

УДК 552.512:551.762.2 (477.75)

ВОЗРАСТ, Hf-ИЗОТОПНАЯ СИСТЕМАТИКА ДЕТРИТОВЫХ ЦИРКОНОВ И ИСТОЧНИК СНОСА КОНГЛОМЕРАТОВ г. ЮЖНАЯ ДЕМЕРДЖИ, ГОРНЫЙ КРЫМ

С.В. Рудько¹, Н.Б. Кузнецов^{1,2,3,*}, Е.А. Белоусова³, Т.В. Романюк^{4,3}

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

²Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, 119991, Москва, Ленинский просп., д. 65, Россия

³Australian Research Council Centre of Excellence for Core to Crust Fluid Systems/GEMOC, Macquarie University, Sydney, NSW 2019, Australia

⁴Институт физики Земли РАН, 123242, Москва, Б.Грузинская ул., д.10, Россия

*e.mail: kouznikbor@mail.ru

Поступила в редакцию 2.06.2018 г.; после исправления 26.01.2019 г.; принята в печать 28.05.2019 г.

Выполнено U–Pb датирование и изучена Hf-изотопная система детритовых цирконов из прослоя песчаников в разрезе верхней конгломератовой толщи г. Южная Демерджи. Доминирующие популяции детритовых цирконов в изученной пробе характеризуют эпизоды магматической активности в пределах источника сноса верхнеюрских конгломератов, проявившиеся в венд-кембрийское, каменноугольно-триасовое и позднеюрское время. Величины ϵ_{Hf} , характерные для детритовых цирконов этих возрастов, указывают на незначительную роль древней (архейской–раннепротерозойской) континентальной коры в составе протолита магматических очагов. Сходство распределения возрастов детритовых цирконов из среднеюрских и верхнеюрских конгломератовых толщ дает основание считать их молассой Киммерийского орогена. Выявленное нами отсутствие продуктов среднеюрского магматизма в составе молассы Киммерийского орогена ограничивает его положение в южной части Скифской плиты. Показано, что первичным источником докембрийских детритовых цирконов были мобилизованные в пределах Киммерийского орогена фрагменты коры Пери-Гондванского происхождения, а не комплексы фундамента Восточно-Европейской платформы, аналогичные комплексам Украинского щита. Представлена реконструкция основных этапов формирования грубообломочных толщ Горного Крыма в контексте тектонической эволюции южной окраины Лавразии в мезозое.

Ключевые слова: Горный Крым, Киммерийский ороген, киммерийская складчатость, детритовые цирконы, U–Pb датирование, Hf-изотопная систематика, источник сноса, Гондвана, Балтика

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0016-853X2019536-61>

ВВЕДЕНИЕ

Горный Крым (ГК) является элементом строения Альпийско-Гималайского складчатого пояса, формирующегося в связи с коллизией Евразийской и Африкано-Аравийской литосферных плит. Породы, распространенные в Горном Крыму, испытали основные деформации в мезозое, а область их распространения является тектонотипом киммерийской эпохи складчатости [63]. Киммерийская складчатость была связана с аккреционно-коллизионными событиями на южной окраине Лавразии, интерпретированными в различных реконструкциях как:

- закрытие Палео-Тетиса и коллизия Лавразии с микроконтинентом Киммерия Гондванского происхождения [61];

- аккреция к Лавразии внутриокеанических поднятий Палео-Тетиса [53];

- закрытие задугового бассейна и последующая коллизия между Лавразией и отделившимся от нее в начале мезозоя террейном Эвксиния [13, 34, 66];

В геологическом разрезе Горного Крыма значительный объем занимают мощные толщи юрских-нижнемеловых терригенных грубообломочных пород, сложенных в основном галечными и валунными полимиктовыми конгломератами, которые содержат гальки метаморфических, магматических и осадочных пород, не известных в Горном Крыму [22, 29]. Гальки, не типичных для Горного Крыма пород, могли быть при-

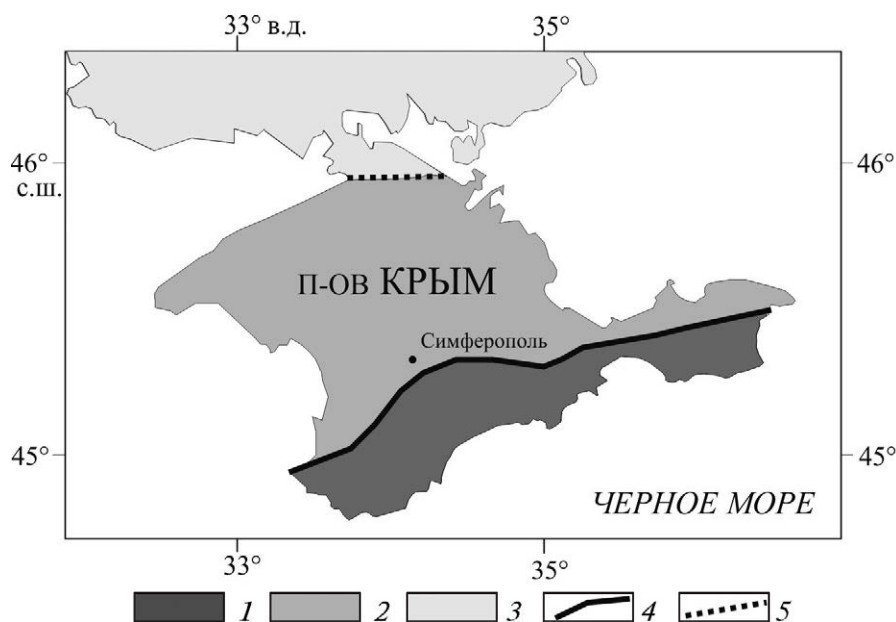


Рис. 1. Схема тектонического районирования п-ова Крым.

1 – Горнокрымский террейн (Горный Крым); 2 – Скифская плита (Степной Крым); 3 – Восточно-Европейская платформа; 4 – Лозовская зона смятия (Предгорная сутура); 5 – Северокрымская сутура

несены из комплексов фундамента Скифской плиты и, возможно, из комплексов фундамента Восточно-Европейской платформы (ВЕП), аналогичных комплексам Украинского щита [8]. В соответствии с альтернативной точкой зрения, экзотические обломки в юрские конгломератные толщи, были принесены с суши, располагавшейся на месте современной впадины Черного моря [27, 29].

По мнению В.В. Юдина [33, 31], грубообломочные толщи представляют собой молассы коллизионных орогенов, области их распространения в северной и южной частях Горного Крыма маркируют положение сутур, по которым произошло сочленение различных террейнов, аккретированных к южной окраине Лавразии в мезозое. Согласно исследованиям А.М. Никишина [17, 49], мощные толщи конгломератов Горного Крыма формировались в бассейнах типа пулл-апарт на стадиях рифтинга, следующих за коллапсом последовательно возникающих разновозрастных орогенов.

Формирование юрских грубообломочных толщ Горного Крыма могло происходить в результате катастрофических процессов (мегацунами, селевые потоки) или в обстановках нормальной седиментации [8, 30]. Наши исследования показали, что конгломераты Горного Крыма являются отложениями грубообломочных дельт гильбертова типа [19, 20]. Формирование дельт

данного типа происходит, если питающая провинция имеет горный ландшафт и расположена в непосредственной близости от области седиментации [45, 55, 56].

В настоящей статье мы представляем результаты U–Pb датирования и изучения Hf-изотопной системы детритовых цирконов (dZr) из верхнеюрских конгломератов г. Южная Демерджи, которые позволили нам определить геохронологические характеристики первичных источников сноса обломочного материала, слагающего эти конгломераты.

Сравнительный анализ полученных изотопных данных с другими данными по dZr в Горном Крыму и Причерноморском регионе позволил нам установить положение источников сноса юрских конгломератов Горного Крыма и происхождение структурного основания Скифской плиты. Мы провели реконструкцию условий формирования грубообломочных толщ Горного Крыма на южной окраине Лавразии в мезозое.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

В геологическом строении п-ова Крым выделены два основных структурных элемента – складчатая область Горного Крыма и Степной Крым [27] (рис. 1).

