician L.V. Tauson (November 21–25, 2022). Vol. 2. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, p. 149–153 (in Russian) [Спиридонов Э.М., Овсянников Г.Н., Филимонов С.В., Тевелев А.В., Шалимов И.В., Семиколенных Е.С., Путинцева Е.В., Кравченко С.М., Лысенко В.И., Никитин М.Ю. Петрогенетическая схема Н.Л. Боуэна и минеральные ассоциации горных пород островодужного Первомайско-Аюдагского интрузивного комплекса мезозойского Горного Крыма: от плагиолерцолитов до плагиогранитов // Современные направления развития геохимии: Материалы

Всероссийской конференции (с участием зарубежных ученых), посвященной 65-летию Института геохимии им. А.Л. Виноградова и 105-летию со дня рождения академика Л.В. Таусона (21–25 ноября 2022 г.). Иркутск: Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2022. Т. 2. С. 149–153].

Spiridonov E.M., Putintseva E.V., 2021. Postisland-Arc Fayalite-Containing Plagiogranites of Mt. Kastel Within Mountain Crimea Kimmerides. *Moscow University Geology Bulletin* 1 (4), 98–108 (in Russian) [Спиридонов Э.М., Путинцева Е.В. Интрузив послеостроводужных фаялитовых плагиогранитов горы Кагель в киммеридах Горного Крыма // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2021. Т. 1 (4). С. 98–108]. <https://doi.org/10.33623/0579-9406-2021-4-98-108>.

State Geological Map of the Mountainous Crimea, 2008. Crimean Series. Scale of 1:200000. Sheet L-36-XXIX (Simferopol). Explanatory Note. Kiev, 142 p. (in Russian) [Государственная геологическая карта Горного Крыма. Крымская серия. Масштаб 1:200000. L-36-XXIX (Симферополь): Пояснительная записка. Киев, 2008. 142 с.].

State Geological Map of the Russian Federation, 2019. Scythian Series. Scale of 1:1000000. Sheet L-36 (Simferopol). Explanatory Note. VSEGEI, Saint Petersburg, 979 p. (in Russian) [Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000. Серия Скифская. Лист L-36 (Симферополь). Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2019. 979 с.].

Taylor S.R., McLennan S.M., 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell, Oxford, 312 p.

Ustaömer T., Robertson A.H.F., Ustaömer P.A., Gerdes A., Peytcheva I., 2013. Constraints on Variscan and Cimmerian Magmatism and Metamorphism in the Pontides (Yusufeli-Artvin Area), NE Turkey from U-Pb Dating and Granite Geochemistry. *Geological Society of London Special Publications* 372, 49–74. <https://doi.org/10.1144/SP372.13>.

Vermeesch P., 2012. On the Visualisation of Detrital Age Distributions. *Chemical Geology* 312–313, 190–194. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2012.04.021>.

Vermeesch P., 2018. IsoplotR: A Free and Open Toolbox for Geochronology. *Geoscience Frontiers* 9 (5), 1479–1493. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.04.001>.

Wanless V.D., Perfit M.R., Ridley W.I., Wallace P.J., Grimes C.B., Klein E.M., 2011. Volatile Abundances and Oxygen Isotopes in Basaltic to Dacitic Lavas on Mid-Ocean Ridges: The Role of Assimilation at Spreading Centers. *Chemical Geology* 287 (1–2), 54–65. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2011.05.017>.

Wiedenbeck M., Hanchar J.M., Peck W.H., Sylvester P., Valley J., Whitehouse M., Kronz A., Morishita Y. et al., 2004. Further Characterisation of the 91500 Zircon Crystal. *Geostandards and Geoanalytical Research* 28 (1), 9–39. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.2004.tb01041.x>.

Wilhem C., 2014a. Maps of the Callovian and Tithonian Paleogeography of the Caribbean, Atlantic, and Tethyan Realms: Facies and Environments. Callovian and Tithonian Paleogeography Legend. 1 sheet. GSA Digital Map and Chart Series 17. DOI:10.1130/2014.DMCH017.S3.

Wilhem C., 2014b. Maps of the Callovian and Tithonian Paleogeography of the Caribbean, Atlantic, and Tethyan Realms: Facies and Environments. GSA Digital Map and Chart Series 17. DOI:10.1130/2014.DMCH017.

Wilhem C., 2014c. Maps of the Callovian and Tithonian Paleogeography of the Caribbean, Atlantic, and Tethyan Realms: Facies and Environments. Tithonian Paleogeography. 1 sheet. GSA Digital Map and Chart Series 17. DOI:10.1130/2014.DMCH017.S2.

Yang G., Chen R.-X., Zheng Y.-F., Xia Q.-X., Yu Y.-J., Li K., Hu Z., Gong B., Zha X.-P., 2023. Multiple Episodes of Zircon Growth During Anatectic Metamorphism of Metasedimentary Rocks in Collisional Orogens: Constraints from Felsic Granulites in the Bohemian Massif. *Journal of Earth Science* 34 (3), 609–639. <https://doi.org/10.1007/s12583-021-1487-y>.

Yuan H.-L., Gao S., Dai M.-N., Zong C.-L., Gunther D., Fontaine G.H., Liu X.-M., Diwu C.-R., 2008. Simultaneous Determinations of U-Pb Age, Hf Isotopes and Trace Element Compositions of Zircon by Excimer Laser-Ablation Quadrupole and Multiple-Collector ICP-MS. *Chemical Geology* 247 (1–2), 100–118. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2007.10.003>.

Yudin V.V., 1993. Simferopol Melange. *Doklady Earth Sciences* 333 (2), 250–252 (in Russian) [Юдин В.В. Симферопольский меланж // Доклады РАН. 1993. Т. 333. № 2. С. 250–252].

Yudin V.V., 2003. Magmatism of the Crimean – Black Sea Region in Terms of Actualistic Geodynamics. *Mineral Resources of Ukraine* 3, 18–21 (in Russian) [Юдин В.В. Магматизм Крымско-Черноморского региона с позиций актуалистической геодинамики // Мінеральні ресурси України. 2003. № 3. С. 18–21].

Yudin V.V., 2011. Geodynamics of Crimea. DIAPI, Simferopol, 336 p. (in Russian) [Юдин В.В. Геодинамика Крыма. Симферополь: ДИАЙПИ, 2011. 336 с.].

Yudin V.V., 2012. Geology and Geodynamics of the Kastel Area in the Crimea. In: *The Azov-Black Sea Testing Ground for the Study of Geodynamics and Fluid Dynamics of the Formation of Oil and Gas Fields*. Collected Reports of the X International Conference "Crimea-2012" (September 9–14, 2012). Simferopol, p. 198–211 (in Russian) [Юдин В.В. Геология и геодинамика района Кагель в Крыму // Азово-Черноморский полигон изучения геодинамики и флюидодинамики формирования месторождений нефти и газа: Сборник докладов X международной конференции «Крым-2012» (9–14 сентября 2012 г.). Симферополь, 2012. С. 198–211].

