



Научная статья  
УДК 552.512:551.762.2:550.9

## Офиолитовая ассоциация мыса Фиолент (запад Горного Крыма) – верхнее ограничение возраста по результатам U-Pb изотопного датирования плагиориолитов (скала Монах)

Н.Б.КУЗНЕЦОВ<sup>1</sup>✉, Т.В.РОМАНИЮК<sup>2</sup>, А.В.СТРАШКО<sup>1</sup>, А.С.НОВИКОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Геологический институт РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт физики Земли РАН им. О.Ю.Шмидта, Москва, Россия

**Как цитировать эту статью:** Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В., Страшко А.В., Новикова А.С. Офиолитовая ассоциация мыса Фиолент (запад Горного Крыма) – верхнее ограничение возраста по результатам U-Pb изотопного датирования плагиориолитов (скала Монах) // Записки Горного института. 2022. Т. 255. С. 435-447. DOI: 10.31897/PMI.2022.37

**Аннотация.** В работе представлены результаты U-Pb изотопного датирования (SHRIMP-II, ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург) кристаллов циркона, извлеченных из плагиориолитов скалы Монах района мыса Фиолент на западе Горного Крыма (южный пригород Севастополя). По 20 анализам, выполненным по 20 кристаллам циркона, получена конкордантная возрастная оценка –  $168,3 \pm 1,3$  млн лет, точно соответствующая рубежу байосского и батского веков средней юры по Международной хроностратиграфической шкале (вариант февраля 2022 г.). Выполнен синтез имеющихся результатов изотопного датирования магматитов Горного Крыма, а также их геохимической типизации. С плагиориолитами 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 является верхним возрастным ограничением времени формирования всей офиолитовой ассоциации мыса Фиолент.

**Ключевые слова:** Крым; мыс Фиолент; юра; офиолиты; плагиориолиты; циркон; U-Pb изотопное датирование

**Благодарность.** Исследования выполнены в соответствии с планами исследований по теме государственных заданий ГИН РАН и ИФЗ РАН, аналитические исследования и работы Н.Б.Кузнецова выполнены при финансовой поддержке МОН РФ (Мегагрант 075-15-2022-1100 «Орогенез: образование и рост континентов и суперконтинентов»).

**Поступила:** 20.03.2022    **Принята:** 25.05.2022    **Онлайн:** 26.07.2022    **Опубликована:** 26.07.2022

**Введение.** Западная часть Крымских гор – традиционное место проведения учебных геологических практик студентов московских и Санкт-Петербургских вузов, в том числе Санкт-Петербургского горного университета. С конца 90-х годов XX в. более 20 лет по ряду объективных причин длился перерыв в проведении этих практик для студентов СПбГУ, практики были возобновлены с 2015 г. Основной полигон, на примере геологического строения которого студенты-геологи СПбГУ получают первый опыт составления геологических карт, расположен в верхнем течении р. Бельбек, в окрестностях пос. Куйбышево (полигон «Куйбышево»). В этом районе Крымских гор доминирующее развитие имеют осадочные толщи, совокупный стратиграфический интервал которых охватывает диапазон от верхнетриасово-нижнеюрской таврической серии, представленной интенсивно дислоцированным терригенно-глинистым флишем, до нижнемеловых-нижнепалеогеновых глинисто-карбонатных толщ, залегающих в виде пологой моноклинали.

Представления о формах залегания, внутреннем строении и составе магматических образований у студентов могут быть сформированы на примере недалеко отстоящего (всего 30-35 км к западу – юго-западу) от полигона «Куйбышево» участка распространения разнородных пород



и магматических образований мыса Фиолент (полигон «Фиолент»). Однако в геологическом сообществе до настоящего времени не сложился консенсус в трактовке геодинамической природы известных на полигоне «Фиолент» магматитов и ассоциирующих с ними пород, а также их возрастного соотношения с другими известными проявлениями мезозойского магматизма в Крыму. Для магматитов полигона «Фиолент» не известно ни одной современной надежной высокоточной U-Pb изотопной датировки по циркону, а по всему Крыму они единичны. В предлагаемой статье представлено краткое описание полигона «Фиолент», обосновывающее трактовку магматитов, а также пространственно и, скорее всего, парагенетически связанных с ними пород этого полигона, как офиолитовую ассоциацию мыса Фиолент, а также результаты U-Pb изотопного датирования кристаллов циркона, извлеченного из плагиориолитов, представляющих собой самые молодые магматические образования, распространенные в пределах полигона «Фиолент».

**Мезозойский магматизм Горного Крыма. Общие сведения.** Систематическое изучение геологического строения западной части Горного Крым (ГК) началось в XIX в. [1], были впервые описаны и изучены развитые в ГК магматические породы [2, 3]. Существенной интенсификации геологического изучения Крыма в XX в. в послевоенное время способствовало заложение в ГК полигонов учебных геологических практик таких ведущих геологических вузов России как Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербургский государственный университет, Российский государственный геолого-разведочный университет, Воронежский государственный университет и др. [4-6]. Магматиты мыса Фиолент на южном берегу Гераклеяского полуострова [7, 8] – это обязательные объекты геологической практики студентов-первокурсников МГУ.

За уже почти двухвековую историю изучения Крыма накоплено большое количество данных, полученных традиционными геологическими методами. В начале XXI в. появились обзорные работы, в которых предприняты попытки на основе синтеза всей разнообразной информации реконструировать историю геологического развития п-ова Крым [9-12]. К 2011 г. был закончен международный геологический проект «Geology Without Limits (Геология без границ)», в рамках которого было отработано 8872 км линий морского сейсмического глубинного профилирования. Сеть профилей покрыла всю акваторию Черного моря. Это позволило получить точные карты рельефа фундамента и расшифровать архитектуру осадочного выполнения черноморских котловин [13, 14], а также наметить корреляции между тектоническими структурами Крымского, Балканского и Анатолийского полуостровов [15-17] в контексте их общей геодинамической эволюции в фанерозое. 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 Крыма, а также спектры возрастов зерен детритового циркона из обломочных пород мезозойских толщ ГК. Первые такие данные существенно уточнили возрасты магматизма в Крыму [18, 19], а также обеспечили информацию об источниках сноса для развитых в этом регионе осадочных толщ [20-22].