Степной Крым является частью Скифской плиты, представляющей собой эпигерцинскую

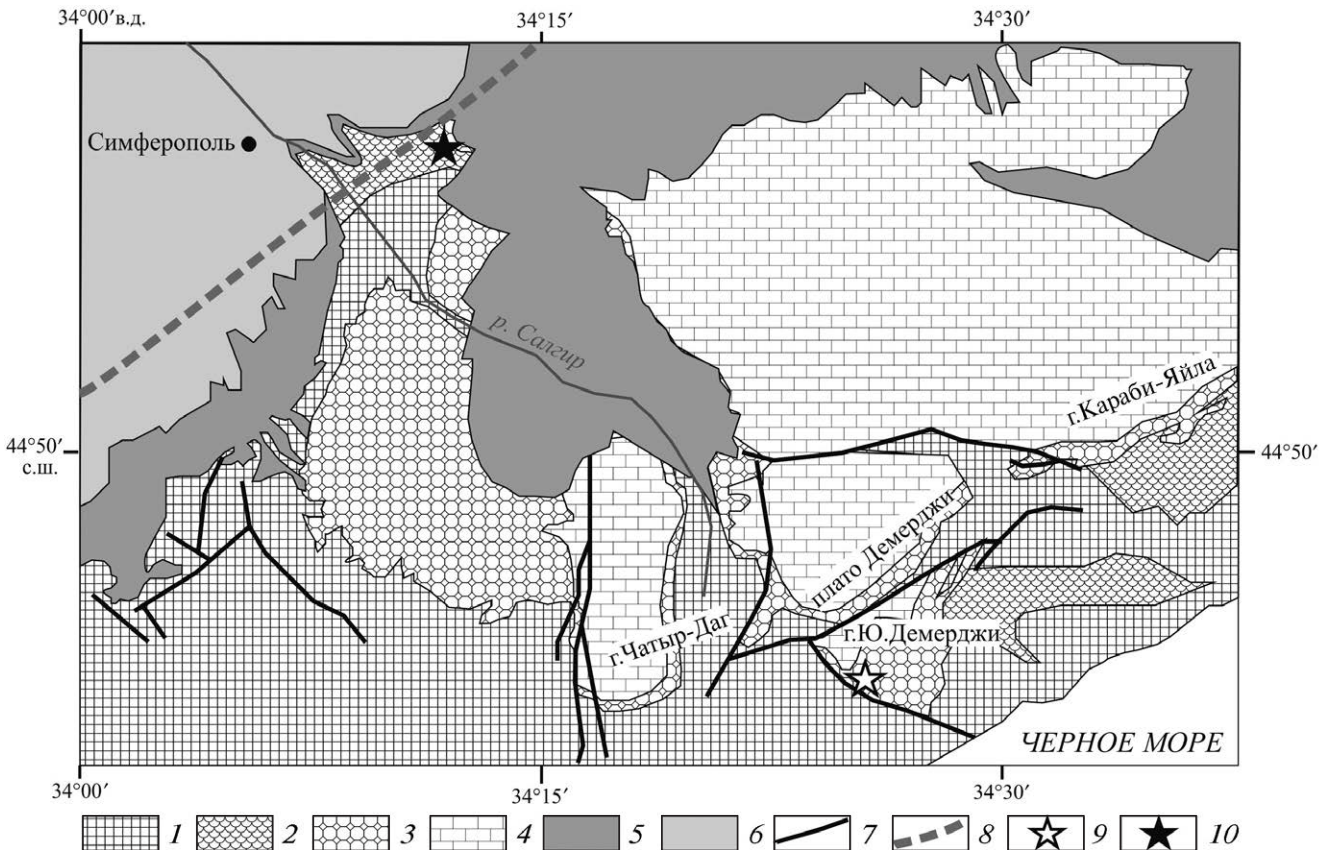


Рис. 2. Схема геологического строения Горного Крыма в области выходов юрских грубообломочных толщ битакских конгломератов и конгломератов г. Южная Демерджи (по данным [26], с изменениями и дополнениями).

1–4 – тектоно-стратиграфические единицы (серии) киммерийского структурного комплекса: 1 – таврическая, 2 – карадагская, 3 – судакская, 4 – яйлинская; 5–6 – породы альпийского структурного комплекса: 5 – меловые, 6 – палеоген-неогеновые; 7 – крупные вертикальные разрывные нарушения; 8 – Лозовская зона смятия; 9–10 – положение проб на детритовые цирконы из конгломератов: 9 – верхней толщи г. Южная Демерджи, 10 – битакских

структуру с платформенным стилем строения, фундамент которой сложен докембрийскими и палеозойскими кристаллическими комплексами, неравномерно метаморфизованными и деформированными. Граница между Степным Крымом и складчатой областью Горного Крыма (Горнокрымским террейном) проходит по Лозовской зоне смятия (интерпретируемая как Предгорная сutura [33, 31]) субширотного простирания и вскрытая бурением из-под мел–неогеновых толщ чехла в окрестностях г. Симферополь. Складки и разрывы, установленные в Лозовской зоне смятия и Горном Крыму, имеют южную вергентность [32], что дает нам основание считать, что Горнокрымский террейн пододвинут под Скифскую плиту. Северное ограничение Степного Крыма проходит по Галицинско-Азовской системе разломов (интерпретируемая как Северокрымская сutura [33,

31]) южного падения, пересекающей Перекопский перешеек в субширотном направлении [28, 62]. По данной разломной зоне Скифская плита граничит со структурами Восточно-Европейской платформы.

Происхождение Горнокрымского террейна (или террейнов), являющегося структурным основанием Горного Крыма, до сих пор однозначно не установлено. Однако, аналогичные крымским триасовые флишевые толщи известны к югу от Черного моря в Понтидах [52], что указывает на единство развития геологических структур в пределах Понтид и Горного Крыма, начиная с триаса и до раскрытия впадины Черного моря в позднем мелу [49]. Породы, древнее триасовых, в Горном Крыму не обнажены (исключение составляют олистолиты – крупные известняковые глыбы пермского и каменноугольного возраста, участвующие в строении

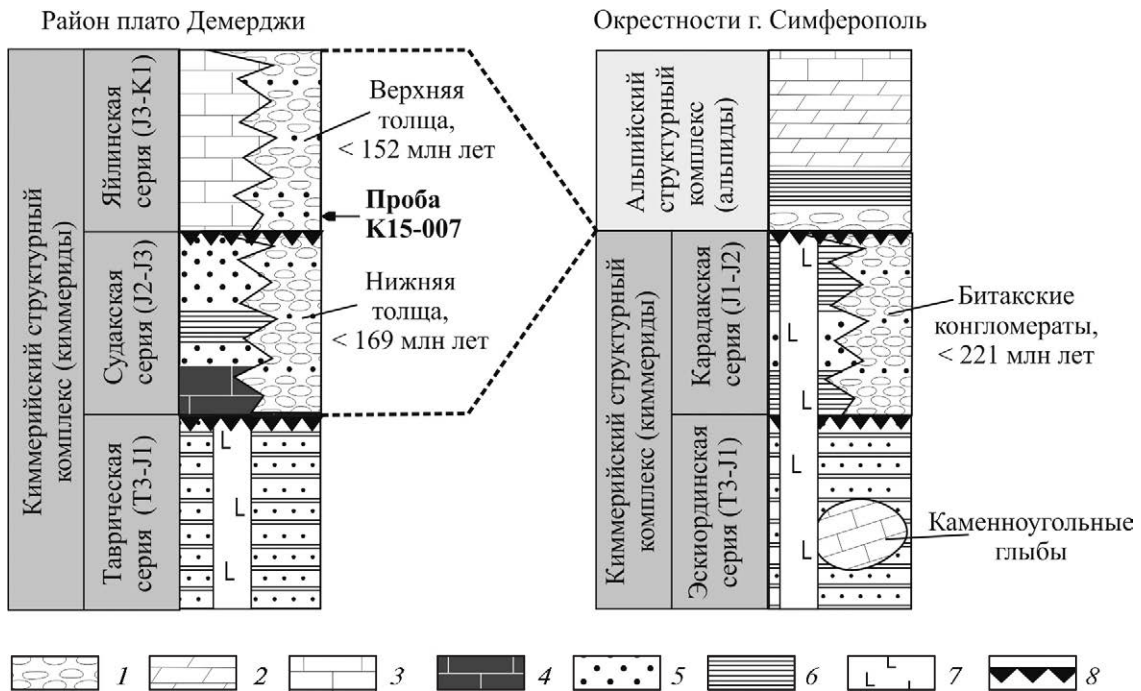


Рис. 3. Стратиграфическое положение грубообломочных пород в разрезах карадагской, судакской и яйлинской серий Горного Крыма.

1 – конгломераты; 2 – мергели; 3 – мелководные шельфовые известняки; 4 – пелагические известняки; 5 – песчаники; 6 – глины и аргиллиты; 7 – субвулканические интрузии средне-основного состава; 8 – структурные несогласия

Табл. 1. Стратиграфическое расчленение киммерийского комплекса Горного Крыма.

Возраст	Серия	Состав
J ₃ – K ₁	Яйлинская	Известняки, известняковые брекчии, конгломераты, мергели и карбонатно-терригенный флиш, отражающие различные фации мелководного карбонатного шельфа, склона и глубоководного бассейна, по [20]
J ₂ – J ₃	Судакская	Часто палеонтологически не охарактеризованные, карбонатно-терригенные толщи, а также обособленные карбонатные массивы, структурно связанные с отложениями карадагской серии. Доказанные отложения келловея представлены относительно глубоководными морскими иногда конденсированными фациями, по [1]
J ₁ – J ₂	Карадагская	Терригенные осадочные, вулканогенно-осадочные и вулканические породы островодужной известково-щелочной ассоциации. К карадагской серии относят богатые углистым детритом толщи табачных граувакковых песчаников с отпечатками флоры, по [26, 54]
T ₃ – J ₁	Таврическая	Терригенный флиш, который считается глубоководным возрастным аналогом эскиординской серии. Песчаники, участвующие в строении нижних элементов ритмов в составе флиша, имеют полимиктовый незрелый состав, по [6, 9, 13]
T ₃ – J ₁	Эскиординская	Чередования глин, алевролитов и песчаников, с глыбами каменноугольных и пермских мелководных органогенных известняков – тектонических отторженцев или олистолитов, по [25]

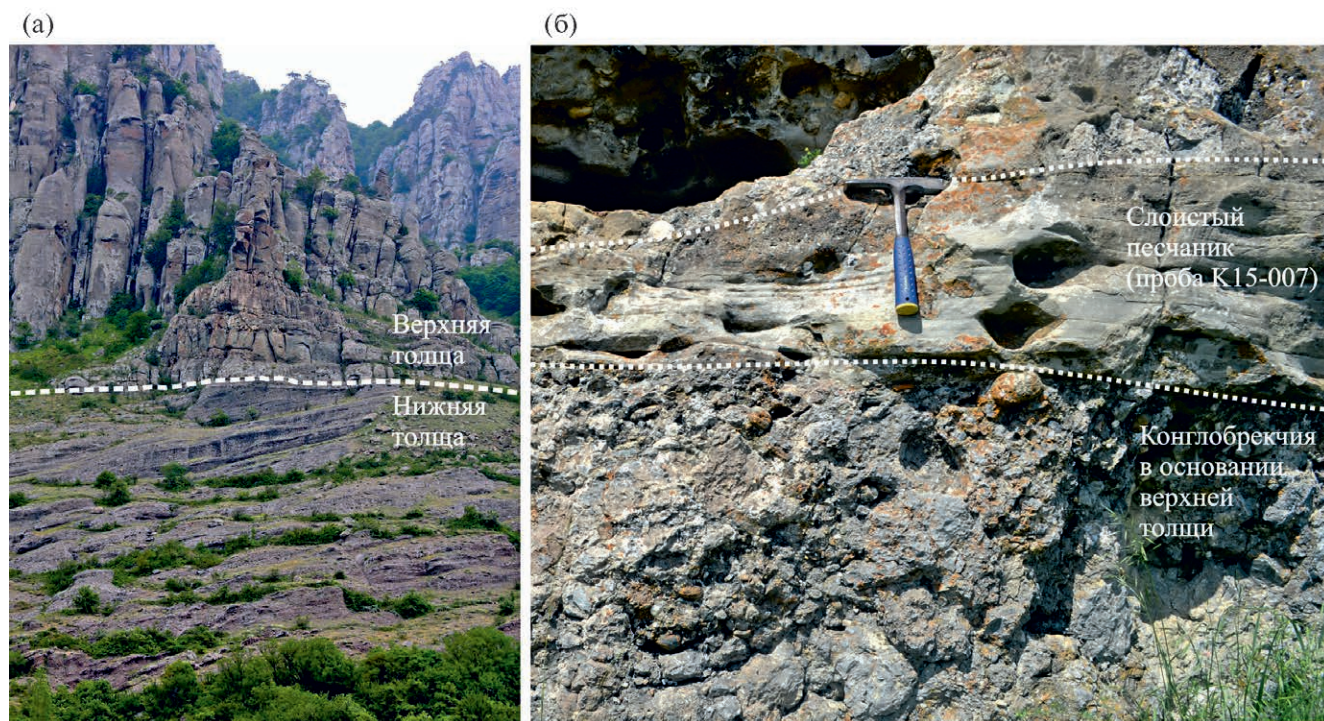


Рис. 4. Конгломераты г. Южная Демерджи.