Таблица 1.1. Результаты U-Th-Pb изотопного (LA-ICP-MS) датирования зерен акцессорного циркона из магматитов г. Кастель (Горный Крым, пробы K21-239 и K21-240)

Table 1.1. Results of U-Th-Pb LA-ICP-MS dating of accessory zircons from magmatites of the Kastel Mountain (Mountainous Crimea, samples K21-239 and K21-240)

№ п/п	Номер анализа в пробе	U, г/т	Th, г/т	Измеренные отношения (с коррекцией на обыкновенный свинец)						Возраст, млн лет						D1, %	D2, %
				²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ		
K21-239																	
1	a001	163.7	127.4	0.0629	0.00094	0.2916	0.00387	0.0336	0.00028	705	19	260	3	213	2	22.1	231.0
2	a002	132.7	104.6	0.0496	0.00129	0.1841	0.00457	0.0269	0.00026	177	36	172	4	171	2	0.6	3.5
3	a003	1036.6	1097.4	0.0619	0.00077	0.2547	0.00268	0.0298	0.00024	671	15	230	2	190	2	21.1	253.2
4	a004	153.9	148.2	0.0495	0.00150	0.1827	0.00528	0.0268	0.00028	169	42	170	5	170	2	0.0	-0.6
5	a005	1543.6	1250.8	0.0670	0.00089	0.5325	0.00306	0.0576	0.00070	839	16	433	2	361	4	19.9	132.4
6	a006	155.7	171.6	0.0494	0.00231	0.1768	0.00800	0.0259	0.00035	168	61	165	7	165	2	0.0	1.8
7	a007	239.1	291.1	0.0752	0.00207	0.2626	0.00678	0.0253	0.00028	1073	32	237	5	161	2	47.2	566.5
8	a008	138.4	153.9	0.0517	0.00185	0.1877	0.00646	0.0263	0.00030	271	49	175	6	168	2	4.2	61.3
9	a009	137.1	99.3	0.0494	0.00350	0.1789	0.01230	0.0263	0.00048	168	96	167	11	167	3	0.0	0.6
10	a010	324.6	228.6	0.0609	0.00084	0.5164	0.00633	0.0615	0.00052	637	17	423	4	385	3	9.9	65.5
11	a010-cor	111.6	82.0	0.0545	0.00123	0.4709	0.01001	0.0627	0.00060	393	30	392	7	392	4	0.0	0.3
12	a011	96.0	78.9	0.0666	0.00141	0.2357	0.00318	0.0257	0.00045	826	25	215	3	163	3	31.9	406.7
13	a012	251.2	202.6	0.0492	0.00122	0.1663	0.00389	0.0245	0.00024	159	33	156	3	156	2	0.0	1.9
14	a013	142.0	200.3	0.0924	0.00455	0.3867	0.01798	0.0304	0.00054	1475	53	332	13	193	3	72.0	664.2
15	a014	867.9	1121.3	0.0748	0.00120	0.3152	0.00454	0.0306	0.00027	1064	19	278	4	194	2	43.3	448.5
16	a015	78.2	69.5	0.1378	0.00369	0.5867	0.01438	0.0309	0.00038	2199	27	469	9	196	2	139.3	1021.9
17	a016	84.7	91.1	0.0736	0.00207	0.2800	0.00744	0.0276	0.00029	1031	33	251	6	175	2	43.4	489.1
18	a017	145.2	139.5	0.0591	0.00124	0.2013	0.00250	0.0247	0.00044	572	26	186	2	157	3	18.5	264.3
19	a018	281.9	241.8	0.0680	0.00189	0.2303	0.00604	0.0246	0.00027	867	33	210	5	157	2	33.8	452.2
20	a019	229.8	299.5	0.0699	0.00173	0.2416	0.00561	0.0251	0.00026	924	30	220	5	160	2	37.5	477.5
21	a020	165.1	162.3	0.2534	0.00567	1.1068	0.02157	0.0317	0.00040	3206	20	757	10	201	2	276.6	1495.0
22	a020-rim1	2.1	2.3	0.0499	0.03406	0.1840	0.12525	0.0268	0.00149	190	647	172	107	170	9	1.2	11.8
23	a020-rim2	78.3	81.5	0.0821	0.00263	0.3147	0.00953	0.0278	0.00033	1249	36	278	7	177	2	57.1	605.6
24	a021b	122.2	111.7	0.0959	0.00303	0.3378	0.01002	0.0256	0.00032	1545	35	296	8	163	2	81.6	847.9
25	a022	201.4	223.6	0.0671	0.00147	0.2325	0.00476	0.0252	0.00024	839	26	212	4	160	2	32.5	424.4
26	a023	321.2	255.2	0.0990	0.00203	0.4300	0.00808	0.0315	0.00032	1606	22	363	6	200	2	81.5	703.0
27	a024	198.6	188.9	0.1230	0.00264	0.4668	0.00912	0.0275	0.00029	2000	22	389	6	175	2	122.3	1042.9
28	a025	192.1	387.4	0.0678	0.00119	0.2181	0.00266	0.0234	0.00032	861	21	200	2	149	2	34.2	477.9
29	a026	209.7	219.9	0.0712	0.00149	0.2409	0.00467	0.0245	0.00023	964	25	219	4	156	1	40.4	517.9
30	a027	134.2	121.0	0.0493	0.00111	0.1687	0.00359	0.0248	0.00022	161	30	158	3	158	1	0.0	1.9
31	a028	99.0	73.1	0.0493	0.00315	0.1746	0.01085	0.0257	0.00042	163	85	163	9	164	3	-0.6	-0.6
32	a029	64.8	48.4	0.1207	0.00293	0.4718	0.01058	0.0283	0.00031	1967	24	392	7	180	2	117.8	992.8
33	a030	189.0	209.7	0.1849	0.00404	0.7018	0.01368	0.0275	0.00032	2697	21	540	8	175	2	208.6	1441.1
34	a031	153.8	182.7	0.0491	0.00164	0.1638	0.00527	0.0242	0.00026	153	45	154	5	154	2	0.0	-0.6
35	a032	140.7	114.2	0.0493	0.00128	0.1674	0.00415	0.0246	0.00024	164	36	157	4	157	2	0.0	4.5

Таблица 1.1 (продолжение)

Table 1.1 (continued)