На территории Крыма выделяют два региона: Степной Крым и ГК (рис.1). Степной Крым – это фрагмент эпигерцинской Скифской плиты, а ГК – это киммерийская складчатая область, вовлеченная в синальпийское горообразование. В пределах ГК отчетливо обособлены три орографически различных района, называемые обычно – Первая, Вторая и Третья гряды.

В геологическом строении ГК выделяют два структурно-тектонических этажа: нижний (киммерийский), представленный складчатым комплексом, и верхний (синальпийский), сложенный осадочным чехлом. Осадочные и вулканогенно-осадочные образования киммерийского структурного комплекса слагают видимые на современном эрозионном срезе структуры основания моноклинально залегающих синальпийских меловых и палеоценовых толщ ГК.

Киммерийский структурный комплекс за очень редким исключением обнажен в пределах Первой гряды ГК и образует структурное основание моноклинали Второй гряды ГК, сложенной синальпийским структурным комплексом. Синальпийский структурный комплекс состоит из залегающих моноклинально меловых и кайнозойских толщ. Ими сложены верхние элементы структуры Второй гряды и Третья гряда ГК.

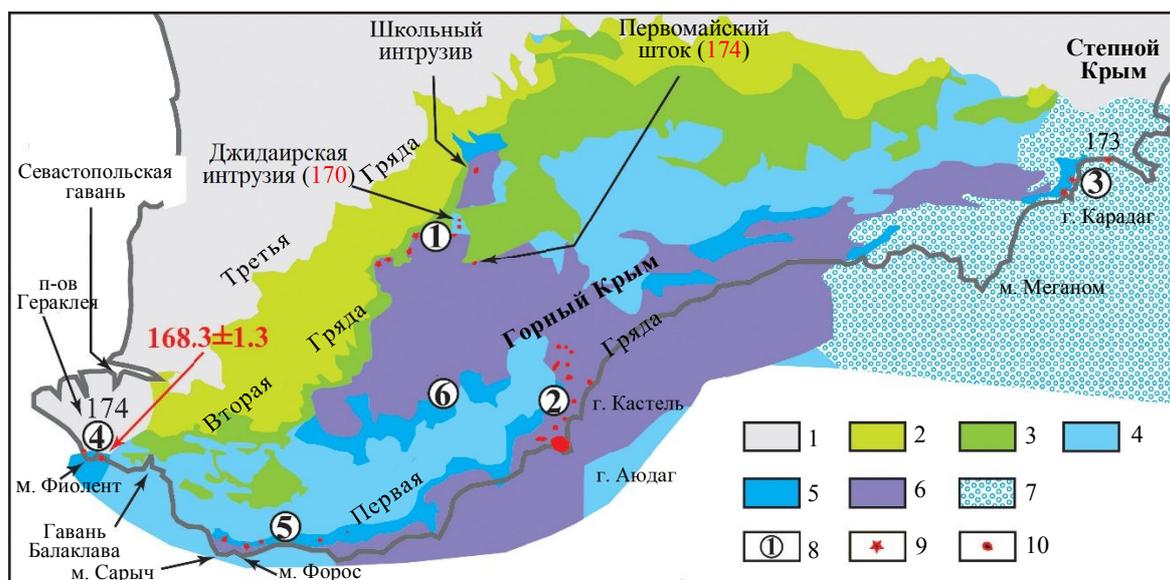


Рис.1. Геолого-тектоническая схема Горного Крыма по [13] с упрощениями и добавлениями

1-3 – синальпийский структурный комплекс: 1 – верхнекайнозойские толщи осадочных терригенно-глинисто-карбонатных пород, слагающие Третью гряду Крымских гор, и верхние части разреза регионов Скифской плиты, попадающих в пределы Степного Крыма; 2 – верхнемеловые и нижнекайнозойские толщи осадочных глинисто-карбонатных и карбонатных пород, слагающие верхние части разреза Второй гряды Крымских гор; 3 – нижнемеловые толщи осадочных терригенных пород, слагающие нижние части разреза Второй гряды Крымских гор; 4-7 – киммерийский структурный комплекс: 4 – верхнеюрские (верхнеюрско-бериасские) толщи карбонатных, карбонатно-обломочных и терригенных грубообломочных (конгломератов) пород, слагающие верхние платообразные части Первой гряды Крымских гор; 5 – среднеюрские толщи вулканогенных, вулканогенно-осадочных, терригенных (конгломераты, песчаники) пород и угленосные толщи, слагающие склоны Первой гряды 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 и равнине, расположенной на Керченском полуострове, а также на сопряженной части шельфа Черного моря; 8 – магматические ареалы; 9 – вулканы; 10 – интрузивы. Цифры в кружках – ареалы (?позднетриасово-) юрского магматизма (цифры – современные изотопные датировки, млн лет, красный цвет шрифта – U-Pb изотопное датирование по циркону, черный цвет шрифта – K-Ar или Ar-Ar датирование)

Исключение составляет крайний западный (юго-западный) участок Третьей гряды ГК. Здесь в районе мыса Фиолент (на полигоне «Фиолент») обнажены верхние части синальпийского комплекса, стратиграфический разрез которого начинается с полого залегающей терригенно-глинисто-карбонатной толщи сарматского (средний миоцен) регионаруса Перитетической области [23], соответствующего верхам серровальского и тартонскому ярусам [24]. Эта толща с резко выраженным структурным несогласием налегает на выветрелые и глубоко эродированные разнородные магматические образования, относимые обычно к средней юре [18] и объединяемые [25-29] в офиолитовую ассоциацию мыса Фиолент.

Складчатый комплекс нижнего (киммерийского) структурного этажа ГК представлен неравномерно дислоцированными толщами осадочных, реже вулканогенно-осадочных и вулканогенных пород, относимых к стратиграфическому интервалу от верхнего триаса до верхов юры, а возможно и низов нижнего мела. Этот комплекс вмещает интрузивные тела базитов и гранитоидов и претерпел несколько этапов деформаций, во время которых были сформированы разнообразные складчатые и покровно-надвиговые структуры.