(а) — характер взаимоотношений верхней и нижней толщ конгломератов на западном склоне г. Южная Демерджи.

Показана (штриховая линия) граница между верхней и нижней толщами, которая проходит по угловому несогласию в подошве маркирующего слоя, насыщенного обломками известняков.

(б) — место отбора пробы на юго-западном склоне г. Южная Демерджи по тропе от с. Лазурное к вершине г. Южная Демерджи.

Показаны (белые точечные линии) границы линзы песчаников, из которой взята проба К15-007.

флишевых толщ). Фундамент не был вскрыт ни одной скважиной, поэтому природа домезозойского основания и кристаллических комплексов Горнокрымского террейна до сих пор не известна.

Стратиграфическая позиция грубообломочных толщ Горного Крыма

В Горном Крыму выделены киммерийский (киммериды) и альпийский (альпиды) структурные комплексы [10, 11]. Альпийский структурный комплекс состоит из залегающих моноклинально меловых и кайнозойских толщ. Киммерийский структурный комплекс образован сложнодислоцированными образованиями, охватывающими стратиграфический интервал от триаса до берриасского яруса нижнего мела, включительно (рис. 2). Киммерийский комплекс разделен на пять тектоно-стратиграфических единиц в ранге серий (табл. 1) [10, 11]. Серии имеют тектонические контакты, породы, участвующие в строении серий, испытали сложные

деформации, мощность каждой серии составляет первые сотни метров и более [31, 32]. Породы эскиординской и таврической серий прорваны среднеюрскими [15, 16] диоритовыми интрузивами первомайско-аюдагского комплекса, породы карадагской серии прорваны андезибазальтовыми телами субвулканического бодракского и карадагского комплексов (аален—валанжин) [15, 46, 54].

Юрские грубообломочные толщи известны в разрезах карадагской, судакской и яйлинской серий (рис. 3).

К карадагской серии отнесена толща конгломератов битакской свиты, которая распространена на небольшой площади около пос. Строгановка в окрестностях г.Симферополь. Отмечено, что битакские конгломераты, маркирующие Предгорную сутуру, были сформированы за счет продуктов эрозии горного сооружения, возникшего в результате коллизии Горнокрымского террейна со Скифской плитой [31]. Битакская толща состоит из чередования грубообломочных пачек, включающих

валунно-галечные конгломераты, гравелиты и песчаники, а также пачек флишоидного переслаивания песчаников и алевролитов. Мы выявили, что субвертикально залегающие породы смяты в крупноамплитудные изоклинальные складки, не согласующиеся со стратиграфическим переходом от толщи битакских конгломератов к среднеюрским туфопесчаникам, по [17]. Контакт толщи битакских конгломератов с подстилающими более древними образованиями не обнажен, сверху толща битакских конгломератов с размывом и угловым несогласием перекрыта пологозалегающими нижнемеловыми валунно-галечными конгломератами байраклинской свиты. Найденный в 1979 г. тоарский аммонит в толще битакских конгломератов [3] позволил отнести их к наиболее ранним образованиям карадагской серии, сформированным до начала широко проявленного в Крыму среднеюрского магматизма.

К судакской серии отнесены залегающие с угловым несогласием на породах таврической серии грубообломочные толщи, распространенные в районе горной цепи, частью которой являются г. Чатыр-Даг, г. Ю.Демерджи и г. Караби-Яйла. В районе г. Караби-Яйла был установлен постепенный переход от толщи конгломератов к темно-серым глинистым известнякам с фауной раннего киммериджа [18], что явилось основанием условно отнести эти конгломераты к оксфорду. Конгломераты, распространенные в этом районе, маркируют зону коллизии Горнокрымского и Понтийского террейнов [32].

Конгломераты яйлинской серии содержат переотложенные глыбы верхнеюрских известняков и иногда имеют фациальный переход к толщам известняковых брекчий [19], которые датированы поздним титоном—берриасом [21]. По этим признакам к яйлинской серии мы относим грубообломочные породы, распространенные в вершинной части г. Ю.Демерджи (центральная часть Горного Крыма), на склоне г. Спилия (западная часть Горного Крыма) и мысе Орджоникидзе (восточная часть Горного Крыма), которые значительно удалены друг от друга.

В разрезе г. Ю. Демерджи грубообломочные образования представлены нижней и верхней толщами, которые разделены стратиграфическим и угловым несогласием [19] (рис. 4, а). Нижняя толща отнесена к судакской серии. Эта толща сложена лиловыми валунно-галечными конгломератами с прослоями песчаников. Слоистость внутри толщи круто наклонена на

запад, северо-запад и прилегает к выровненной эрозионной поверхности интенсивно деформированных пород таврической серии. На конгломератах по резкой хорошо дешифрируемой границе залегают серые, в основном менее грубые конгломераты с прослоями песчаников и конглобрекчий верхней толщи, относимой к яйлинской серии. Первично горизонтальные слои в этой толще полого падают на восток, что отражает незначительный тектонический наклон всего разреза г. Ю. Демерджи. Косые серии указывают на юго-западное направление переноса материала. Угловое несогласие между грубообломочными толщами обусловлено клиноформным строением разновозрастных и разнонаправленных проградационных конусов [19, 20], что типично для подобных седиментационных структур, образованных внутри дельт гильбертова типа [45, 56].

Таким образом, мощные грубообломочные толщи встречены в интервале от тоара до валанжина на трех различных стратиграфических уровнях киммерийского комплекса Горного Крыма. Толща битакских конгломератов (тоар) является самой древней из них, верхняя толща конгломератов г. Ю. Демерджи является самой молодой. Валунные конгломераты байраклинской свиты, которые с угловым несогласием налегают на битакские конгломераты, могут быть их стратиграфическим аналогом или слагать основание разреза альпийского структурного комплекса.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для выделения и последующего изучения dZr нами была отобрана проба (K15-007) из песчаников в нижней части разреза верхней толщи конгломератов г. Южная Демерджи, в точке с координатами 44°44'41.9" с.ш. и 34°24'28.4" в.д. (см. рис. 4, б). Опробованный линзовидный слой песчаников выделяется среди прочих наиболее тонким гранулометрическим составом и хорошей сортировкой, он налегает на маркирующий слой конглобрекчий, содержащих глыбы светло-серых известняков.

Проба начальным весом около 1 кг была измельчена в чугунной ступке до размерной фракции <0.3 мм и отмучена в проточной водопроводной воде. Высушенный измельченный материал пробы разделен по удельному весу в бромформе (2.89 г/см³). Из полученного концентрата тяжелых минералов выбрано ~150

Табл. 2. Результаты U-Pb (LA-ICP-MS) датирования детритовых цирконов из песчаников верхней конгломератовой толщи г. Южная Демерджи (проба K15-007), Горный Крым.

Номер анализа	Th г/г	U г/г	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ погреш- ность	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ погреш- ность	RHO (корр. ошибки)	Возраст, млн лет						D, %
									$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ погреш- ность	$^{*207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ погреш- ность	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ погреш- ность	
K15_007-002	29	289	0.10	0.73147	0.01223	0.0897	0.00072	0.4801	554	4	557	7	573	36	3.62
K15_007-003	232	302	0.77	0.31774	0.00587	0.04443	0.00035	0.4264	280	2	280	5	280	42	-0.02
K15_007-004	38	66	0.57	0.83939	0.01893	0.09902	0.00093	0.4165	609	5	619	10	657	49	7.71
K15_007-005	65	70	0.93	6.7999	0.07594	0.382	0.00268	0.6282	2086	13	2086	10	2086	19	0.07
K15_007-006	107	193	0.55	12.4797	0.15395	0.49033	0.00359	0.5935	2572	16	2641	12	2695	20	5.59
K15_007-009	135	348	0.39	0.68797	0.02038	0.08531	0.001	0.3957	528	6	532	12	549	65	3.97
K15_007-010	86	155	0.56	15.2611	1.41401	0.55029	0.02012	0.3946	2826	84	2832	88	2835	155	0.37
K15_007-012	475	431	1.10	3.50203	0.03876	0.19326	0.00128	0.5984	1139	7	1528	9	2118	19	50.31
K15_007-013	189	390	0.48	0.76141	0.02322	0.09229	0.00111	0.3944	569	7	575	13	598	67	5.11
K15_007-013A	103	166	0.62	4.86885	0.06094	0.31818	0.00229	0.575	1781	11	1797	11	1816	22	2.26
K15_007-014	32	42	0.75	0.33662	0.01627	0.04676	0.00076	0.3363	295	5	295	12	295	111	0.34
K15_007-015	135	178	0.76	16.3336	0.22621	0.56201	0.00407	0.5229	2875	17	2897	13	2912	22	1.59
K15_007-016	106	195	0.55	11.123	0.16184	0.45854	0.0036	0.5396	2433	16	2533	14	2615	24	8.38
K15_007-017	66	98	0.67	2.2634	0.03297	0.2015	0.00152	0.5179	1183	8	1201	10	1233	30	4.42
K15_007-018	132	259	0.51	1.37426	0.03826	0.14189	0.00163	0.4126	855	9	878	16	937	61	9.30
K15_007-019	45	82	0.54	0.85921	0.01790	0.10231	0.00091	0.4269	628	5	630	10	636	47	1.42

Продолжение табл. 2.