№ п/п	Номер анализа в пробе	U, г/т	Th, г/т	Измеренные отношения (с коррекцией на обыкновенный свинец)						Возраст, млн лет						D1, %	D2, %
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$		
36	a033	110.7	85.5	0.0492	0.00158	0.1682	0.00520	0.0248	0.00026	158	43	158	5	158	2	0.0	0.0
37	a034	100.2	59.9	0.0494	0.00151	0.1776	0.00521	0.0261	0.00026	166	41	166	4	166	2	0.0	0.0
38	a035	271.4	191.6	0.0513	0.00083	0.2878	0.00421	0.0407	0.00035	256	22	257	3	257	2	0.0	-0.4
39	a036	178.5	274.6	0.0631	0.00131	0.2154	0.00417	0.0248	0.00023	711	25	198	3	158	1	25.3	350.0
40	a037	132.3	95.8	0.0511	0.00147	0.2597	0.00712	0.0369	0.00038	245	38	234	6	233	2	0.4	5.2
41	a038	155.6	139.3	0.0565	0.00137	0.1747	0.00276	0.0224	0.00041	474	31	163	2	143	3	14.0	231.5
42	a039	136.1	201.2	0.0494	0.00164	0.1716	0.00548	0.0252	0.00027	167	45	161	5	160	2	0.6	4.4
43	a040	310.5	292.2	0.0515	0.00097	0.2933	0.00512	0.0413	0.00037	264	25	261	4	261	2	0.0	1.1
44	a041	66.3	43.2	0.0492	0.00316	0.1626	0.01020	0.0240	0.00038	156	87	153	9	153	2	0.0	2.0
45	a042	95.5	94.3	0.0684	0.00175	0.2420	0.00584	0.0257	0.00026	882	31	220	5	163	2	35.0	441.1
46	a043	245.1	153.8	0.0541	0.00085	0.4458	0.00630	0.0597	0.00052	376	20	374	4	374	3	0.0	0.5
47	a044	112.4	70.2	0.0491	0.00126	0.1609	0.00394	0.0238	0.00022	152	33	151	3	151	1	0.0	0.7
48	a045	185.3	235.7	0.0492	0.00191	0.1661	0.00620	0.0245	0.00029	158	53	156	5	156	2	0.0	1.3
K21-240																	
49	a046	283.2	236.7	0.0491	0.00108	0.1583	0.00327	0.0234	0.00022	152	30	149	3	149	1	0.0	2.0
50	a047	284.4	429.8	0.0494	0.00181	0.1697	0.00598	0.0249	0.00029	167	49	159	5	159	2	0.0	5.0
51	a048	111.7	102.5	0.0495	0.00153	0.1715	0.00510	0.0251	0.00026	172	42	161	4	160	2	0.6	7.5
52	a049	92.7	81.8	0.0596	0.00170	0.2058	0.00561	0.0251	0.00026	588	36	190	5	160	2	18.8	267.5
53	a050	210.5	195.5	0.0489	0.00140	0.1529	0.00417	0.0227	0.00023	144	38	144	4	145	1	-0.7	-0.7
54	a051	259.1	381.8	0.0492	0.00152	0.1580	0.00466	0.0233	0.00025	159	43	149	4	148	2	0.7	7.4
55	a052	195.0	186.8	0.0490	0.00187	0.1536	0.00563	0.0227	0.00027	150	52	145	5	145	2	0.0	3.4
56	a053	282.3	347.9	0.0489	0.00190	0.1538	0.00574	0.0228	0.00028	143	54	145	5	145	2	0.0	-1.4
57	a054	140.0	150.9	0.0493	0.00132	0.1662	0.00426	0.0245	0.00024	160	36	156	4	156	2	0.0	2.6
58	a055	337.9	434.1	0.0507	0.00118	0.2540	0.00557	0.0364	0.00035	226	31	230	5	230	2	0.0	-1.7
59	a056	130.4	157.0	0.0491	0.00279	0.1663	0.00917	0.0246	0.00037	151	79	156	8	157	2	-0.6	-3.8
60	a057	179.1	191.9	0.0494	0.00239	0.1673	0.00781	0.0245	0.00034	168	65	157	7	156	2	0.6	7.7
61	a058	174.2	249.4	0.0492	0.00267	0.1763	0.00925	0.0260	0.00039	157	73	165	8	165	2	0.0	-4.8
62	a059	116.6	94.2	0.0492	0.00169	0.1694	0.00559	0.0250	0.00027	159	46	159	5	159	2	0.0	0.0
63	a060	115.1	99.5	0.0545	0.00192	0.1751	0.00592	0.0233	0.00026	390	45	164	5	149	2	10.1	161.7
64	a061	153.8	154.3	0.0492	0.00165	0.1659	0.00537	0.0245	0.00027	155	46	156	5	156	2	0.0	-0.6
65	a062	184.5	139.4	0.0490	0.00144	0.1585	0.00446	0.0234	0.00024	150	39	149	4	149	2	0.0	0.7
66	a063	140.0	172.0	0.0649	0.00118	0.2084	0.00249	0.0233	0.00034	770	21	192	2	148	2	29.7	420.3
67	a064	295.5	564.0	0.0492	0.00158	0.1637	0.00504	0.0241	0.00026	156	42	154	4	154	2	0.0	1.3
68	a065	287.7	304.8	0.0530	0.00127	0.2462	0.00557	0.0337	0.00033	329	31	224	5	214	2	4.7	53.7
69	a066	149.1	141.2	0.0633	0.00321	0.1990	0.00970	0.0228	0.00035	720	62	184	8	145	2	26.9	396.6
70	a067	115.8	79.5	0.0576	0.00237	0.1945	0.00770	0.0245	0.00031	514	52	180	7	156	2	15.4	229.5
71	a068	1061.2	979.0	0.0551	0.00070	0.3327	0.00369	0.0438	0.00036	414	17	292	3	277	2	5.4	49.5
72	a069	219.5	238.2	0.0600	0.00110	0.4023	0.00678	0.0486	0.00044	605	23	343	5	306	3	12.1	97.7

Таблица 1.1 (продолжение)

Table 1.1 (continued)

№ п/п	Номер анализа в пробе	U, г/т	Th, г/т	Измеренные отношения (с коррекцией на обыкновенный свинец)						Возраст, млн лет						D1, %	D2, %
				²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ		
73	a070	179.3	164.0	0.0492	0.00123	0.1653	0.00391	0.0244	0.00023	159	34	155	3	155	1	0.0	2.6
74	a071	472.3	600.2	0.0490	0.00099	0.1557	0.00293	0.0231	0.00021	147	27	147	3	147	1	0.0	0.0
75	a072	146.7	166.8	0.0493	0.00143	0.1670	0.00462	0.0246	0.00025	162	39	157	4	156	2	0.6	3.8
76	a073	147.3	136.3	0.0493	0.00275	0.1673	0.00905	0.0246	0.00038	163	75	157	8	157	2	0.0	3.8
77	a074	140.7	165.6	0.0548	0.00259	0.1821	0.00831	0.0241	0.00034	405	60	170	7	153	2	11.1	164.7
78	a075	163.0	188.0	0.0491	0.00299	0.1616	0.00955	0.0239	0.00039	154	85	152	8	152	2	0.0	1.3
79	a076	148.3	165.5	0.0492	0.00145	0.1691	0.00476	0.0249	0.00025	159	41	159	4	159	2	0.0	0.0
80	a077	99.8	69.6	0.0494	0.00277	0.1698	0.00925	0.0249	0.00037	168	76	159	8	159	2	0.0	5.7
81	a078	66.4	40.4	0.0489	0.00330	0.1584	0.01040	0.0235	0.00038	144	89	149	9	150	2	-0.7	-4.0
82	a079	212.3	235.7	0.0493	0.00168	0.1645	0.00538	0.0242	0.00027	161	45	155	5	154	2	0.6	4.5
83	a080	176.9	161.4	0.0494	0.00234	0.1639	0.00751	0.0241	0.00033	166	63	154	7	153	2	0.7	8.5
84	a081	135.8	118.6	0.0493	0.00129	0.1709	0.00428	0.0252	0.00024	162	35	160	4	160	2	0.0	1.3
85	a082	193.6	305.4	0.0523	0.00192	0.1799	0.00635	0.0249	0.00030	299	48	168	5	159	2	5.7	88.1
86	a083	151.8	116.7	0.0598	0.00197	0.1962	0.00616	0.0238	0.00027	597	41	182	5	152	2	19.7	292.8

Примечание. Анализы выполнены методом LA-ICP-MS в ЦКП ГИН РАН (лаборатория химико-аналитических исследований, аналитики А.С. Дубенский, К.Г. Ерофеева, В.С. Шешуков). Полужирным шрифтом выделены значения, принятые за возраст циркона (поскольку все возрасты <1 млрд лет, для вычисления использованы отношения ²⁰⁶Pb/²³⁸U). D1 и D2 – дискордантности датировок (D1=100 %·(возраст (²⁰⁷Pb/²³⁵U)/возраст (²⁰⁶Pb/²³⁸U)-1), (D2=100 %·(возраст (²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb)/возраст (²⁰⁶Pb/²³⁸U)-1)). Для вычисления конкордантных возрастов учитывались анализы со степенью дискордантности -3 % <D1, D2<3 % (отброшенные анализы помечены серым фоном). Суффиксы в номере анализа: cor – ядро, rim – оболочка.