В ГК магматические проявления, приуроченные к киммерийскому складчатому комплексу, сгруппированы по меньшей мере в шести ареалах – «Бодрак-Первомайский», «Аюдаг-Кастель», «Карадаг», «Фиолент-Гераклея», «Сарыч-Форос-Олива», «Верхняя Кача» (рис.1). До недавнего времени возраст магматитов в ГК был обоснован преимущественно полевыми (в том числе в отдельных случаях биостратиграфическими) методами и очень ненадежными геохронологическими данными (результатами K-Ar или Ar-Ag изотопного датирования). В работе [30] были представлены результаты  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -изотопного датирования 10 образцов и геохимического изучения



31 образца магматитов ГК. Значительная часть изученных образцов была классифицирована как породы пониженной кремнекислотности (андезиты, диориты, базальты) и повышенной щелочности, а образец СУКР3 из Первомайского штока (рис.1) – как щелочной сиенит-монзонит (alkali-syenite-monzonite). Полученные датировки статистически распались на две группы. Магматиты ареала «Карадаг» показали чуть более молодые возрасты (142-151 млн лет), чем ареала «Бодрак-Первомайский» (158-172 млн лет). При этом возраст (144-180 млн лет) единственного образца (СУКР3) из Первомайского штока (ареал «Бодрак-Первомайский») показал очень большую аналитическую погрешность.

В последние годы появились и высокоточные геохронологические данные, краткая сводка которых по магматическим ареалам приведена ниже.

1. Среднеюрская толща вулканогенно-осадочных пород, распространенных в окрестностях с. Трудолюбовка, и пространственно тяготеющие к полям развития пород этой толщи мелкие тела габброидов, диабазов, габбро-диабазов, долеритов, габбро-диоритов и микро-диоритов, включая Первомайский шток и Джидайрскую интрузию (магматический ареал «Бодрак-Первомайский»). Возраст (SHRIMP-II, U-Pb изотопные датировки по циркону) габбро-долеритов Джидайрской интрузии по девяти кристаллам циркона составил  $169,7 \pm 1,5$  млн лет; долеритов Первомайского штока по 16 кристаллам циркона –  $174,2 \pm 1,2$  млн лет; порфировых лейкократовых базальтов из силлоподобного тела, расположенного к востоку от с. Трудолюбовка, по пяти кристаллам циркона –  $144,2 \pm 2,0$  млн лет; базальтоиды еще для двух тел (по двум и одному кристаллам циркона) – 136 и 125 млн лет [31].

2. Массивы габброидов и гранитоидов, слагающих горы Аюдаг и Кастель, и ассоциированные с ними меньшие интрузивные тела (магматический ареал «Аюдаг-Кастель») по регионально-геологическим данным принято считать бат-байоскими [6 и др.]. Геохронологические оценки возраста магматитов этого ареала пока ограничены только косвенными данными – изучением единичных зерен циркона, выделенных из конгломератов нижней толщи верхнеюрской демерджийской свиты г. Южная Демерджи, методом фишен-трек (ZrFT) [32]. По мнению авторов этой работы, изученные зерна циркона произошли из гранитоидов г. Кастель, а возраст магматизма ареала «Аюдаг-Кастель» не моложе 150 млн лет.

3. Базальты, андезиты и дациты, слагающие часть горного массива Карадаг – вулканические постройки Хоба-Тепе и Святая Гора (магматический ареал «Карадаг»). Для вулканитов Карадага недавно получен Ar-Ar изотопный возраст  $172,8 \pm 4,5$  млн лет [33].

4. Апоперидотитовые серпентиниты, габброиды, базальты, долериты и плагиориолиты, обнаженные в береговых скалах в районе мыса Фиолент [25-29], а кроме того – вскрытые скважинами на Гераклеяском плато [18] (магматический ареал «Фиолент-Гераклея»). Попытки получить U-Pb изотопный возраст по трем кристаллам циркона из дайки долеритов центрального участка обнаженной части ареала «Фиолент-Гераклея» на установке SHRIMP-II дали оценки –  $1771 \pm 28$  млн лет [18]. Это значение интерпретировано либо как возраст мантийного субстрата, из которого вылавлялись базитовые магмы, либо как возраст циркона из докембрийских пород, захваченного при движении магмы к поверхности. Для плагиориолита K-Ar методом определен возраст в 174 млн лет.

5. Долериты, андезибазальтовые порфириты и дациты, слагающие субвулканические тела, гипабиссальные штоки и силлы, пространственно и, по-видимому, парагенетически ассоциирующие со среднеюрскими туфогенно-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 – магматический ареал «Сарыч-Форос-Олива». 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 глубин 1240, 1606 и 1757 м были драгированы дациты, для которых получена оценка K-Ar изотопного возраста ~197 млн лет [18]. Прямых геохронологических оценок возраста магматитов наземной части ареала «Сарыч-Форос-Олива» нет. Магматические образования западной части южного берега Крыма, и в том числе тела магматитов, расположенные в западной части южного склона Первой гряды ГК в рай-



онах сел Олива, Меллас, Форос, были описаны еще во второй половине XIX в. [1-3 и др.]. Фактически общепринято считать их среднеюрскими [4, 5]. Однако в последние годы появилась требующая серьезной проверки информация о находке в породах, вмещающих эти тела в районе дачи Тессели, палеонтологических остатков, указывающих на то, что магматиты тессельского комплекса не могут быть моложе позднего триаса [34, 35].

б. 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 – магматический ареал «Верхняя Кача». Самые общие сведения об этих магматитах со ссылками на результаты крупномасштабных геолого-съёмочных работ В.И.Иванова и Б.И.Чайковского приведены в работах [34, 35]. Там же высказано предположение о поздне триасовом возрасте этих магматических образований.

Таким образом, только для двух объектов ГК – Первомайского штока и Джидайской интрузии к моменту написания статьи были известны надежные U-Pb датировки по сингенетичному аксессуарному циркону.

**Магматический ареал «Фиолент-Гераклея».** Магматические образования ареала «Фиолент-Гераклея» известны в литературе как: 1) разнородные и разнотипные (от риолитов до базитов) изверженные образования, слагающие так называемую Гераклейскую вулcano-тектоническую структуру [36]; 2) офиолитовая ассоциация мыса Фиолент или офиолиты п-ова Гераклея [25-29]. Эти образования обнажены в крутых (достигающих восточнее мыса Фиолент высоты 200 м) береговых обрывах южной части п-ова Гераклея (рис.2), а также вскрыты скважинами, пробуренными на плато Гераклея, расположенном на одноименном полуострове [36]. Магматиты этого ареала со структурным несогласием в основании стратиграфически перекрыты толщей сарматского региояруса (рис.3).