Номер анализа	Th г/г	U г/г	Th/U	$^{207}\text{Pb}/$ ^{235}U	1σ погреш- ность	$^{206}\text{Pb}/$ ^{238}U	1σ погреш- ность	RHO (корр. ошибки)	Возраст, млн лет						D, %
									$^{206}\text{Pb}/$ ^{238}U	1σ погреш- ность	$^{207}\text{Pb}/$ ^{235}U	* 1σ погреш- ность	$^{207}\text{Pb}/$ ^{206}Pb	1σ погреш- ность	
K15_007-021	167	165	1.01	7.04388	0.08707	0.39137	0.00273	0.5643	2129	13	2117	11	2105	22	-1.32
K15_007-022	6	25	0.25	11.9557	0.17195	0.487	0.00412	0.5882	2558	18	2601	13	2635	25	3.56
K15_007-023	70	96	0.73	0.24897	0.01226	0.03549	0.00059	0.3376	225	4	226	10	236	118	4.78
K15_007-027	161	170	0.95	5.39492	0.07118	0.33685	0.00242	0.5445	1871	12	1884	11	1898	24	1.63
K15_007-028	73	163	0.45	4.94221	0.09846	0.31776	0.00295	0.466	1779	14	1809	17	1846	38	4.21
K15_007-031	213	309	0.69	0.32257	0.00970	0.045	0.00051	0.3769	284	3	284	7	285	72	0.44
K15_007-032	267	268	1.00	0.31149	0.00670	0.04364	0.00038	0.4048	275	2	275	5	276	52	0.15
K15_007-034	75	470	0.16	0.39536	0.00815	0.05345	0.00046	0.4175	336	3	338	6	357	49	6.10
K15_007-037	40	91	0.44	6.75174	0.07376	0.37971	0.00261	0.6292	2075	12	2079	10	2084	20	0.51
K15_007-039	417	540	0.77	0.32504	0.00694	0.04332	0.00039	0.4217	273	2	286	5	389	50	30.35
K15_007-040	168	352	0.48	0.35722	0.01032	0.04886	0.00055	0.3896	308	3	310	8	330	69	7.01
K15_007-041	123	132	0.93	3.31766	0.08388	0.25956	0.00307	0.4678	1488	16	1485	20	1482	51	-0.44
K15_007-042	72	138	0.52	0.28052	0.00892	0.03978	0.00046	0.3637	251	3	251	7	248	77	-1.58
K15_007-044	495	906	0.55	0.35002	0.01035	0.04844	0.00056	0.391	305	3	305	8	305	71	-0.04
K15_007-045	122	182	0.67	0.53339	0.00888	0.06962	0.00054	0.4659	434	3	434	6	435	39	0.33
K15_007-046	79	89	0.89	1.13748	0.02426	0.12716	0.00121	0.4462	772	7	771	12	770	47	-0.16
K15_007-048	123	366	0.34	0.38106	0.00849	0.05219	0.00049	0.4214	328	3	328	6	327	53	-0.42

Продолжение табл. 2.

Номер анализа	Th г/г	U г/г	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ погреш- ность	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ погреш- ность	RHO (корр. ошибки)	Возраст, млн лет						D, %
									$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ погреш- ность	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	* 1σ погреш- ность	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ погреш- ность	
K15_007-049	880	424	2.07	0.80287	0.01497	0.09693	0.00084	0.4648	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	5	598	8	606	42	1.75
K15_007-050	94	50	1.86	4.83562	0.07110	0.31485	0.00252	0.5444	1765	12	1791	12	1822	28	3.64
K15_007-051	143	163	0.88	6.75035	0.08248	0.38312	0.00268	0.5725	2091	12	2079	11	2068	22	-1.29
K15_007-052	694	1102	0.63	0.49546	0.00644	0.06529	0.00045	0.5303	408	3	409	4	414	30	1.53
K15_007-054	61	155	0.39	2.38583	0.03296	0.21227	0.00156	0.532	1241	8	1238	10	1234	28	-0.58
K15_007-055	130	199	0.66	13.5916	0.39044	0.51648	0.00604	0.4071	2684	26	2722	27	2750	41	2.9
K15_007-056	120	186	0.64	1.63976	0.02485	0.16527	0.00125	0.4991	986	7	986	10	985	31	-0.08
K15_007-057	73	393	0.18	6.4318	0.06087	0.37067	0.00234	0.667	2033	11	2037	8	2041	16	0.49
K15_007-058	74	203	0.37	6.38897	0.06298	0.37267	0.00241	0.656	2042	11	2031	9	2020	17	-1.28
K15_007-059	175	235	0.74	7.17986	0.07073	0.3922	0.00253	0.6548	2133	12	2134	9	2135	17	0.13
K15_007-061	184	266	0.69	7.75611	0.13266	0.35852	0.00318	0.5186	1975	15	2203	15	2423	29	21.42
K15_007-062	102	79	1.29	0.16438	0.00700	0.02424	0.00034	0.3294	154	2	155	6	157	99	1.95
K15_007-063	169	290	0.58	3.36085	0.03553	0.26045	0.00171	0.621	1492	9	1495	8	1500	20	0.6
K15_007-065	50	66	0.76	0.32228	0.01696	0.04474	0.0008	0.3398	282	5	284	13	296	123	4.91
K15_007-066	330	452	0.73	0.32418	0.00621	0.04519	0.00038	0.439	285	2	285	5	287	44	0.82
K15_007-067	540	712	0.76	0.38953	0.00968	0.05299	0.00053	0.4025	333	3	334	7	342	57	2.88

Продолжение табл. 2.

Номер анализа	Th г/т	U г/т	Th/U	$^{207}\text{Pb}/$ ^{235}U	1 σ погреш- ность	$^{206}\text{Pb}/$ ^{238}U	1 σ погреш- ность	RHO (корр. ошибки)	Возраст, млн лет						D, %
									$^{206}\text{Pb}/$ ^{238}U	1 σ по- греш- ность	* $^{207}\text{Pb}/$ ^{235}U	*1 σ по- греш- ность	$^{207}\text{Pb}/$ ^{206}Pb	1 σ по- греш- ность	
K15_007-068	81	326	0.25	14.063	0.20202	0.43983	0.0033	0.5223	2350	15	2754	14	3065	23	27.77
K15_007-069	36	65	0.56	0.31679	0.01200	0.0446	0.00058	0.3433	281	4	279	9	264	89	-6.61
K15_007-070	90	89	1.01	3.41234	0.04644	0.26355	0.00196	0.5465	1508	10	1507	11	1506	26	-0.12
K15_007-071	8	11	0.79	0.71052	0.07450	0.08833	0.00313	0.338	546	19	545	44	543	239	-0.50
K15_007-073	476	680	0.70	0.16505	0.00452	0.02432	0.00026	0.3904	155	2	155	4	158	65	2.19
K15_007-074	162	230	0.70	2.96281	0.08585	0.243	0.00191	0.2713	1402	10	1398	22	1392	47	-0.84
K15_007-075	131	431	0.30	0.36676	0.00924	0.05071	0.00038	0.2974	319	2	317	7	305	51	-4.56
K15_007-078	209	357	0.58	0.33303	0.00873	0.04631	0.00048	0.3954	292	3	292	7	292	61	0.22
K15_007-079	226	304	0.74	0.32494	0.00992	0.04527	0.00052	0.3763	285	3	286	8	288	71	1.11
K15_007-082	112	196	0.57	6.94616	0.18759	0.37842	0.00442	0.4325	2069	21	2105	24	2140	48	3.85
K15_007-083	361	238	1.52	1.0615	0.01601	0.11859	0.00089	0.4976	722	5	735	8	772	32	6.81
K15_007-086	169	514	0.33	0.75897	0.01338	0.09252	0.0006	0.3679	570	4	573	8	585	32	2.63
K15_007-087	136	215	0.63	0.58758	0.02235	0.07556	0.00068	0.2366	470	4	469	14	468	73	-0.35
K15_007-090	245	235	1.04	0.26158	0.00758	0.03726	0.0004	0.3705	236	2	236	6	237	67	0.60
K15_007-091	186	184	1.01	1.86313	0.02280	0.17848	0.00123	0.5631	1059	7	1068	8	1088	24	2.91
K15_007-092	138	231	0.60	0.54892	0.01569	0.07103	0.00079	0.3891	442	5	444	10	455	64	2.84

Продолжение табл. 2.

Номер анализа	Th г/г	U г/г	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ погреш- ность	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ погреш- ность	RHO (корр. ошибки)	Возраст, млн лет						D, %
									$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ погреш- ность	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	* 1σ погреш- ность	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ погреш- ность	
K15_007-093	238	327	0.73	0.16643	0.00573	0.0245	0.0003	0.3557	156	2	156	5	161	79	2.94
K15_007-096	51	86	0.59	0.33118	0.01695	0.04624	0.00055	0.2324	291	3	290	13	283	103	-3.02
K15_007-097	103	159	0.65	0.32884	0.00671	0.04598	0.00039	0.4157	290	2	289	5	280	46	-3.70
K15_007-099	271	547	0.49	0.2387	0.00613	0.03397	0.00034	0.3897	215	2	217	5	239	59	10.00
K15_007-106	243	291	0.83	0.25347	0.00687	0.03619	0.00037	0.3772	229	2	229	6	232	63	1.36
K15_007-111	171	162	1.05	0.27999	0.01570	0.03958	0.00075	0.3379	250	5	251	12	255	129	1.83
K15_007-112	405	562	0.72	0.16209	0.00382	0.02389	0.00022	0.3908	152	1	153	3	158	54	3.63
K15_007-114	328	453	0.72	0.28522	0.00587	0.04031	0.00035	0.4219	255	2	255	5	256	47	0.39
K15_007-115	142	202	0.70	0.29867	0.01859	0.04183	0.00089	0.3418	264	6	265	15	276	143	4.44
K15_007-122	77	194	0.40	4.75489	0.06485	0.31556	0.00231	0.5367	1768	11	1777	11	1788	24	1.26
K15_007-123	174	141	1.23	5.81127	0.08666	0.35031	0.00266	0.5092	1936	13	1948	13	1961	27	1.49
K15_007-125	358	214	1.67	0.34912	0.01049	0.04828	0.00055	0.3791	304	3	304	8	305	69	0.39
K15_007-127	214	233	0.92	0.27731	0.00752	0.03914	0.00041	0.3863	248	3	249	6	258	62	4.29
K15_007-128	95	248	0.38	0.96869	0.02049	0.11271	0.00105	0.4404	688	6	688	11	686	46	-0.40
K15_007-130	86	171	0.51	0.32896	0.01076	0.0461	0.00055	0.3647	291	3	289	8	275	77	-5.64
K15_007-134	328	395	0.83	6.78507	0.08775	0.37848	0.00266	0.5434	2069	12	2084	11	2098	23	1.63