Калибровка изотопных измерений проводилась по внешнему стандарту с использованием циркона GJ-1 [Jackson et al., 2004; Elhlou et al., 2006], качество анализа оценивалось путем последовательного измерения неизвестных образцов и контрольных стандартов циркона 91500 [Wiedenbeck et al., 2004; Yuan et al., 2008] и Plesoviče [Sláma et al., 2008] с аттестованными по изотопному отношению ²⁰⁶Pb/²³⁸U значениями возраста. Для циркона GJ-1, 91500 и Plesoviče в ходе измерений получены средневзвешенные оценки возраста (±2σ) 600.4±3.2 (n=37), 1073±22 (n=10) и 337±4 (n=10) млн лет соответственно. Эти значения в пределах ошибки измерения соответствуют аттестованным по изотопному отношению ²⁰⁶Pb/²³⁸U средневзвешенным значениям возраста этих стандартов (±2σ) 601.9±0.4, 1063.5±0.4 и 337.2±0.1 млн лет, полученным методом CA-ID-TIMS [Horstwood et al., 2016].

Для коррекции на обычный свинец использована программа ComPbCorr, составленная [Andersen, 2008]. Теоретические основы коррекции и формулы, по которым проводится коррекция, приведены в работе [Andersen, 2002]. Нарушение изотопной U-Th-Pb системы зерна циркона оценивается, исходя из измеренных содержаний изотопов свинца ²⁰⁶Pb, ²⁰⁷Pb и ²⁰⁸Pb в цирконе и известных изотопных соотношений между изотопами свинца, которые в программе приняты как ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb=18.7, ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb=15.628, ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb=38.63.

Note. The analyses were made by the LA-ICP-MS method at the SRF GIN RAS (Laboratory of Physical and Analytical Methods of Study, analysts A.S. Dubensky, K.G. Erofeeva, V.S. Sheshukov). The bold values are those accepted as zircon ages (since all ages are <1 Ga, the calculations were made using ²⁰⁶Pb/²³⁸U ratios). D1 and D2 are discordant ages (D1=100 %·(age (²⁰⁷Pb/²³⁵U)/age (²⁰⁶Pb/²³⁸U)-1), (D2=100 %·(age (²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb)/age (²⁰⁶Pb/²³⁸U)-1)). The concordant age calculations were made regarding the analyses with a degree of discordance 3 % <D1, D2<3 % (the excluded analyses are highlighted in grey). The suffixes in the analysis number: cor – core, rim – rim.

The calibration was performed based on the external standard using zircon GJ-1 [Jackson et al., 2004; Elhlou et al., 2006], the assessment of analytical quality was made using sequential measurements of unknown samples and zircon standard 91500 [Wiedenbeck et al., 2004; Yuan et al., 2008] and Plesoviče [Sláma et al., 2008] with ²⁰⁶Pb/²³⁸U ages. Measurement of zircon GJ-1, 91500 and Plesoviče yielded the weighted average ages (±2σ) 600.4±3.2 (n=37), 1073±22 (n=10) and 337±4 (n=10) Ma, respectively. These ages within the measurement error correspond to the ²⁰⁶Pb/²³⁸U weighted average ages of these standards (±2σ) 601.9±0.4, 1063.5±0.4 and 337.2±0.1 Ma, obtained by the CA-ID-TIMS method [Horstwood et al., 2016].

The standard lead correction was made using ComPbCorr Software developed in [Andersen, 2008]. Theoretical grounds for correction and the formulas on which it is based are presented in [Andersen, 2002]. The violation of U-Th-Pb isotopic system of zircon is assessed based on the measured contents of lead isotopes ²⁰⁶Pb, ²⁰⁷Pb and ²⁰⁸Pb in zircon and known isotope ratios between lead isotopes used in the software program as ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb=18.7, ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb=15.628, ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb=38.63.

Таблица 1.2. Результаты U-Th-Pb изотопного (LA-ICP-MS) датирования зерен детритового циркона из нижней толщи демерджийской свиты (г. Южная Демерджи, Горный Крым, проба K14-304)

Table 1.2. Results of U-Th-Pb LA-ICP-MS dating of detrital zircons from the lower Demerdzhi Formation (Southern Demerdzhi Mountain, Mountainous Crimea, sample K14-304)

№ п/п	Номер анализа в пробе	U, г/г	Th, г/г	Измеренные отношения (с коррекцией на обыкновенный свинец)						Возраст, млн лет (с коррекцией на обыкновенный свинец)						D1, %	D2, %
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$			
					$\pm 1\sigma$		$\pm 1\sigma$		$\pm 1\sigma$		$\pm 1\sigma$		$\pm 1\sigma$		$\pm 1\sigma$		
1	a01(ш2,r1)	177.9	28.5	0.0621	0.00078	0.9255	0.01071	0.1081	0.00100	678	16	665	6	662	6	0.5	2.4
2	a01-с(ш5,r1-1)	239.7	168.9	0.0530	0.00072	0.3470	0.00438	0.0475	0.00044	328	17	302	3	299	3	1.0	9.7
3	a02(ш2,r1)	821.2	314.1	0.2024	0.00226	7.7390	0.07924	0.2773	0.00254	2846	11	2201	9	1578	13	39.5	80.4
4	a02-с(ш5,r1-1)	638.5	646.3	0.0532	0.00061	0.3741	0.00395	0.0510	0.00047	338	15	323	3	321	3	0.6	5.3
5	a02-р(ш5,r1-1)	768.9	749.1	0.0525	0.00062	0.3422	0.00373	0.0473	0.00043	309	15	299	3	298	3	0.3	3.7
6	a03(ш2,r1)	141.5	183.1	0.1285	0.00149	6.7387	0.07199	0.3804	0.00352	2077	12	2078	9	2078	16	0.0	0.0
7	a03-с(ш5,r1-1)	708.4	549.3	0.1137	0.00122	5.2409	0.05094	0.3344	0.00303	1859	11	1859	8	1860	15	-0.1	-0.1
8	a04(ш2,r1)	83.8	222.3	0.2046	0.00238	15.6812	0.16815	0.5559	0.00517	2863	11	2858	10	2850	21	0.3	0.5
9	a04-с(ш5,r1-1)	311.2	230.8	0.0497	0.00076	0.1879	0.00269	0.0275	0.00026	179	21	175	2	175	2	0.0	2.3
10	a05(ш2,r1)	22.7	87.5	0.1204	0.00160	5.8919	0.07328	0.3551	0.00345	1961	14	1960	11	1959	16	0.1	0.1
11	a05-с(ш5,r1-1)	183.2	141.9	0.0534	0.00065	0.3822	0.00430	0.0519	0.00047	347	16	329	3	326	3	0.9	6.4
12	a06(ш2,r1)	102.8	104.9	0.0979	0.00121	3.7235	0.04289	0.2758	0.00259	1585	13	1576	9	1570	13	0.4	1.0
13	a06-с(ш5,r1-1)	501.8	565.5	0.1296	0.00142	6.5797	0.06510	0.3682	0.00333	2092	11	2057	9	2021	16	1.8	3.5
14	a07-с(ш2,r1)	135.4	68.9	0.2188	0.00263	16.6696	0.18631	0.5526	0.00519	2972	11	2916	11	2836	22	2.8	4.8
15	a07-с(ш5,r1-1)	116.9	89.5	0.0528	0.00077	0.3722	0.00507	0.0511	0.00048	320	19	321	4	321	3	0.0	-0.3
16	a07-р(ш5,r1-1)	198.4	134.9	0.0516	0.00104	0.2867	0.00548	0.0403	0.00040	270	26	256	4	255	2	0.4	5.9
17	a08-с(ш2,r1)	228.3	116.6	0.0556	0.00106	0.2940	0.00535	0.0383	0.00039	438	24	262	4	243	2	7.8	80.2
18	a08-с(ш5,r1-1)	140.6	51.4	0.1139	0.00128	5.2604	0.05344	0.3351	0.00304	1862	12	1862	9	1863	15	-0.1	-0.1
19	a09(ш2,r1)	204.5	502.7	0.1143	0.00141	5.2239	0.05993	0.3315	0.00310	1869	13	1857	10	1846	15	0.6	1.2
20	a09-с(ш5,r1-1)	280.0	334.5	0.0507	0.00080	0.2528	0.00374	0.0362	0.00034	227	21	229	3	229	2	0.0	-0.9
21	a09-р(ш5,r1-1)	264.1	285.3	0.0507	0.00069	0.2439	0.00307	0.0349	0.00032	226	18	222	3	221	2	0.5	2.3
22	a10(ш2,r1)	68.4	142.4	0.1291	0.00167	6.7063	0.08114	0.3767	0.00359	2086	13	2073	11	2061	17	0.6	1.2
23	a10-с(ш5,r1-1)	238.2	565.2	0.0507	0.00068	0.2284	0.00282	0.0327	0.00030	227	18	209	2	207	2	1.0	9.7
24	a11(ш2,r2)	169.5	144.8	0.0533	0.00072	0.4055	0.00516	0.0552	0.00052	343	17	346	4	346	3	0.0	-0.9
25	a11-с(ш5,r1-2)	86.8	180.9	0.3052	0.00340	30.2795	0.30449	0.7197	0.00651	3497	10	3496	10	3495	24	0.0	0.1
26	a12(ш2,r2)	254.0	109.5	0.0624	0.00073	0.9685	0.01054	0.1126	0.00105	688	14	688	5	688	6	0.0	0.0
27	a12-с(ш5,r1-2)	367.2	497.6	0.0521	0.00064	0.3096	0.00350	0.0431	0.00039	288	16	274	3	272	2	0.7	5.9
28	a13(ш2,r2)	101.3	105.4	0.0531	0.00096	0.3112	0.00539	0.0425	0.00043	334	24	275	4	268	3	2.6	24.6
29	a13(ш5,r1-2)	218.0	160.2	0.1268	0.00142	6.5474	0.06608	0.3745	0.00337	2054	12	2052	9	2050	16	0.1	0.2
30	a14-р(ш2,r2)	184.2	195.8	0.0516	0.00109	0.2864	0.00579	0.0403	0.00042	266	28	256	5	255	3	0.4	4.3
31	a14-р(ш5,r1-2)	557.5	419.6	0.0516	0.00066	0.2307	0.00270	0.0325	0.00030	266	17	211	2	206	2	2.4	29.1
32	a15(ш2,r2)	76.7	95.9	0.1334	0.00153	7.2503	0.07767	0.3942	0.00371	2143	12	2143	10	2142	17	0.0	0.0
33	a15-р(ш5,r1-2)	159.3	151.7	0.0508	0.00083	0.2488	0.00381	0.0356	0.00034	230	22	226	3	225	2	0.4	2.2
34	a16(ш2,r2)	110.5	184.3	0.0533	0.00080	0.3965	0.00564	0.0540	0.00052	339	19	339	4	339	3	0.0	0.0