Поле распространения магматитов этого ареала ограничено на востоке Георгиевским разломом. Северная и западная границы ареала скрыты под пологозалегающей толщей сарматского региояруса, бронирующей плато Гераклея. Изверженные образования ареала «Фиолент-Гераклея» совместно с залегающими среди них эдафогенными брекчиями и яшмоидами объединяют в офиолитовую ассоциацию. С породами этой ассоциации пространственно, а скорее всего парагенетически, ассоциирует колчеданное оруденение [36]. Существует точка зрения, в соответствии с которой поле распространения пород офиолитовой ассоциации, развитой в пределах ареала «Фиолент-Гераклея», представляет собой один из крайних западных элементов строения «Предгорной коллизионной сутуры»<sup>1</sup> [9, 12].

По поводу возраста и понимания геодинамической природы изверженных образований ареала «Фиолент-Гераклея», как и других магматических ареалов ГК, до сих пор нет единого мнения. Основная причина – недостаточная степень геологической изученности участков развития магматических образований в ГК, а также фактически полное отсутствие современных высоконадежных и точных геохронологических датировок магматитов ГК. Это в полной мере касается и магматитов ареала «Фиолент-Гераклея».

В ранних работах массив разнородных и разнотипных магматических пород, обнаженных в районе мыса Фиолент, был интерпретирован как щитовой вулкан, цоколем которого служат отложения верхнетриасово-нижнеюрской таврической серии [8]. При этом слагающие его изверженные образования сопоставлялись с магматитами хр. Карадаг, расположенного на востоке ГК [5]. На основе этих корреляций возраст изверженных образований ареала «Фиолент-Гераклея» определялся как средняя юра (байос).

В работах В.В.Юдина, например [9], область распространения изверженных образований ареала «Фиолент-Гераклея» была проинтерпретирована как зона меланжа, состоящего из хаотически расположенных бескорневых глыб магматического материала. В работе Е.Е.Шнюковой [18] обнаженная в прибрежной полосе часть поля распространения изверженных образований ареала

<sup>1</sup> Юрско-раннемеловая Предгорная коллизионная сутура в Крыму была выделена В.В. Юдиным [9]. Основанием для этого послужили «следы» офиолитовой ассоциации – серпентинизированные ультраосновные породы, обнаруженные в керне скважины, пробуренной в 15 км северо-восточнее Симферополя [12]. По мнению В.В. Юдина, Предгорная коллизионная сутура – это фрагмент (часть) «сутуры палеоокеана Мезотетис».



Рис.2. Схема геологического строения п-ова Гераклея. Составлена на основе среднемасштабной Государственной геологической карты L-36-XXXIV, XXXV, 1965 (автор И.В. Архипов, редактор М.В.Муратов)

- 1 – терригенно-глинисто-карбонатная толща сарматского (средний миоцен) региояруса;
- 2 – терригенно-глинисто-карбонатная толща палеогена;
- 3 – карбонатно-терригенные и туфогенно-глинистые толщи мела;
- 4 – карбонатные и глинисто-терригенные толщи верхней юры;
- 5 – среднеюрские магматические образования ареала «Фиолент-Гераклея»;
- 6 – Георгиевский разлом;
- 7 – скважины [36];
- 8 – место отбора пробы К20-088 из плагиориолитов скалы Монах; красные цифры – датировка плагиориолитов скалы Монах, млн лет

подобные тела серпентинизированных гипербазитов – верлитов, лерцолитов и дунитов с реликтами кумулятивных структур (перемычка, связывающая скальный берег с мысом Утюг, N44°31'21.7", E33°27'59.3") и дайки долеритов. На этом же участке (мыс Виноградный – N44°31'03.9", E33°28'09.2") обнажена сводовая (купольная) часть субвулканического тела интенсивно флюидальных лимонитизированных риолитов, несущих рассеянную вкрапленную сульфидную минерализацию.



Рис.3. Общий вид обнажений среднеюрских магматических образований ареала «Фиолент-Гераклея» (темный тон, ближе к урезу воды), слагающих в районе мыса Фиолент цоколь высокой морской террасы, и перекрывающей их толщи сарматского региояруса (светлый тон)

«Фиолент-Гераклея» разделена на серию участков, в пределах которых магматиты были сформированы во время отдельных этапов магматической активности. В работах [25-29] развиты представления, в соответствии с которыми изверженные образования ареала «Фиолент-Гераклея» вместе с ассоциирующими породами образуют офиолитовую ассоциацию.

**Общие сведения о внутреннем строении обнаженной части магматического ареала «Фиолент-Гераклея».** На западе обнаженной в береговых обрывах мыса Фиолент части поля распространения изверженных образований ареала «Фиолент-Гераклея» преимущественно развиты плутонические породы – габброиды нескольких структурно-текстурных и вещественных типов (бухта Александры с кутовой частью в точке N44°31'19.3", E33°28'06.6"; мыс Крокодил – N44°31'12.6", E33°28'04.0"; мыс Лермонтова – N44°30'35.2", E33°28'41.3"), вмещающие редкие мелкие пластино-



На правом, северо-западном борту Царской бухты в точке с координатами  $N44^{\circ}30'35.4''$ ,  $E33^{\circ}28'50.2''$  отчетливо видно, как габброиды по тектоническому контакту (по-видимому, по сбросу) контактируют с пологозалегающей толщей подушечных базальтов (рис.4, а). В бортах этой бухты над пляжем «Царское село» и на скальном мысе Подкова обнажены подушечные базальты (рис.4, б, в, г). Пространство между отдельными подушками зачастую выполнено карбонатизированными зелеными гиалокластитам.

В кутовой части и на восточном борту Царской бухты в пляжевой прибойной зоне расположены обширные плоские скальные обнажения (выходы) пестрых эдафогенных брекчий (рис.4, д). Здесь во многих точках (например, в точках с координатами  $N44^{\circ}30'32.3''$ ,  $E33^{\circ}28'51.1''$  и  $N44^{\circ}30'30.5''$ ,  $E33^{\circ}28'56.5''$ ) отчетливо виден нижний пологий контакт толщи подушечных базальтов с подстилающими их пестрыми эдафогенными брекчиями (рис.4, е). На этом участке, как и на западе ареала «Фиолент-Гераклея», отмечены дайки долеритов, которые секут толщу подушечных лав.