Окончание табл. 2

Номер анализа	Th г/г	U г/г	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ погреш- ность	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ погреш- ность	RHO (корр. ошибки)	Возраст, млн лет						D, %	
									$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ погреш- ность	$^{*207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	* 1σ погреш- ность	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ погреш- ность		
K15_007-136	71	196	0.36	0.44842	0.01647	0.05972	0.00081	0.3693	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	374	5	376	12	391	85	4.52
K15_007-137	62	99	0.63	17.3524	0.25638	0.57999	0.00462	0.5391	2949	19	2955	14	2959	24	0.42	
K15_007-138	67	157	0.43	0.26372	0.01056	0.0376	0.00053	0.352	238	3	238	8	235	94	-1.30	
K15_007-139	84	137	0.61	0.31044	0.01472	0.04329	0.00072	0.3508	273	4	275	11	287	110	4.86	
K15_007-143	188	367	0.51	0.42209	0.01311	0.05657	0.00067	0.3813	355	4	358	9	377	71	6.21	
K15_007-144	183	237	0.77	0.16414	0.00381	0.02424	0.00022	0.391	154	1	154	3	154	54	-0.53	
K15_007-145	276	336	0.82	0.32408	0.01312	0.04512	0.00067	0.3668	284	4	285	10	290	93	2.06	
K15_007-146	417	338	1.23	0.30496	0.00824	0.04272	0.00044	0.3812	270	3	270	6	276	62	2.43	
K15_007-147	194	347	0.56	0.17646	0.00778	0.0258	0.00039	0.3429	164	2	165	7	176	101	6.93	
K15_007-148	736	994	0.74	0.22359	0.01079	0.03095	0.00025	0.1674	196	2	205	9	303	97	35.63	
K15_007-149	317	329	0.97	0.26455	0.00836	0.03685	0.00043	0.3693	233	3	238	7	289	73	19.63	
K15_007-151	41	78	0.53	0.77928	0.01847	0.09503	0.00092	0.4085	585	5	585	11	585	52	0.01	
K15_007-152	168	639	0.26	0.55824	0.01020	0.06908	0.00056	0.4437	431	3	450	7	553	40	22.96	
K15_007-153	91	155	0.59	16.6931	0.18817	0.56855	0.00383	0.5976	2902	16	2917	11	2928	18	1.14	

Примечание. При возрасте до 1 млрд лет для вычисления возраста использованы отношения $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, при возрасте 1 млрд лет и более – отношения $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. Жирным шрифтом выделены значения, принятые за возраст циркона. Подчеркнуты – минимальный и максимальный возраст цирконов в пробе. D – дискордантность датировок. Датировки (серый фон) со степенью дискордантности $|D| > 10\%$ или большой аналитической ошибкой не учитывались в КПВ и тесте Колмогорова-Смирнова [67].

Табл. 3. Результаты изучения Hf-изотопной системы датированных детритовых цирконов из песчаников верхней конгломератовой толщи г. Южная Демерджи (проба К15-007), Горный Крым.

Номер анализа	Возраст, млн лет	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	Погрешность 1σ	Начальные $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	ε_{Hf}	Погрешность 1σ	T_{DM^C} , млрд лет
K15_007-002	554	0.282471	0.000012	0.282452	0.89	0.42	1.46
K15_007-003	280	0.282648	0.000012	0.282645	1.65	0.42	1.20
K15_007-004	609	0.282777	0.000019	0.28277	13.34	0.67	0.71
K15_007-005	2086	0.281452	0.0000095	0.281415	-1.43	0.33	2.80
K15_007-006	2695	0.28097	0.000015	0.280944	-4.15	0.53	3.44
K15_007-009	528	0.282742	0.000011	0.282735	10.33	0.39	0.84
K15_007-010	2835	0.281054	0.0000078	0.281001	1.12	0.27	3.21
K15_007-013	569	0.282651	0.000018	0.282639	7.84	0.63	1.03
K15_007-013A	1816	0.281658	0.000012	0.281634	0.18	0.42	2.49
K15_007-014	295	0.282775	0.000014	0.282771	6.45	0.49	0.91
K15_007-015	2912	0.28095	0.000014	0.280933	0.49	0.49	3.31
K15_007-016	2615	0.281314	0.000031	0.281261	5.28	1.09	2.78
K15_007-017	1233	0.282188	0.00001	0.282164	5.84	0.35	1.67
K15_007-018	855	0.282137	0.000017	0.282119	-4.23	0.60	2.02
K15_007-019	628	0.282274	0.000017	0.282266	-4.08	0.60	1.84
K15_007-021	2105	0.281591	0.0000076	0.281564	4.29	0.27	2.45
K15_007-022	2635	0.281009	0.00002	0.280989	-3.92	0.70	3.38
K15_007-023	225	0.282485	0.0000081	0.282483	-5.28	0.28	1.60
K15_007-027	1898	0.281584	0.0000093	0.281559	-0.61	0.33	2.60
K15_007-028	1846	0.281486	0.000011	0.281474	-4.78	0.39	2.83
K15_007-031	284	0.282611	0.0000098	0.282606	0.375	0.34	1.28
K15_007-032	275	0.282597	0.000017	0.282592	-0.33	0.60	1.32
K15_007-034	336	0.282429	0.000011	0.282419	-5.11	0.39	1.67
K15_007-037	2084	0.281606	0.0000086	0.281594	4.90	0.30	2.39
K15_007-040	308	0.282761	0.000013	0.282757	6.23	0.46	0.93
K15_007-041	1482	0.281768	8.3E-06	0.281743	-3.49	0.29	2.46
K15_007-042	251	0.282605	0.000011	0.282601	-0.52	0.39	1.32
K15_007-044	305	0.282924	0.000012	0.28291	11.60	0.42	0.58

Продолжение табл. 3.

Номер анализа	Возраст, млн лет	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	Погрешность 1σ	Начальные $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	ε_{Hf}	Погрешность 1σ	T_{DM}^{C} , млрд лет
K15_007-045	434	0.282433	0.000013	0.28243	-2.56	0.46	1.59
K15_007-046	772	0.282108	0.000014	0.282093	-6.98	0.49	2.13
K15_007-048	328	0.282399	0.000012	0.282388	-6.39	0.42	1.75
K15_007-049	596	0.282423	0.000021	0.282419	0.64	0.74	1.51
K15_007-050	1822	0.281668	0.000013	0.281633	0.30	0.46	2.48
K15_007-051	2068	0.281339	0.000011	0.281335	-4.67	0.39	2.99
K15_007-052	408	0.28254	0.000015	0.282526	0.27	0.525	1.39
K15_007-054	1234	0.282188	0.000015	0.282157	5.62	0.53	1.69
K15_007-055	2750	0.281119	0.000021	0.281094	2.47	0.74	3.06
K15_007-056	986	0.282026	0.000019	0.282014	-5.04	0.67	2.175
K15_007-057	2041	0.281394	0.000011	0.281376	-3.83	0.39	2.92
K15_007-058	2020	0.281188	0.0000079	0.281163	-11.87	0.28	3.41
K15_007-059	2135	0.281594	0.000013	0.281564	4.99	0.46	2.43
K15_007-062	154	0.282592	0.000014	0.282589	-3.08	0.49	1.40
K15_007-063	1500	0.281835	0.0000099	0.281819	-0.38	0.35	2.28
K15_007-065	282	0.282751	0.000011	0.282749	5.36	0.39	0.97
K15_007-066	285	0.282643	0.000012	0.282639	1.55	0.42	1.21
K15_007-067	333	0.282481	0.0000088	0.282476	-3.16	0.31	1.55
K15_007-069	281	0.282764	0.000011	0.28276	5.75	0.39	0.94
K15_007-070	1506	0.281794	0.000015	0.281775	-1.82	0.53	2.37
K15_007-071	546	0.282611	0.00004	0.282605	6.12	1.40	1.12
K15_007-073	155	0.282494	0.000016	0.282482	-6.85	0.56	1.64
K15_007-074	1392	0.282178	0.0000091	0.282156	9.12	0.32	1.59
K15_007-075	319	0.282452	0.000017	0.282442	-4.67	0.60	1.63
K15_007-078	292	0.28231	0.000017	0.282306	-10.09	0.60	1.95
K15_007-079	285	0.282617	0.000017	0.28261	0.54	0.60	1.27
K15_007-082	2140	0.281616	0.000017	0.281592	6.12	0.60	2.36
K15_007-083	722	0.281771	0.000027	0.281756	-20.04	0.95	2.91

Окончание табл. 3.