Таблица 1.2 (продолжение)

Table 1.2 (continued)

№ п/п	Номер анализа в пробе	U, г/т	Th, г/т	Измеренные отношения (с коррекцией на обыкновенный свинец)						Возраст, млн лет (с коррекцией на обыкновенный свинец)						D1, %	D2, %
				²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ		
35	a16-r(ш5,r1-2)	170.5	225.2	0.0508	0.00090	0.2609	0.00438	0.0372	0.00036	233	23	235	4	236	2	-0.4	-1.3
36	a17-c(ш5,r1-2)	115.1	88.1	0.2161	0.00246	17.2582	0.17822	0.5792	0.00524	2952	10	2949	10	2946	21	0.1	0.2
37	a17-r(ш2,r2)	148.4	109.6	0.0509	0.00109	0.2510	0.00514	0.0358	0.00037	236	28	227	4	227	2	0.0	4.0
38	a18-c(ш2,r2)	84.7	43.2	0.0596	0.00090	0.7854	0.01123	0.0956	0.00094	589	19	589	6	588	6	0.2	0.2
39	a18-c(ш5,r1-2)	203.4	252.7	0.2170	0.00248	17.3363	0.17994	0.5794	0.00525	2959	11	2954	10	2946	21	0.3	0.4
40	a19(ш5,r1-2)	881.4	546.2	0.0530	0.00068	0.3235	0.00386	0.0443	0.00041	328	16	285	3	279	3	2.2	17.6
41	a19-r(ш2,r2)	212.5	374.4	0.2135	0.00252	14.5241	0.09239	0.4933	0.00501	2933	11	2785	6	2585	22	7.7	13.5
42	a20(ш2,r2)	189.6	147.1	0.0532	0.00080	0.3922	0.00560	0.0534	0.00052	339	19	336	4	336	3	0.0	0.9
43	a20(ш5,r1-2)	778.1	181.8	0.1548	0.00179	2.6883	0.02838	0.1259	0.00114	2400	11	1325	8	765	7	73.2	213.7
44	a21(ш2,r3)	299.5	560.3	0.1263	0.00139	6.4970	0.06665	0.3733	0.00348	2046	11	2045	9	2045	16	0.0	0.0
45	a21-c(ш5,r1-3)	302.5	240.9	0.0523	0.00070	0.3332	0.00410	0.0462	0.00042	300	18	292	3	291	3	0.3	3.1
46	a22(ш2,r3)	1873.4	1017.2	0.2094	0.00236	1.0215	0.01068	0.0354	0.00033	2901	10	715	5	224	2	219.2	1195.1
47	a22-c(ш5,r1-3)	247.9	315.9	0.2189	0.00248	17.1525	0.17370	0.5684	0.00506	2972	11	2943	10	2901	21	1.4	2.4
48	a23-c(ш2,r3)	337.1	259.2	0.0499	0.00087	0.1943	0.00321	0.0282	0.00028	190	23	180	3	180	2	0.0	5.6
49	a23-c(ш5,r1-3)	137.1	125.3	0.1275	0.00148	6.4539	0.06713	0.3671	0.00329	2064	12	2040	9	2016	16	1.2	2.4
50	a24(ш2,r3)	80.7	64.8	0.1097	0.00131	4.8500	0.05429	0.3207	0.00304	1794	12	1794	9	1793	15	0.1	0.1
51	a24-c(ш5,r1-3)	443.5	115.3	0.0670	0.00078	1.2825	0.01347	0.1388	0.00124	838	14	838	6	838	7	0.0	0.0
52	a25(ш2,r3)	171.6	126.4	0.2320	0.00275	12.2801	0.07683	0.3840	0.00392	3066	11	2626	6	2095	18	25.3	46.3
53	a25-c(ш5,r1-3)	432.2	806.2	0.0514	0.00068	0.2897	0.00350	0.0409	0.00037	259	17	258	3	258	2	0.0	0.4
54	a26-c(ш2,r3)	146.9	143.0	0.0499	0.00108	0.1994	0.00416	0.0290	0.00030	188	29	185	4	184	2	0.5	2.2
55	a26-c(ш5,r1-3)	377.2	368.0	0.0553	0.00072	0.5065	0.00603	0.0665	0.00060	423	17	416	4	415	4	0.2	1.9
56	a27-c(ш2,r3)	194.1	530.2	0.1368	0.00172	6.7216	0.04442	0.3564	0.00398	2187	13	2075	6	1965	19	5.6	11.3
57	a27-c(ш5,r1-3)	416.7	18.6	0.1163	0.00137	4.9894	0.05308	0.3111	0.00280	1901	12	1818	9	1746	14	4.1	8.9
58	a28(ш5,r1-3)	158.5	111.1	0.0526	0.00070	0.3595	0.00444	0.0496	0.00045	311	17	312	3	312	3	0.0	-0.3
59	a28-c(ш2,r3)	68.4	78.7	0.2243	0.00314	15.6448	0.10756	0.5058	0.00633	3012	13	2855	7	2639	27	8.2	14.1
60	a29(ш2,r3)	190.5	219.2	0.2201	0.00298	13.0891	0.08614	0.4313	0.00523	2981	12	2686	6	2312	24	16.2	28.9
61	a29(ш5,r1-3)	137.8	102.1	0.0528	0.00072	0.3648	0.00463	0.0501	0.00046	319	18	316	3	315	3	0.3	1.3
62	a30(ш5,r1-3)	162.6	195.4	0.1108	0.00134	4.9623	0.05450	0.3249	0.00294	1812	13	1813	9	1814	14	-0.1	-0.1
63	a30-r(ш2,r3)	306.7	449.6	0.0524	0.00086	0.3467	0.00543	0.0480	0.00047	303	22	302	4	302	3	0.0	0.3
64	a31(ш2,r4)	1789.4	521.1	0.1605	0.00176	1.2957	0.01319	0.0585	0.00054	2461	11	844	6	367	3	130.0	570.6
65	a31-r(ш5,r1-4)	332.1	221.9	0.0578	0.00070	0.6471	0.00717	0.0812	0.00073	523	15	507	4	503	4	0.8	4.0
66	a32-c(ш2,r4)	324.2	183.1	0.2127	0.00236	14.8850	0.15310	0.5075	0.00475	2926	10	2808	10	2646	20	6.1	10.6
67	a32-r(ш5,r1-4)	274.0	180.6	0.0587	0.00074	0.6260	0.00724	0.0773	0.00070	557	16	494	5	480	4	2.9	16.0
68	a33(ш2,r4)	181.0	34.2	0.1276	0.00144	6.6247	0.06959	0.3766	0.00353	2065	12	2063	9	2060	17	0.1	0.2
69	a33(ш5,r1-4)	240.2	124.5	0.0823	0.00093	2.4298	0.02465	0.2142	0.00192	1252	13	1251	7	1251	10	0.0	0.1