Рис.4. Береговые скальные обнажения пород офиолитовой ассоциации, расположенные в береговой полосе к северо-западу от мыса Фиолент:

а – тектонический контакт (по-видимому, сброс, показанный белой пунктирной линией), по которому слагающие мыс Лермонтова габброиды контактируют с пологозалегающей толщей подушечных базальтов; б, в, г – подушечные базальты в бортах Царской бухты над пляжем «Царское село»; д – пестрые эдафогенные брекчии кутовой части Царской бухты; е – пологое налегание подушечных базальтов (бурый тон) на пестрые эдафогенные брекчии (зеленый тон) на мысе Подкова



На востоке ареала «Фиолент-Гераклея» отчетливо обособлена серия сближенных субвулканических тел – экструзивных куполов и штоков, сложенных светлыми плагиориолитами, образующими скалы Монах и Георгиевская, а также скальные острова Ифигения, Орест и Пилат. У подошвы перекрывающей здесь плагиориолиты с отчетливым несогласием миоценовой терригенно-глинисто-карбонатной толщи, в зоне предмиоценовой гипергенной проработки, плагиориолиты превращены в светлые фарфоровидные породы с реликтами изометричных зерен высокотемпературного кварца. По периферии экструзивных куполов и штоков в плагиориолитах проявлено автомагматическое(?) брекчирование, при этом для центральных частей плагиориолитовых тел характерна отчетливо проявленная столбчатая отдельность (рис.5). Особенно отчетливо это видно на примере скалы Монах (N44°30'13.6", E33°30'18.7"), ограничивающей с запада Яшмовую бухту.

В работах [27, 28] приведены некоторые вещественные (петрографические, петро- и геохимические) характеристики плагиориолитов ареала «Фиолент-Гераклея». Плагиориолиты – это неотчетливо порфиоровидные породы светлого зеленовато-серого цвета. Порфиоровые выделения размером до 1,5-2,0 мм представлены таблитчатым кислым плагиоклазом и изометричными кристаллами кварца, погруженными в скрытокристаллическую кварц-плагиоклазовую основную массу. Плагиориолиты, очевидно, представляют собой наиболее молодые магматические образования этого ареала. Их возраст является верхним возрастным ограничением всех развитых здесь изверженных пород.

**Риолиты скалы Монах. Химическая и геохронологическая характеристика.** Петро- и геохимические характеристики рассматриваемых плагиориолитов<sup>2</sup> позволяют отнести эти породы к низко- или умереннокалиевым кремнекислым породам известково-щелочной серии с пологим



Рис.5. Обнажения плагиориолитов на правом борту Яшмовой бухты. Вверху слева – на заднем плане общий вид скалы Монах. Остальные фотографии – детали строения плагиориолитов в нижней части скалы Монах

<sup>2</sup> Данные силикатного анализа по пробе K20-088, из которой были выделены зерна циркона. Содержание основных петрогенных компонентов, %: SiO<sub>2</sub> 70,86; TiO<sub>2</sub> 0,20; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 14,43; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2,13; FeO 0,46; MnO 0,06; MgO 2,04; CaO 0,60; Na<sub>2</sub>O 5,38; K<sub>2</sub>O 1,46; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,05; п.п.п.2.28; сумма 99,94. Результаты получены рентгенофлуоресцентным методом в ЛХФИ ЦКП ГИН РАН, Москва.



спектром распределения редкоземельных элементов и вполне отчетливой отрицательной европиевой аномалией [27, 28]. Содержание Zr и Hf в плагиориолитах вполне типично для состава верхнекорковых образований. Такие содержания Zr и Hf в породах и, в частности, в плагиориолитах скалы Монах, означают, что в этих породах может в значительных количествах присутствовать циркон.

Для выделения циркона из плагиориолитов скалы Монах нами (в точке с координатами N44°30'14.5", E33°30'21.0") в 2020 г. была отобрана проба К20-088 весом около 5 кг. Из этой пробы в специализированной лаборатории ГИН РАН по стандартной методике (измельчение, промывка, разделение в бромформе, магнитная сепарация, выделение монофракции цирконов вручную под биноклем) было выделено около 200 кристаллов циркона.

Для выделенных кристаллов акцессорного циркона характерны отчетливые кристаллографические очертания, типичные для магматогенного циркона. Циркон светлый, прозрачный с едва заметным желтоватым оттенком. Размеры кристаллов варьируют от 50 до 200 мкм. В некоторых кристаллах циркона видны минеральные включения, а также включения и пустоты непонятной природы. Для U-Pb изотопного датирования было отобрано 50 наиболее подходящих для этой цели зерен циркона, которые были переданы в ЦИИ ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург), где они были имплантированы в эпоксидный диск и приполированы. После фотографирования в проходящем свете (с параллельными и скрещенными николями) и в катодных лучах по изображениям в 20 зернах были намечены области не менее 20 мкм, лишенные видимых включений, трещин, метамиктных зон и др. нарушений (рис.6).



Рис.6. Монтаж катодно-люминесцентных (CL) и оптических изображений 20 изученных кристаллов циркона из плагиориолитов скалы Монах, мыс Фиолент. Для каждого изображения в левом верхнем углу черным цветом указан его номер. Положение кратера (кружок, диаметр 20 мкм) и полученные оценки возраста (млн лет) с погрешностью измерений  $1\sigma$  показаны красным цветом



Результаты U-Rb изотопного анализа кристаллов циркония, извлеченного из пробы K20-088, отобранной из плаггиориолитов скалы Монах (мыс Фиолент, запад ГК)