Номер анализа	Возраст, млн лет	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	Погрешность 1σ	Начальные $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	ε_{Hf}	Погрешность 1σ	T_{DM}^{C} , млрд лет
K15_007-086	570	0.282276	0.000013	0.282264	-5.44	0.46	1.88
K15_007-087	470	0.282349	0.000019	0.282337	-5.04	0.67	1.77
K15_007-090	236	0.282603	0.000014	0.282596	-1.03	0.49	1.34
K15_007-091	1088	0.282203	0.000013	0.28219	3.50	0.46	1.71
K15_007-092	442	0.28275	0.000011	0.282735	8.42	0.39	0.89
K15_007-093	156	0.282536	0.000018	0.282523	-5.38	0.63	1.55
K15_007-096	291	0.282777	0.000022	0.282768	6.24	0.77	0.92
K15_007-097	290	0.282685	0.000015	0.282681	3.15	0.53	1.11
K15_007-099	215	0.282599	0.000018	0.282594	-1.59	0.63	1.36
K15_007-106	229	0.282682	0.000019	0.282673	1.52	0.67	1.17
K15_007-111	250	0.282795	0.000027	0.282783	5.89	0.95	0.91
K15_007-112	152	0.282643	0.000013	0.282636	-1.49	0.46	1.30
K15_007-114	255	0.282573	0.000023	0.282561	-1.88	0.81	1.40
K15_007-115	264	0.282704	0.000014	0.282694	3.03	0.49	1.10
K15_007-122	1788	0.281652	0.000017	0.281601	-1.62	0.60	2.58
K15_007-123	1961	0.281458	0.0000058	0.281449	-3.08	0.20	2.81
K15_007-125	304	0.282662	0.000014	0.282654	2.51	0.49	1.16
K15_007-127	248	0.282595	0.0000088	0.282587	-1.10	0.31	1.35
K15_007-128	688	0.282185	0.0000096	0.282164	-6.34	0.34	2.03
K15_007-130	291	0.2827	0.000019	0.282697	3.72	0.67	1.08
K15_007-134	2098	0.281284	0.000011	0.281245	-7.18	0.39	3.17
K15_007-137	2959	0.281038	0.000023	0.280962	2.62	0.81	3.21
K15_007-138	238	0.282611	0.000013	0.282608	-0.56	0.46	1.31
K15_007-143	355	0.28247	0.0000098	0.282465	-3.05	0.34	1.56
K15_007-144	154	0.282565	0.000014	0.282556	-4.26	0.49	1.48
K15_007-145	284	0.282576	0.000016	0.282571	-0.88	0.56	1.36
K15_007-147	164	0.282745	0.000025	0.28274	2.46	0.86	1.06
K15_007-149	233	0.282601	0.000015	0.282598	-1.04	0.53	1.33
K15_007-151	585	0.282251	0.00001	0.282245	-5.76	0.35	1.91

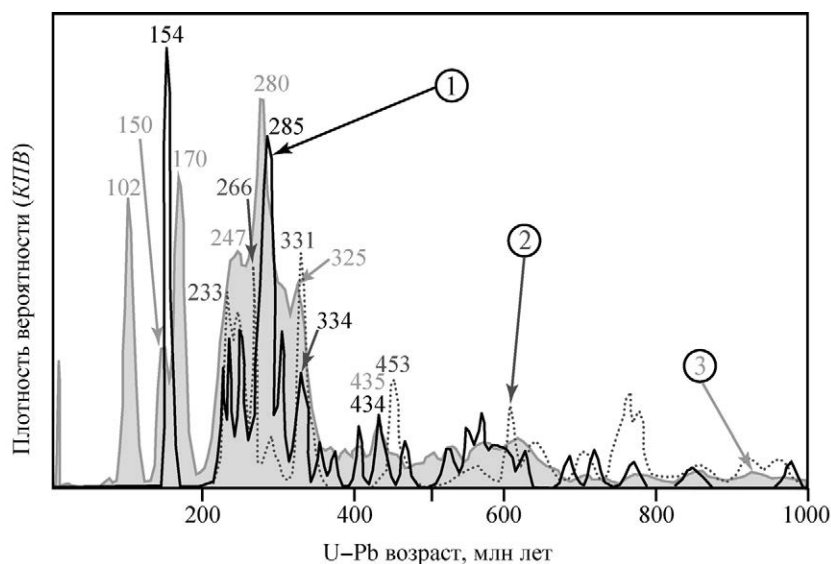


Рис. 5. Сопоставление кривых плотности вероятности (КПВ) возрастов детритовых цирконов из мезозойско-кайнозойских осадочных пород Горного Крыма в интервале возрастов <1 млрд лет.

Показано (цифры в кружках): 1 – верхнеюрские конгломераты г. Южная Демерджи (проба К15-007, $n=87$), 2 – среднеюрские битакские конгломераты (исходные данные по [17], анализы с $D>11\%$ не учитывались, $n=34$); 3 – суммарные данные по 9 пробам среднеюрских-неогеновых песчаников Горного Крыма (по [49], $n=602$). n – число анализов, использованных для построения КПВ. Пиковые значения для каждой КПВ показаны числами, цвет чисел соответствует цвету кривой.

случайных зерен циркона. Эти зерна были имплантированы в оксидную шашку и приполированы примерно до середины их диаметра. После этого было проведено изучение цирконов с помощью катодолюминесцентной микроскопии. Для 95 зерен удалось наметить области размером в поперечнике не менее 40 мк, лишенные очевидных нарушений и включений. Изотопно-геохимическое изучение цирконов включало изучение *in situ* в индивидуальных цирконовых зернах U–Pb-изотопной системы (для датирования циркона) и Lu/Hf-изотопной системы циркона (для прогнозирования модельного возраста протолита) [39, 40, 57].

Аналитические исследования проведены в геохимической лаборатории Университета Маквори (Macquarie University, Sydney, Australia) на аппаратуре LA-ICP-MS (Agilent 7700 quadrupole ICP-MS instruments, Photon Machines Excimer 193 nm laser system, Nu Plasma multi-collector ICPMS). На первом этапе выполнялось U–Pb датирование dZr . Датировки с дискордантностью $|D|>10\%$ и большой аналитической ошибкой (>200 млн лет) не использовались при дальнейшей статистической обработке результатов. На втором этапе для зерен с дискордантностью $|D|<10\%$ и с оставшимся пространством для второго кратера лазерной абляции диаметром 40 мк выполнялось

изучение Lu/Hf-изотопной системы циркона. Технология измерений, методические приемы и константы, используемые для обработки первичных аналитических данных, приведены в [39, 40, 41, 42, 57].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ЦИРКОНОВ

В образце К15-007 обнаружены цирконы с возрастными от позднеюрских (152 ± 1 млн лет) до архейских (2959 ± 24 млн лет) (табл. 2, рис. 5, рис. 6). Разброс рассчитанных значений ϵ_{Hf} в изученных цирконах – от максимального $+15.3\pm 0.7$ до минимального -17.9 ± 0.9 (табл. 3, см. рис. 6), значения модельного возраста протолита, который послужил субстратом для расплава, из которого кристаллизовались магматические породы, материнские по отношению к изученным цирконам (T_{DM}^C), попали в диапазон значений от 0.61 до 3.13 млрд лет.

Самые молодые цирконы представлены пятью зернами с близкими позднеюрскими датировками и средним возрастом около 154 млн лет [58], а также зерном, датированным 164 ± 2 млн лет. Зерна циркона с возрастными от позднего триаса до средней юры, среди датированных цирконов из пробы К15-007, не встречаются. Наиболее многочисленную популяцию,

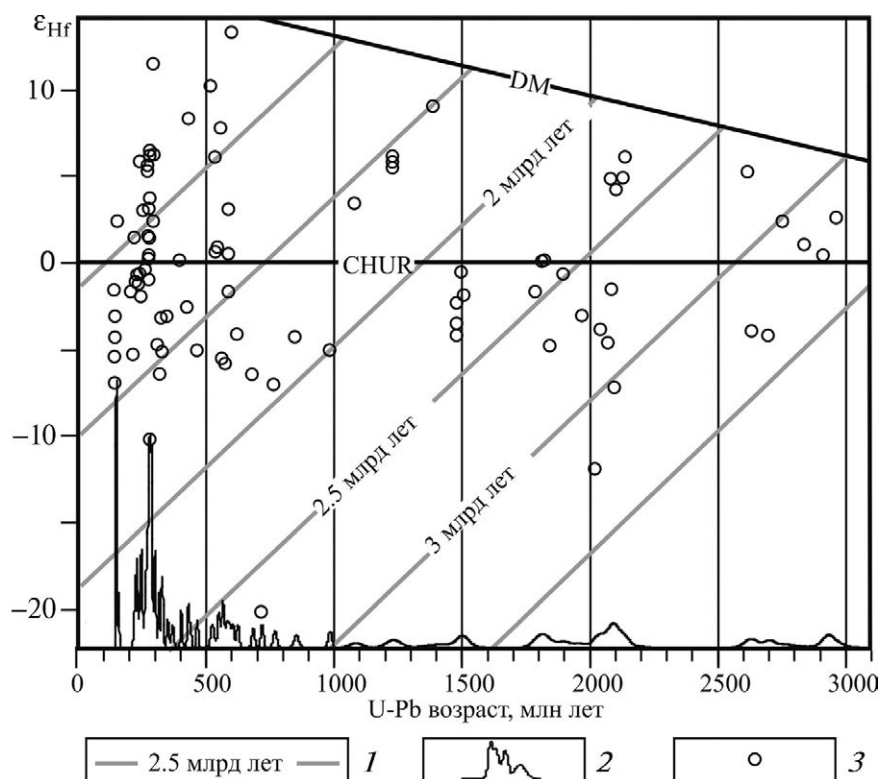


Рис. 6. Зависимость показателя ϵ_{Hf} от U–Pb возраста для цирконов из пробы K15-007.

Обозначены: CHUR – хондритовый однородный резервуар, DM – линия эволюции деплетированной мантии. 1 – линии эволюции усредненной континентальной коры; 2 – кривая плотности вероятности (КПВ); 3 – фигуративные точки цирконов из пробы K15-007

составляющую более четверти всех изученных dZr, образуют зерна с пермскими и триасовыми возрастными (300–220 млн лет). На кривой плотности вероятности (КПВ) для означенного возрастного интервала зафиксированы второстепенные пики на отметках 225, 255 и 273 млн лет, доминирующий пик на отметке 285 млн лет. Величины ϵ_{Hf} для 95% пермо-триасовых цирконов попадают в диапазон близхондритовых значений от –2 до +6. Только для одного dZr получено существенно отрицательная величина $\epsilon_{\text{Hf}} = -10$, которой соответствует мезопротерозойское значение T_{DM}^{C} . Таким образом, признаков участия более древнего (палеопротерозой и древнее) корового материала в протолите родительских пород dZr этого возраста не зафиксировано.