Таблица 1.2 (продолжение)

Table 1.2 (continued)

№ п/п	Номер анализа в пробе	U, г/т	Th, г/т	Измеренные отношения (с коррекцией на обыкновенный свинец)						Возраст, млн лет (с коррекцией на обыкновенный свинец)						D1, %	D2, %
				²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ		
70	a34(ш2,r4)	203.5	133.0	0.2099	0.00233	16.3613	0.16908	0.5654	0.00528	2905	10	2898	10	2889	22	0.3	0.6
71	a34-c(ш5,r1-4)	32.4	83.4	0.0933	0.00115	3.3456	0.03739	0.2601	0.00238	1494	13	1492	9	1491	12	0.1	0.2
72	a35(ш2,r4)	74.3	63.0	0.2253	0.00255	18.3843	0.19371	0.5918	0.00558	3019	11	3010	10	2997	23	0.4	0.7
73	a35-c(ш5,r1-4)	58.6	120.0	0.0964	0.00124	3.0543	0.03594	0.2299	0.00213	1555	14	1421	9	1334	11	6.5	16.6
74	a36(ш2,r4)	697.7	494.8	0.0544	0.00075	0.3626	0.00472	0.0483	0.00046	388	18	314	4	304	3	3.3	27.6
75	a36(ш5,r1-4)	397.0	270.8	0.0531	0.00064	0.3644	0.00399	0.0498	0.00045	333	16	316	3	313	3	1.0	6.4
76	a37(ш5,r1-4)	311.7	156.9	0.1218	0.00122	3.9163	0.02348	0.2331	0.00190	1983	10	1617	5	1351	10	19.7	46.8
77	a37-c(ш2,r4)	181.1	230.7	0.0541	0.00080	0.4462	0.00625	0.0598	0.00058	374	19	375	4	375	4	0.0	-0.3
78	a38(ш2,r4)	323.1	227.0	0.0541	0.00092	0.3689	0.00600	0.0495	0.00049	374	22	319	4	311	3	2.6	20.3
79	a38(ш5,r1-4)	405.5	104.5	0.0525	0.00064	0.3491	0.00384	0.0482	0.00043	307	16	304	3	304	3	0.0	1.0
80	a39(ш2,r4)	34.7	44.8	0.1304	0.00170	6.9408	0.08554	0.3860	0.00381	2103	13	2104	11	2104	18	0.0	0.0
81	a39(ш5,r1-4)	487.6	898.4	0.0739	0.00086	1.7742	0.01846	0.1740	0.00156	1040	14	1036	7	1034	9	0.2	0.6
82	a40(ш5,r1-4)	391.6	135.9	0.1220	0.00140	6.0566	0.06242	0.3602	0.00322	1985	12	1984	9	1983	15	0.1	0.1
83	a40-c(ш2,r4)	383.0	136.1	0.1246	0.00145	6.2537	0.06815	0.3640	0.00343	2023	12	2012	10	2001	16	0.5	1.1
84	a41(ш2,r5)	194.7	165.3	0.0511	0.00070	0.3268	0.00422	0.0464	0.00044	246	19	287	3	292	3	-1.7	-15.8
85	a41-r(ш5,r1-5)	267.1	263.4	0.0517	0.00092	0.2797	0.00467	0.0392	0.00038	273	23	250	4	248	2	0.8	10.1
86	a42(ш2,r5)	95.1	202.8	0.1841	0.00208	12.9012	0.13634	0.5084	0.00484	2690	11	2672	10	2650	21	0.8	1.5
87	a42(ш5,r1-5)	179.0	297.4	0.2035	0.00228	15.5079	0.15551	0.5529	0.00494	2854	10	2847	10	2837	21	0.4	0.6
88	a43(ш5,r1-5)	314.9	130.7	0.0970	0.00111	3.4187	0.03494	0.2555	0.00229	1568	12	1509	8	1467	12	2.9	6.9
89	a43-c(ш2,r5)	453.5	145.2	0.0689	0.00083	1.3432	0.01513	0.1414	0.00134	896	15	865	7	853	8	1.4	5.0
90	a44(ш2,r5)	135.0	100.6	0.0513	0.00087	0.2563	0.00415	0.0363	0.00036	253	23	232	3	230	2	0.9	10.0
91	a44(ш5,r1-5)	347.5	281.1	0.1099	0.00125	4.7933	0.04878	0.3162	0.00283	1798	12	1784	9	1771	14	0.7	1.5
92	a45-c(ш2,r5)	361.2	237.0	0.2381	0.00275	12.2152	0.07608	0.3721	0.00365	3107	11	2621	6	2039	17	28.5	52.4
93	a45-c(ш5,r1-5)	316.7	72.5	0.0549	0.00067	0.4861	0.00537	0.0643	0.00058	407	16	402	4	401	4	0.2	1.5
94	a46(ш2,r5)	48.3	89.2	0.0923	0.00130	3.2696	0.04375	0.2569	0.00256	1474	16	1474	10	1474	13	0.0	0.0
95	a46-c(ш5,r1-5)	60.5	102.2	0.2287	0.00265	18.9297	0.19702	0.6003	0.00541	3043	11	3038	10	3031	22	0.2	0.4
96	a47(ш2,r5)	448.9	309.7	0.0556	0.00072	0.4655	0.00573	0.0608	0.00058	435	17	388	4	380	4	2.1	14.5
97	a47(ш5,r1-5)	739.7	749.8	0.0676	0.00079	1.0274	0.01088	0.1103	0.00099	855	14	718	5	674	6	6.5	26.9
98	a48(ш2,r5)	484.5	431.3	0.0531	0.00069	0.3612	0.00440	0.0494	0.00047	333	17	313	3	311	3	0.6	7.1
99	a48-c(ш5,r1-5)	90.5	54.3	0.0818	0.00100	2.3546	0.02601	0.2087	0.00189	1241	14	1229	8	1222	10	0.6	1.6
100	a49(ш5,r1-5)	192.2	112.6	0.0535	0.00070	0.4053	0.00486	0.0550	0.00050	350	17	345	4	345	3	0.0	1.4
101	a49-r(ш2,r5)	137.7	73.3	0.2241	0.00296	15.8844	0.10556	0.5140	0.00612	3011	12	2870	6	2674	26	7.3	12.6
102	a50(ш2,r5)	216.7	230.8	0.0535	0.00095	0.3632	0.00616	0.0492	0.00050	351	23	315	5	310	3	1.6	13.2
103	a50-r(ш5,r1-5)	169.8	231.8	0.1027	0.00119	1.9885	0.01297	0.1404	0.00142	1674	12	1112	4	847	8	31.3	97.6
104	a51(ш2,r5)	407.0	439.2	0.0515	0.00077	0.2946	0.00421	0.0415	0.00041	261	20	262	3	262	3	0.0	-0.4