Точки анализа	$^{206}\text{Pb}$ , %	U, г/г	Th, г/г	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ , г/г	$^{206}\text{Pb}^*$ , г/г	$^{206}\text{Rb}/^{238}\text{U}$ , возраст $\pm 1\sigma$ , млн лет	$^{207}\text{Rb}/^{235}\text{U}$ , возраст $\pm 1\sigma$ , млн лет	Общ. $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb} \pm 1\sigma$ , %	Общ. $^{207}\text{Rb}/^{206}\text{Pb} \pm 1\sigma$ , %	$^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb} \pm 1\sigma$ , %	$^{207}\text{Rb}/^{206}\text{Pb} \pm 1\sigma$ , %	$^{207}\text{Rb}/^{235}\text{U} \pm 1\sigma$ , %	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm 1\sigma$ , %	ЕС	
1.1	0,70	158	143	0,93	3,52	163,9 $\pm 2,7$	163,1 $\pm 2,7$	38,57	0,0584	5,8	0,0528	9,0	0,02574	1,7	0,182
2.1	0,92	54	28	0,53	1,26	170,0 $\pm 4,2$	168,1 $\pm 4,3$	37,09	0,0662	12,0	0,0587	16,0	0,02671	2,5	0,155
3.1	0,47	109	57	0,54	2,5	169,7 $\pm 3,1$	169 $\pm 3,1$	37,31	0,0566	5,2	0,0529	7,1	0,02668	1,9	0,252
4.1	0,38	174	144	0,85	3,98	168,4 $\pm 2,7$	168,4 $\pm 2,7$	37,63	0,0527	4,2	0,0497	6,2	0,02647	1,6	0,249
5.1	0,47	218	175	0,83	5,11	173,1 $\pm 2,5$	173 $\pm 2,5$	36,57	0,0537	3,7	0,0499	5,5	0,02721	1,5	0,256
6.1	0,63	178	160	0,93	3,99	165,3 $\pm 2,6$	165,2 $\pm 2,6$	38,25	0,0549	4,3	0,0499	7,5	0,02598	1,6	0,207
7.1	1,01	47	23	0,51	1,14	176,7 $\pm 5,1$	175,4 $\pm 5,0$	35,60	0,0639	7,0	0,0558	12,0	0,0278	2,9	0,231
8.1	0,28	249	242	1,00	5,62	166,6 $\pm 2,3$	166,3 $\pm 2,4$	38,09	0,0529	3,6	0,0507	4,8	0,02618	1,4	0,282
9.1	0,50	218	205	0,97	4,92	166,2 $\pm 2,4$	165,7 $\pm 2,4$	38,10	0,0556	5,1	0,0516	7,1	0,02611	1,5	0,203
10.1	0,50	98	57	0,60	2,28	170,7 $\pm 3,2$	169,9 $\pm 3,2$	37,07	0,0574	5,3	0,0533	7,4	0,02684	1,9	0,248
11.1	0,65	171	129	0,78	3,92	168,6 $\pm 2,7$	168,2 $\pm 2,6$	37,49	0,0568	4,0	0,0516	7,3	0,0265	1,6	0,214
12.1	0,77	135	96	0,73	3,16	172,0 $\pm 3,2$	172,7 $\pm 3,2$	36,69	0,0526	4,6	0,0465	9,3	0,02704	1,9	0,198
13.1	1,09	96	55	0,59	2,25	171,6 $\pm 3,4$	170,2 $\pm 3,5$	36,66	0,0651	10	0,0563	14,0	0,02698	2,0	0,142
14.1	1,05	101	85	0,87	2,24	163,2 $\pm 3,5$	162,8 $\pm 3,5$	38,60	0,0596	9,1	0,0512	14,0	0,02563	2,2	0,149
15.1	0,53	66	32	0,49	1,52	169,2 $\pm 3,7$	168,6 $\pm 3,8$	37,40	0,0567	8,1	0,0524	10,0	0,02659	2,2	0,215
16.1	0,33	305	264	0,89	7,01	169,7 $\pm 2,2$	169,9 $\pm 2,2$	37,36	0,0514	3,1	0,0488	4,2	0,02668	1,3	0,298
17.1	0,35	596	670	1,16	13,3	165,3 $\pm 1,9$	165,3 $\pm 1,9$	38,37	0,0521	2,3	0,0494	3,2	0,02597	1,1	0,337
18.1	0,53	95	51	0,55	2,21	171,0 $\pm 3,2$	170,7 $\pm 3,3$	37,00	0,0554	6,1	0,0512	8,4	0,02688	1,9	0,224
19.1	0,60	86	43	0,52	1,93	165,1 $\pm 3,3$	164 $\pm 3,3$	38,31	0,0596	5,6	0,0548	8,2	0,02595	2,0	0,240
20.1	0,31	169	117	0,71	3,91	170,4 $\pm 2,6$	169,9 $\pm 2,7$	37,22	0,0544	4,2	0,0519	5,3	0,02678	1,6	0,284

Примечание. Погрешность измерений  $1\sigma$ ; Rbс и Rb\* – содержания общего и радиогенного свинца, соответственно; ошибка стандартной калибровки – 0,33 %; коррекция на общий свинец выполнена, исходя из измеренных содержаний  $^{204}\text{Pb}$ , ЕС =  $(^{207}\text{Rb}^*/^{235}\text{U}) / (1\sigma^{207}\text{Rb}^*/^{235}\text{U}) / (^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}) / (1\sigma^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U})$ .



U-Pb изотопное датирование выполнено в ЦИИ ВСЕГЕИ на установке SHRIMP-II по стандартной методике (описание методики: <http://www.vsegei.com/ru/activity/labanalytics/cir/cirpribor/index.php>). Результаты выполненных 20 U-Pb изотопных анализов приведены в таблице. По ним получена средневзвешенная конкордантная датировка –  $168,3 \pm 1,3$  ( $2\sigma$ ) млн лет, при вероятности – 0,12 и СКВО(MSWD) – 2,4 (рис.7). Эта оценка возраста плагиориолитов скалы Монах точно соответствует рубежу байосского и батского веков средней юры по Международной хроностратиграфической шкале (вариант февраля 2022 г. [24]) и может быть принята как верхний возрастной рубеж времени формирования всех изверженных образований офиолитовой ассоциации мыса Фиолент.