Зерна цирконов с более древними возрастными, попадающими во временной интервал от позднего кембрия до конца каменноугольного периода, достаточно малочисленны (13%). На соответствующем отрезке КПВ пиковые отметки возрастов dZr, поддержанные более чем тремя датировками, попадают на поздний визэ (334 млн лет) и поздний лландовери (434 млн

лет). Значения ϵ_{Hf} для большей части палеозойских dZr, в отличие от пермо-триасовых dZr, сгруппированы в отрицательной области, что свидетельствует о малой роли ювенильного материала в протолите соответствующих магматических очагов.

Зерна циркона с возрастными от 520 до 670 млн лет, близкими к границе докембрия и палеозоя, формируют пик на КПВ на отметке 571 млн лет. Их родительские магматические породы наследуют изотопные характеристики пород протолита, сочетающего зрелый ($\epsilon_{\text{Hf}} = -7$) и ювенильный ($\epsilon_{\text{Hf}} = +14$) коровый материалы. Более древние докембрийские зерна почти равномерно распределены в возрастном интервале от 0.67 до 3.0 млрд лет, за исключением двух интервалов 1.55–1.75 и 2.15–2.6 млрд лет, которые не представлены ни одним зерном. Среди датированных цирконов встречено заметное количество мезопротерозойских (810–1.55 млрд лет, 10%), палеопротерозойских (1.75–2.15 млрд лет, 17%) и архейских (2.6–3.0 млрд лет, 9%) зерен. Древние архейские зерна кристаллизовались в расплавах, сформированных из изотопно-незрелой коры ($\epsilon_{\text{Hf}} -2 \div +8$), близкой по возрасту самим цир-

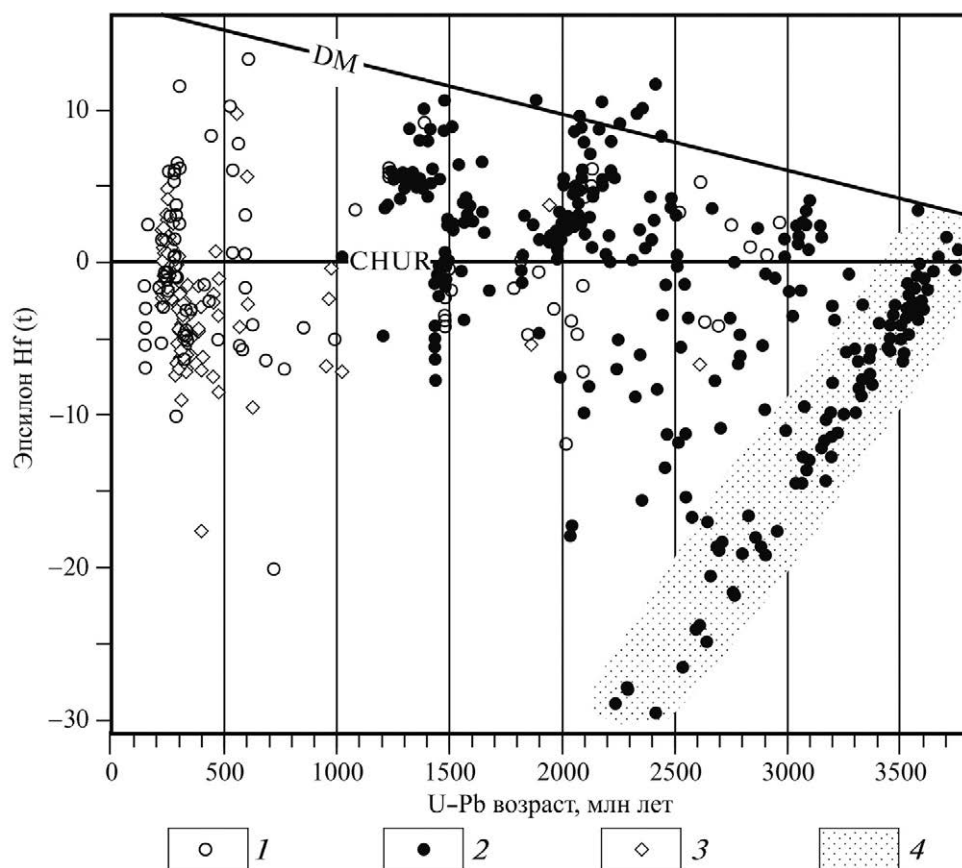


Рис. 7. Сравнение U–Pb возрастов и показателя ϵ_{Hf} детритовых цирконов из пробы K15-007 с аналогичными данными для комплекса Каракая в Понтидах, по [65] и комплексов фундамента Восточно-Европейской платформы, по [60].

Обозначены: CHUR – хондритовый однородный резервуар, DM – линия эволюции деплетированной мантии. 1–3 – цирконы из: 1 – пробы K15-007; 2 – докембрийских комплексов Украинского щита; 3 – комплекса Каракая; 4 – поле значений показателя ϵ_{Hf} цирконов из эндербитов и метаосадочных пород Украинского щита

конам, с модельными возрастaми T_{DM}^{C} менее 3.5 млрд лет.

АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ СНОСА

Битакские конгломераты и конгломераты г. Ю. Демерджи – разновозрастные элементы молассы Киммерийского орогена

Сопоставление опубликованных данных по возрастам dZr из песчаников, участвующих в строении разреза толщи битакских конгломератов [17], с полученными нами датировками dZr из толщи конгломератов г. Ю. Демерджи (проба K15-007), показывает, что основные популяции цирконов в этих наборах совпадают (см. рис. 5). Палеозойские части спектров распределения возрастов dZr различаются только относительной интенсивностью пиков. Небольшое несовпадение пиков, приходящихся на

триас, зафиксировано в мезозойской части КПВ. Тем не менее, сопоставление наборов возрастов по методу Колмогорова-Смирнова [67], свидетельствует о том, что распределение возрастов dZr в этих наборах статистически не различимо ($P_{\text{value}} = 0.14$).

Бликий петрографический состав галек в битакских конгломератах [17] и верхней толще конгломератов г. Ю. Демерджи [29], а также сходство спектров распределения возрастов dZr в песчаниках из этих грубообломочных толщ не подтвердили модели, рассматривающие битакские конгломераты и конгломераты г. Ю. Демерджи как молассы двух разных коллизионных сооружений [31, 33], сформировавшихся между различными террейнами с различной геодинамической историей. Мы полагаем, что конгломераты являются разновозрастными образованиями в молассе долго существовавшего горного сооружения (Киммерийский ороген).

Пространственное положение Киммерийского орогена

Результаты U–Pb датирования dZr из набора проб песчаников Южного берега Крыма, попадающих в стратиграфический интервал от средней юры до неогена [49] (см. рис. 5), обнаруживают три четко выделенных пика КПВ на отметках около 102, 170 и 280 млн лет и второстепенный пик около 150 млн лет. Эти пики характеризуют эпизоды магматизма в пределах источников сноса для пород киммерийского и альпийского структурных этажей Горного Крыма. Пермо-триасовый магматизм в песчаниках верхней толщ г. Ю. Демерджи представлен многочисленными цирконами. Однако ни одного зерна циркона среднеюрского возраста в пробе K15-007 нами не обнаружено. Таким образом, в пределах вовлеченных в Киммерийский ороген блоков коры не был проявлен среднеюрский эпизод магматизма.

В составе конгломератов г. Ю. Демерджи присутствуют гальки палеозойских осадочных пород, а также магматических и метаморфических пород [2, 29]. Наши исследования не подтвердили присутствие эродируемых среднеюрских магматических пород в пределах Киммерийского орогена. Следовательно, среднеюрские магматиты, представленные в современном эрозионном срезе Горного Крыма интрузиями первомайско-аюдагского комплекса и эффузивами бодракско-аюдагско-карадагской ассоциации, были локализованы за пределами Киммерийского орогена.

Pb–U возрасты и Hf-систематика dZr триасового флиша комплекса Каракая [65], который является формационным аналогом таврической серии [52], широко распространенной в Горном Крыму, и в изученной нами пробе K15-007 обнаруживают близкое сходство (см. рис. 7). Данное сходство позволяет предположить, что песчаники комплекса Каракая или породы таврической серии Крыма могли быть потенциальным вторичным источником для dZr верхнеюрских конгломератов Горного Крыма. Однако триасовый флиш как в Понтидах, так и в Горном Крыму, прорван интрузиями среднеюрского возраста и пространственно связан со среднеюрской вулканогенно-осадочной формацией, поэтому полное отсутствие среднеюрских цирконов в пробе K15-007 исключает триасовый флиш как источник сноса для верхней толщ конгломератов г. Ю. Демерджи. Таким образом, Киммерийский ороген, слу-

живный источником сноса для верхней толщ конгломератов г. Ю. Демерджи, не включал мезозойды Горного Крыма и Понтид, вследствие чего, он должен был располагаться к северу от Лозовской зоны смятия.

В Крыму, Понтидах и на Кавказе не известны триасовые гранитные комплексы и только редкие малообъемные кристаллические комплексы пермского возраста встречаются в Причерноморье [53]. Однако U–Pb датировки dZr из верхней толщ конгломератов г. Ю. Демерджи, битакских конгломератов [17] и среднеюрско-неогеновых песчаников Южного берега Крыма [49] зафиксировали крупные популяции пермо-триасовых цирконов. В качестве возможного источника этой популяции dZr в северной части Черноморского региона принят гипотетический пермо-триасовый магматический пояс, реконструированный в Степном Крыму и на Кавказе по геофизическим и косвенным геологическим данным [52, 64]. В частности, предполагается, что этот вулканический пояс служил источником сноса для флиша таврической серии и комплекса Каракая [65]. Доминирование пермо-триасовых цирконов с близондритовыми (–2 до +6) величинами ϵ_{Hf} в составе молассы Киммерийского орогена, дает основание полагать, что это поднятие частично пространственно унаследовало пермо-триасовый вулканический пояс и располагалось в южной части Скифской плиты.