Таблица 1.2 (продолжение)

Table 1.2 (continued)

№ п/п	Номер анализа в пробе	U, г/т	Th, г/т	Измеренные отношения (с коррекцией на обыкновенный свинец)						Возраст, млн лет (с коррекцией на обыкновенный свинец)						D1, %	D2, %
				²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ		
105	a51(ш5,r2-1)	80.3	32.2	0.0504	0.00105	0.1902	0.00377	0.0274	0.00027	212	28	177	3	174	2	1.7	21.8
106	a52-с(ш5,r2-1)	9.4	6.1	0.2190	0.00281	15.0939	0.10898	0.5000	0.00564	2973	12	2821	7	2614	24	7.9	13.7
107	a53(ш5,r2-1)	270.5	152.1	0.2191	0.00226	13.8574	0.08249	0.4587	0.00400	2974	10	2740	6	2434	18	12.6	22.2
108	a54-с(ш5,r2-1)	110.3	255.3	0.0597	0.00093	0.7315	0.01060	0.0889	0.00084	591	20	557	6	549	5	1.5	7.7
109	a55-с(ш5,r2-1)	188.7	171.0	0.1290	0.00151	6.7068	0.07088	0.3770	0.00340	2085	12	2074	9	2062	16	0.6	1.1
110	a56-с(ш5,r2-1)	304.2	308.0	0.0595	0.00067	0.4168	0.00290	0.0509	0.00047	584	14	354	2	320	3	10.6	82.5
111	a57-р(ш5,r2-1)	417.9	305.3	0.0496	0.00074	0.1738	0.00240	0.0254	0.00024	178	20	163	2	162	2	0.6	9.9
112	a58-р(ш5,r2-1)	212.8	319.6	0.0517	0.00096	0.3132	0.00549	0.0439	0.00043	272	24	277	4	277	3	0.0	-1.8
113	a59(ш5,r2-1)	395.2	274.3	0.0783	0.00096	0.7372	0.00825	0.0683	0.00062	1153	14	561	5	426	4	31.7	170.7
114	a60-с(ш5,r2-1)	145.2	353.5	0.0519	0.00088	0.2914	0.00467	0.0407	0.00039	280	23	260	4	257	2	1.2	8.9
115	a60-р(ш5,r2-1)	231.3	372.2	0.0509	0.00082	0.2557	0.00384	0.0364	0.00034	238	21	231	3	231	2	0.0	3.0
116	a61(ш5,r2-2)	183.4	91.1	0.2291	0.00190	16.1892	0.09071	0.5125	0.00336	3046	8	2888	5	2667	14	8.3	14.2
117	a62-с(ш5,r2-2)	522.9	169.4	0.0627	0.00075	0.7858	0.00855	0.0909	0.00083	699	15	589	5	561	5	5.0	24.6
118	a63(ш5,r2-2)	292.0	348.9	0.0608	0.00072	0.7907	0.00855	0.0943	0.00086	633	15	592	5	581	5	1.9	9.0
119	a65(ш5,r2-2)	402.3	496.8	0.1277	0.00144	5.2399	0.05387	0.2975	0.00272	2067	11	1859	9	1679	14	10.7	23.1
120	a66(ш5,r2-2)	281.9	200.3	0.2093	0.00233	16.3809	0.16614	0.5676	0.00517	2900	10	2899	10	2898	21	0.0	0.1
121	a67(ш5,r2-2)	358.8	258.3	0.1481	0.00142	4.2722	0.02594	0.2092	0.00155	2324	10	1688	5	1224	8	37.9	89.9
122	a68(ш5,r2-2)	2088.8	293.2	0.0914	0.00103	0.4891	0.00508	0.0388	0.00036	1455	12	404	3	245	2	64.9	493.9
123	a69-с(ш5,r2-2)	58.2	204.0	0.0938	0.00112	3.3369	0.03685	0.2580	0.00240	1504	13	1490	9	1480	12	0.7	1.6
124	a70-с(ш5,r2-2)	405.0	99.8	0.0698	0.00083	1.4300	0.01577	0.1485	0.00138	923	14	902	7	893	8	1.0	3.4
125	a71(ш5,r2-3)	158.3	88.2	0.2066	0.00230	16.0133	0.16472	0.5621	0.00520	2879	10	2878	10	2875	21	0.1	0.1
126	a72-с(ш5,r2-3)	357.3	311.6	0.1241	0.00140	5.8472	0.06096	0.3417	0.00316	2016	11	1953	9	1895	15	3.1	6.4
127	a73-с(ш5,r2-3)	715.1	308.3	0.0530	0.00063	0.3857	0.00424	0.0528	0.00049	328	15	331	3	332	3	-0.3	-1.2
128	a74-с(ш5,r2-3)	18.8	29.2	0.1045	0.00155	4.1456	0.05782	0.2879	0.00288	1705	16	1663	11	1631	14	2.0	4.5
129	a75-р(ш5,r2-3)	859.1	504.8	0.0553	0.00068	0.4435	0.00505	0.0582	0.00054	425	16	373	4	364	3	2.5	16.8
130	a76(ш5,r2-3)	262.0	249.8	0.0637	0.00086	0.3074	0.00389	0.0350	0.00033	733	16	272	3	222	2	22.5	230.2
131	a77-с(ш5,r2-3)	307.9	177.4	0.0580	0.00071	0.6889	0.00781	0.0861	0.00080	531	16	532	5	532	5	0.0	-0.2
132	a78(ш5,r2-3)	148.5	173.7	0.2843	0.00334	25.0312	0.27168	0.6387	0.00594	3386	11	3309	11	3184	23	3.9	6.3
133	a79(ш5,r2-3)	317.0	160.5	0.1149	0.00136	5.3716	0.05883	0.3390	0.00314	1879	12	1880	9	1882	15	-0.1	-0.2
134	a80-с(ш5,r2-3)	94.4	58.6	0.1713	0.00207	11.3338	0.12704	0.4800	0.00448	2570	12	2551	10	2527	20	0.9	1.7
135	a81(ш5,r2-4)	1213.0	397.8	0.0668	0.00078	0.4523	0.00489	0.0491	0.00045	833	14	379	3	309	3	22.7	169.6
136	a82(ш5,r2-4)	526.9	649.1	0.0524	0.00071	0.2476	0.00315	0.0343	0.00032	301	18	225	3	217	2	3.7	38.7
137	a83(ш5,r2-4)	154.6	76.2	0.1742	0.00203	11.7845	0.12676	0.4907	0.00453	2598	11	2587	10	2574	20	0.5	0.9
138	a84-р(ш5,r2-4)	812.9	368.6	0.0593	0.00073	0.7542	0.00857	0.0923	0.00086	577	16	571	5	569	5	0.4	1.4
139	a85-р(ш5,r2-4)	67.3	123.1	0.0534	0.00107	0.3674	0.00705	0.0500	0.00050	344	26	318	5	314	3	1.3	9.6