**Обсуждение.** Полученная новая U-Pb изотопная (SHRIMP-II) конкордантная оценка воз-

раста  $168,3 \pm 1,3$  млн лет риолитов скалы Монах в окрестности мыса Фиолент в настоящее время является самой надежной в методическом и метрологическом смысле геохронологической датировкой магматических образований Крыма. Накопление новых высокоточных датировок существенно уточняет, а в некоторых случаях и ставит под сомнение надежность большинства полученных ранее калий-аргоновых и аргон-аргоновых датировок магматитов ГК. Так, для вулканитов Карадага недавно получен Ar-Ar изотопный возраст  $172,8 \pm 4,5$  млн лет [33] и, таким образом, результаты датирования магматитов ареала «Карадаг», выполненные ранее тем же самым методом [30] и давшие более молодые возрасты (142-151 млн лет), не подтвердились. Таким образом, в настоящее время нет надежных геохронологических данных, обосновывающих длительный интервал магмопроявлений или существование различных этапов магматической активности в ГК. Имеющиеся надежные геохронологические данные вместе с нашей новой датировкой указывают на узкий временной интервал одновременного проявления ненадсубдукционной магматической активности в ГК в интервале 175-168 млн лет. Вместе с другими данными эта магматическая активность может быть интерпретирована как индикатор раскрытия единого Крымско-Западно-Кавказского аален-байосского задугового бассейна.

**Заключение.** В работе представлены результаты U-Pb изотопного датирования (SHRIMP-II, ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург) кристаллов циркона, извлеченных из плагиориолитов скалы Монах района мыса Фиолент на западе ГК. Получена конкордантная возрастная оценка  $168,3 \pm 1,3$  млн лет, точно соответствующая рубежу байосского и батского веков средней юры. Новые данные позволяют сделать следующие выводы.

1. Новая U-Pb изотопная оценка возраста риолитов скалы Монах в настоящее время является самой надежной в методическом и метрологическом смысле геохронологической датировкой магматических образований Крыма.

2. С плагиориолитами мыса Фиолент пространственно, а скорее всего и парагенетически, связаны рудные и околорудные колчеданные образования, а также породы, объединяемые в офиолитовую ассоциацию мыса Фиолент. Полученная датировка является верхним ограничением возраста всей офиолитовой ассоциации мыса Фиолент.

3. Накопленные новые высокоточные U-Pb изотопные датировки магматитов ГК существенно уточняют, а в некоторых случаях и ставят под сомнение надежность большинства полученных ранее калий-аргоновых и аргон-аргоновых датировок магматитов ГК.

4. Новые надежные датировки магматитов ГК свидетельствуют о проявлении магматизма в аален-байосское время (175-168 млн лет) по всему ГК.

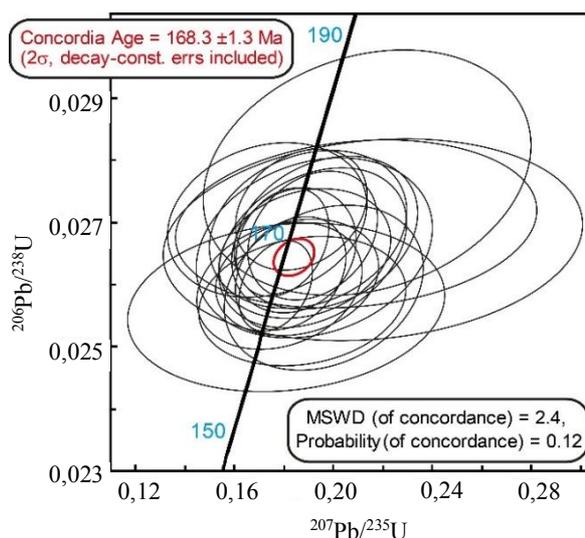


Рис.7. Диаграмма с конкордией U-Pb датировок изученных зерен циркона из плагиориолитов скалы Монах, мыс Фиолент. Конкордантное значение – красный эллипс



## ЛИТЕРАТУРА

1. Головкинский Н. К геологии Крыма. Результаты геологических изысканий и разведок на ископаемый уголь в окрестностях Балаклавы // Записки Новороссийского общества естествоиспытателей. Одесса. 1883. Т. VIII. Вып. 2. С. 1-41.
2. Лагорио А.Е. К геологии Крыма. О некоторых массивных горных породах Крыма и их геологическом значении // Записки Варшавского университета. 1887. № 5. С. 1-16; № 6. С. 17-48.
3. Зайцев А. К петрографии Крыма // Ежегодник геологии и минералогии России. 1908. Т. 10. С. 146-154.
4. Геология СССР. Т. 8. Часть 1. Геологическое описание. М.: Недра, 1969. 576 с.
5. Лебединский В.И., Соловьев И.В. Байосские вулканоструктуры Горного Крыма // Геологический журнал. 1988. № 48. С. 60-80.
6. Спиридонов Э.М., Федоров Т.О., Ряховский В.М. Магматические образования Горного Крыма. Статья 1 // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. 1990. Т. 65. Вып. 4. С. 119-133.
7. Шнюков Е.Ф., Рябенко В.А., Сиденко О.Г. и др. Первая находка ультрамафитов в Крыму // Доклады АН УССР. Серия Б. 1979. № 1. С. 18-20.
8. Шаталов Н.Н., Борисенко Л.С., Пивоваров С.В., Дубина Е.Л. Дайки Гераклейской вулcano-тектонической структуры Крыма // Доклады АН УССР. 1990. № 9. С. 19-23.
9. Юдин В.В. Магматизм Крымско-Черноморского региона с позиций актуалистической геодинамики // Мінеральні ресурси України. 2003. № 3. С. 18-21.
10. Милеев В.С., Барабошкин Е.Ю., Розанов С.Б., Рогов М.А. Киммерийская и альпийская тектоника Горного Крыма // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. 2006. Т. 81. № 3. С. 22-33.
11. Никишин А.М., Алексеев А.С., Барабошкин Е.Ю. и др. Геологическая история Бахчисарайского района Крыма. М.: Изд-во МГУ, 2006. 60 с.
12. Юдин В.В. Геодинамика Крыма. Симферополь: ДИАЙПИ, 2011. 336 с.
13. Nikishin A.M., Okay A., Tuysuz O. et al. The Black Sea basins structure and history: new model based on new deep penetration regional seismic data. Part 2: Tectonic history and paleogeography // Marine and Petroleum Geology. 2015. Vol. 28. Iss. 3. P. 728-743. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2014.08.018.
14. Nikishin A.M., Wannier M., Alekseev A.S. et al. Mesozoic to recent geological history of southern Crimea and the Eastern Black Sea region. Tectonic Evolution of the Eastern Black Sea and Caucasus // Geological Society of London. Special Publication. 2015. Vol. 428. P. 241-264. DOI: 10.1144/SP428.1
15. Okay A.I., Nikishin A.M. Tectonic evolution of the southern margin of Laurasia in the Black Sea region // International Geology Review. 2015. Vol. 57. Iss. 5-8. P. 1051-1076. DOI: 10.1080/00206814.2015.1010609
16. Okay A., Topuz G. Variscan orogeny in the Black Sea region // International Journal of Earth Sciences. 2016. Vol. 106. DOI: 10.1007/s00531-016-1395-z
17. Kuznetsov N.B., Belousova E.A., Griffin W.L. et al. Pre-Mesozoic Crimea as a continuation of the Dobrogea platform: insights from detrital zircons in Upper Jurassic conglomerates, Mountainous Crimea // International Journal of Earth Sciences. 2019. Vol. 108. Iss. 7. P. 2407-2428. DOI: 10.1007/s00531-019-01770-2
18. Шнюкова Е.Е. Магматизм зоны сочленения Западно-Черноморской впадины, Горного Крыма и Скифской плиты: монография. Киев: Наукова Думка, 2016. 234 с.
19. Романюк Т.В., Кузнецов Н.Б., Рудько С.В. и др. 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. DOI: 10.5800/GT-2020-11-3-XXXX
20. Nikishin A.M., Romanyuk T.V., Moskovskii D.V. et al. Upper Triassic Sequences of the Crimean Mountains: First Results of U-Pb Dating of Detrital Zircons // Moscow University Geology Bulletin. 2020. Vol. 75. Iss. 3. P. 220-236. DOI: 10.3103/S0145875220030096
21. Rud'ko S.V., Kuznetsov N.B., Belousova E.A., Romanyuk T.V. Age, Hf-Isotope systematics of Detrital Zircons and the Source of Conglomerates of the Southern Demerdzhi Mountain, Mountainous Crimea // Geotectonics. 2019. Vol. 53. Iss. 5. P. 569-587. DOI: 10.1134/S0016852119050042
22. Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В., Никишин А.М. и др. Источники сноса для верхнетриасово-нижнеюрского флиша и средне-верхнеюрских грубообломочных толщ киммерид Горного Крыма по результатам U-Pb изотопного датирования зерен детритового циркона // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2022. Т. 30. № 4. С. 52-75. DOI: 10.31857/S0869592X22040056
23. Гладенков Ю.Б. Неогеновая система международной стратиграфической шкалы и региональные схемы неогена России // Общая стратиграфическая шкала России: состояние и перспективы обустройства. Всероссийская конференция. 23-25 МАЯ 2013, Москва, Россия. ГИН РАН, 2013. С. 341-350.
24. International Chronostratigraphic Chart. Intern. Commis. on Stratigraphy. 2022. URL: <http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2022-02.pdf> (дата обращения 15.02.2022).
25. Демина Л.И., Промыслова М.Ю., Короновский Н.В., Царев В.В. Первая находка серпентинитов в коренных обнажениях Горного Крыма // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2015. № 5. С. 12-20.
26. Демина Л.И., Промыслова М.Ю., Короновский Н.В., Царев В.В. Первая находка серпентинитов в береговых обрывах Гераклейского полуострова юго-западного Крыма // Доклады Академии наук. 2017. Т. 475. № 1. С. 57-59. DOI: 10.7868/S0869565217190124
27. Промыслова М.Ю., Демина Л.И., Бычков А.Ю. и др. Офиолитовая ассоциация района мыса Фиолент (юго-западный Крым) // Геотектоника. 2016. № 1. С. 25-40. DOI: 10.7868/S0016853X16010045
28. Промыслова М.Ю., Демина Л.И., Бычков А.Ю. и др. Природа магматизма района мыса Фиолент (юго-западный Крым) // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2014. № 6. С. 14-22.



29. Промыслова М.Ю., Демина Л.И., Гуцин 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. DOI: 10.33623/0579-9406-2017-3-35-40
30. Meijers M.J.M., Vrouwe B., Hinsbergen D.J.J.van. Jurassic arc volcanism on Crimea (Ukraine): Implications for the paleo-subduction zone configuration of the Black Sea region // Lithos. 2010. Vol. 119. Iss. 3-4. P. 412-426. DOI: 10.1016/j.lithos.2010.07.017
31. Морозова Е.Б., Сергеев С.А., Савельев А.Д. Меловые и юрские интрузии Горного Крыма: первые данные U-Pb (SIMS SHRIMP)-датирования // Доклады Академии наук. 2017. Т. 474. № 1. С. 66-72. DOI: 10.7868/S086956521713014X
32. Соловьев А.В., Рогов М.А. Первые трековые датировки цирконов из мезозойских комплексов полуострова Крым // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2010. Т. 18. № 3. С. 74-82.
33. Popov D.V., Brovchenk V.D., Nekrylov N.A. et al. Removing a mask of alteration: geochemistry and age of the Karadag volcanic sequence in SE Crimea // Lithos. 2019. Vol. 324-325. P. 371-384. DOI: 10.1016/j.lithos.2018.11.024
34. 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 (71). № 3. С. 306-325.
35. Лысенко В.И. Характеристика вулканогенной толщи верхнего триаса в юго-западной части Горного Крыма // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. География. Геология. 2019. Т. 5(71). № 4. С. 230-253.
36. Шнюков Е.Ф., Лысенко В.И., Кутний В.А., Шнюкова Е.Е. Золото-серебрянная и сульфидная минерализация в породах Гераклеийского плато (Крым) // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2008. № 2 (12). С. 68-86.

**Авторы:** Н.Б.Кузнецов, д-р геол.-минерал. наук, член-корреспондент РАН, заместитель директора по научной работе, kouznikbor@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7285-6460> (Геологический институт РАН, Москва, Россия), Т.В.Романюк, д-р физ.-мат. наук, главный научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-0495-1466> (Институт физики Земли РАН им. О.Ю.Шмидта, Москва, Россия), А.В.Страшко, младший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0001-6838-7596> (Геологический институт РАН, Москва, Россия), А.С.Новикова, младший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-9396-6781> (Геологический институт РАН, Москва, Россия).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.