Таблица 1.2 (продолжение)

Table 1.2 (continued)

№ п/п	Номер анализа в пробе	U, г/т	Th, г/т	Измеренные отношения (с коррекцией на обыкновенный свинец)						Возраст, млн лет (с коррекцией на обыкновенный свинец)						D1, %	D2, %
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$		
140	a86(ш5,r2-4)	61.1	102.2	0.2037	0.00242	15.5099	0.17006	0.5524	0.00512	2856	11	2847	10	2835	21	0.4	0.7
141	a87(ш5,r2-4)	76.5	59.3	0.0653	0.00091	1.1292	0.01472	0.1255	0.00119	783	17	767	7	762	7	0.7	2.8
142	a88-r(ш5,r2-4)	426.1	814.5	0.0589	0.00081	0.6741	0.00871	0.0830	0.00078	564	17	523	5	514	5	1.8	9.7
143	a89(ш5,r2-4)	208.4	162.2	0.1307	0.00158	6.9484	0.07742	0.3857	0.00357	2107	12	2105	10	2103	17	0.1	0.2
144	a90-c(ш5,r2-4)	236.5	203.9	0.0520	0.00070	0.3413	0.00429	0.0477	0.00045	283	18	298	3	300	3	-0.7	-5.7
145	a91(ш5,r2-5)	180.0	118.9	0.1263	0.00144	6.4946	0.06774	0.3731	0.00343	2046	11	2045	9	2044	16	0.0	0.1
146	a92(ш5,r2-5)	196.6	133.7	0.1254	0.00142	6.3873	0.06644	0.3696	0.00339	2034	12	2031	9	2027	16	0.2	0.3
147	a93-c(ш5,r2-5)	661.1	506.0	0.0496	0.00065	0.1830	0.00224	0.0268	0.00025	176	17	171	2	170	2	0.6	3.5
148	a94-c(ш5,r2-5)	164.3	127.7	0.0499	0.00077	0.1897	0.00275	0.0276	0.00026	189	21	176	2	175	2	0.6	8.0
149	a95-c(ш5,r2-5)	155.9	416.8	0.1284	0.00149	6.7268	0.07155	0.3801	0.00349	2076	12	2076	9	2077	16	0.0	0.0

Примечание. Анализы выполнены методом LA-ICP-MS в ЦКП ГИН РАН (лаборатория химико-аналитических исследований, аналитики А.С. Дубенский, К.Г. Ерофеева, В.С. Шешуков). Полужирным шрифтом выделены значения, принятые за возраст циркона (при возрасте <1 млрд лет для вычисления возраста использованы отношения $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, при возрасте ≥ 1 млрд лет – отношения $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$). Подчеркнуты минимальный и максимальный возрасты зерен детритового циркона в пробе. D1 и D2 – дискордантности датировок ($D1=100\% \cdot (\text{возраст } (^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}) / \text{возраст } (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) - 1)$, ($D2=100\% \cdot (\text{возраст } (^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}) / \text{возраст } (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) - 1)$). В гистограммах и КПВ учитывались анализы со степенью дискордантности $-10\% < D1, D2 < 10\%$ (отброшенные анализы помечены серым фоном). Суффиксы в номере анализа: c – ядро, r – оболочка, ш – номер шашки, г – номер серии измерений.

Калибровка изотопных измерений проводилась по внешнему стандарту с использованием циркона GJ-1 [Jackson et al., 2004; Elhlou et al., 2006], качество анализа оценивалось путем последовательного измерения неизвестных образцов и контрольных стандартов циркона 91500 [Wiedenbeck et al., 2004; Yuan et al., 2008] и Plesoviče [Sláma et al., 2008] с аттестованными по изотопному отношению $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ значениями возраста. Для циркона GJ-1, 91500 и Plesoviče в ходе измерений получены средневзвешенные оценки возраста ($\pm 2\sigma$) 600.5 \pm 2.6 (n=58), 1071 \pm 14 (n=15) и 335 \pm 3 (n=15) млн лет, соответственно. Эти значения в пределах ошибки измерения соответствуют аттестованным по изотопному отношению $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ средневзвешенным значениям возраста ($\pm 2\sigma$) 601.9 \pm 0.4, 1063.5 \pm 0.4 и 337.2 \pm 0.1 млн лет, полученным методом CA-ID-TIMS [Horstwood et al., 2016].

Для коррекции на обыкновенный свинец использована программа ComPbCorr, составленная [Andersen, 2008]. Теоретические основы коррекции и формулы, по которым проводится коррекция, приведены в работе [Andersen, 2002]. Нарушение изотопной U-Th-Pb системы зерна циркона оценивается, исходя из измеренных содержаний изотопов свинца ^{206}Pb , ^{207}Pb и ^{208}Pb в цирконе и известных изотопных соотношений между изотопами свинца, которые в программе приняты как $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=8.7$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.628$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=38.63$.

Note. The analyses were made by the LA-ICP-MS method at the SRF GIN RAS (Laboratory of Physical and Analytical Methods of Study, analysts A.S. Dubensky, K.G. Erofeeva, V.S. Sheshukov). The bold values are those accepted as zircon ages (at an age of <1 Ga, the calculations were made using $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ratios, at an age of ≥ 1 Ga лет – $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ratios). The underlining shows the minimum and the maximum ages of detrital zircons in the sample. D1 and D2 are discordant ages ($D1=100\% \cdot (\text{age } (^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}) / \text{age } (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) - 1)$, ($D2=100\% \cdot (\text{age } (^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}) / \text{age } (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) - 1)$). The histograms and the PDCs were plotted based on the analyses with a degree of discordance. The concordant age calculations were made regarding the analyses with a degree of discordance $-10\% < D1, D2 < 10\%$ (the excluded analyses are highlighted in grey). The suffixes in the analysis number: c – core, r – rim, ch – checker number, g – measurement series number.

The calibration of isotope measurements was performed based on the external standard using zircon GJ-1 [Jackson et al., 2004; Elhlou et al., 2006], the assessment of analytical quality was made using sequential measurements of unknown samples and zircon standard 91500 [Wiedenbeck et al., 2004; Yuan et al., 2008] and Plesoviče [Sláma et al., 2008] with $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages. Measurement of zircon GJ-1, 91500 and Plesoviče yielded the weighted average ages ($\pm 2\sigma$) 600.5 \pm 2.6 (n=58), 1071 \pm 14 (n=15) and 335 \pm 3 (n=15) Ma, respectively. These ages within the measurement error correspond to the $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ weighted average ages ($\pm 2\sigma$) 601.9 \pm 0.4, 1063.5 \pm 0.4 and 337.2 \pm 0.1 Ma, obtained by the CA-ID-TIMS method [Horstwood et al., 2016].

The standard lead correction was made using ComPbCorr Software developed in [Andersen, 2008]. Theoretical grounds for correction and the formulas on which it is based are presented in [Andersen, 2002]. The violation of U-Th-Pb isotopic system of zircon is assessed based on the measured contents of lead isotopes ^{206}Pb , ^{207}Pb and ^{208}Pb in zircon and known isotope ratios between lead isotopes used in the in the software program as $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=8.7$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.628$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=38.63$.