Киммерийский ороген представлял собой высокостоящее и активно эродируемое горное сооружение не только в средне- и позднеюрское время, но и в раннемеловое время. Об этом свидетельствует сходное с выявленным для юрских грубообломочных толщ Горного Крыма распределение возрастов dZr из раннемелового флиша в северной части Понтид [35]. Как и в изученной пробе K15-007, главные популяции dZr в этом флише – пермо-триасовые, неопротерозойские и позднеархейские. При этом среднеюрские цирконы составляют менее 1% от 1347 анализов, что указывает на крайне незначительную роль среднеюрских вулканогенно-осадочных пород в строении источников сноса.

Киммерийский ороген являлся основным источником терригенного материала в сопредельной части южной окраины Лавразии, однако существовали и грубообломочные отложения, которые формировались не из продуктов разрушения данного орогена. Клиноформ-

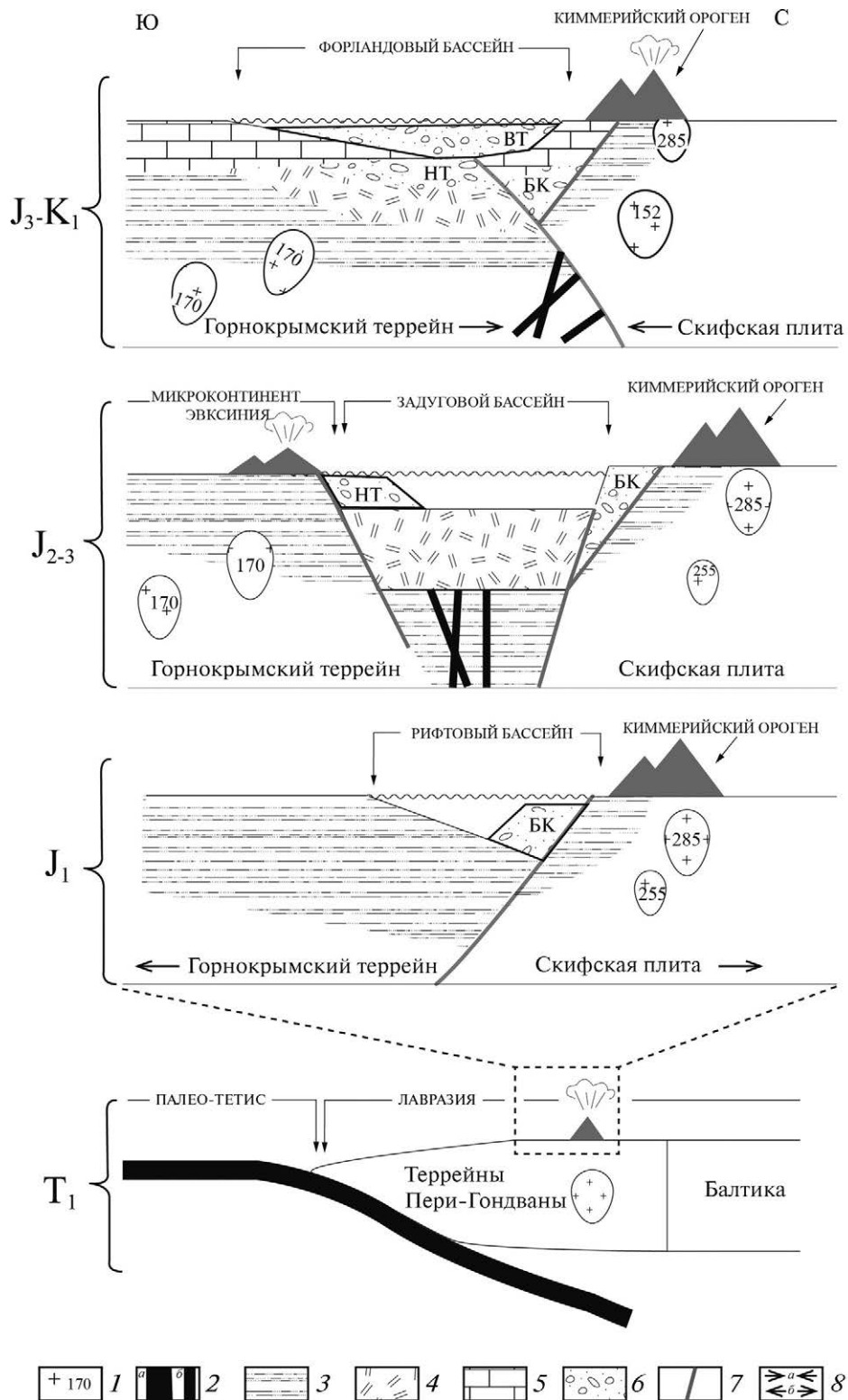


Рис. 8. Палеотектонические реконструкции для основных этапов формирования юрских грубообломочных толщ Горного Крыма.

БК – битакские конгломераты, НТ – нижняя толща г. Демерджи, ВТ – верхняя толща г. Демерджи.
 1 – интрузивные комплексы средне-кислого состава и их возраст, млн лет; 2 – структуры: а – кора океанического типа, б – интрузивные комплексы основного состава; 3 – породы таврической и эскиординской серий; 4 – породы карадакской серии; 5 – породы яйлинской серии; 6 – грубообломочные толщи; 7 – региональные разломы; 8 – направление тектонических движений: а – меридиональное сжатие, б – меридиональное растяжение

ные структуры нижней толщи конгломератов г. Ю. Демерджи указывают на южный источник сноса (см. рис. 4) для этой толщи. В отличие от верхней толщи конгломератов, нижняя толща не содержит галек кристаллического фундамента [30, 32], но содержит среднеюрские цирконы по данным [24]. Следовательно, нижняя конгломератовая толща, в отличие от верхней толщи, формировалась из поступающих с южной стороны продуктов разрушения блоков коры, содержащих среднеюрские магматиты.

Источники докембрийских и палеозойских цирконов

Для кристаллических и (мета)осадочных комплексов Причерноморья получены U–Pb и Hf-изотопные данные в объеме, позволяющем тестировать эти комплексы в качестве первичных источников цирконов для верхней толщи конгломератов г. Ю. Демерджи (проба K15-007).

Логично предположить, что первичным источником архейских и палеопротерозойских цирконов для конгломератов Горного Крыма являются кристаллические комплексы ближайших к Крыму древнейших коровых блоков, аналоги которых известны на Украинском щите. В пределах его Азовского и Подольского доменов распространены уникально древние кристаллические комплексы с возрастными породами от 3.0 до 3.7 млрд лет и еще более древними модельными возрастными протолита (до 3.9 млрд лет) [60]. Такой же древний модельный возраст протолита имеет и значительная часть более молодых неоархейских цирконов в кристаллических комплексах Украинского щита (см. рис. 7). Цирконы с такими же уникальными Hf изотопными метками присутствуют в неопротерозойских метаосадочных породах его обрамления [60] и переотложены в более молодых породах, для которых источником сноса служили комплексы и структуры южной части Восточно-Европейской платформы.

Поскольку специфические древние цирконы (древнее 3.0 млрд лет) или цирконы с палеоархейским (древнее 3.5 млрд лет) модельным возрастом протолита, характерные для фундамента южной части Восточно-Европейской платформы, в составе конгломератов г. Ю. Демерджи не выявлены, маловероятно, что древние осадочные комплексы Восточно-Европейской платформы были источником архей-протерозойских цирконов в конгломератах г. Ю. Демерджи. Первичны-

ми источниками зафиксированных dZr с архейскими возрастными в интервале от 2.5 до 3.0 млн лет и модельными возрастными протолита только до 3.5 млрд лет могут быть любые архейские блоки коры.

Группа цирконов венд-кембрийского возраста, обнаруженная в пробе K15-007 и ранее в составе цирконов из битакских конгломератов, соответствует кадомской фазе магматизма. Наличие проявлений магматизма этого возраста – ключевой критерий для идентификации террейнов, отделившихся от северного перикратонного обрамления Гондваны [36–38, 42, 44, 47, 50] и участвующих в структуре Западно-Европейской плиты [44, 47, 48], восточного обрамления Северо-Американской платформы [47] и южного обрамления ВЕП [4, 7, 24, 42]. В связи с этим мы полагаем, что первичным источником докембрийских dZr были мобилизованные в пределах Киммерийского орогена фрагменты коры Пери-Гондванского происхождения.

ПАЛЕОТЕКТОНИЧЕСКАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ

На основе полученных данных по положению толщ и характеристикам источников сноса мы реконструировали основные этапы формирования юрских грубообломочных толщ Горного Крыма (рис. 8). В начале мезозоя происходила субдукция океанической литосферы Палео-Тетиса под южную окраину Лавразии. В пределах Скифской плиты над субдуцирующим слэбом в пермь-триасе функционировал магматический пояс [53], который в дальнейшем был пространственно унаследован Киммерийским орогеном.

Формирование толщи битакских конгломератов происходило на южной окраине Киммерийского орогена в конце ранней юры. Битакские конгломераты накапливались в рифтовом прогибе [17], возникновение которого можно связать с началом меридионального растяжения на фоне смещения магматического фронта к югу [53]. Вследствие рифтинга от южной окраины Лавразии обособился микроконтинент Эвксиния, который включал Горнокрымский терреин и родственные ему современные блоки континентальной коры, расположенные в Северных Понтидах.

Микроконтинент Эвксиния стал фундаментом для юрской энсиалической островной дуги, служившей источником сноса для туфопесчаников судакской серии, которые накапливались в

задуговым бассейне, а также послужил источником сноса для нижней толщи конгломератов г. Ю. Демерджи, содержащих среднеюрские гальки и цирконы [24].

Накопление конгломератов в конце средней – начале поздней юры, вероятно, соответствует отмиранию юрской дуги и началу закрытия бассейна в результате сближения микроконтинента Эвксинии и Скифской плиты, приведшего к формированию Лозовской зоны смятия [10, 11, 12, 13, 14].

Накопление верхней толщи конгломератов г. Ю. Демерджи происходило в форландовом бассейне, образовавшемся в связи с коллизией микроконтинента Эвксинии и Скифской плиты. Обломочный материал поступал в форландовый бассейн с севера из Киммерийского орогена. Складчатость сопровождалась эпизодами локального магматизма, один из которых зафиксирован в пробе K15-007 группой цирконов с возрастом около 154 млн лет.

ВЫВОДЫ

Выполнено U–Pb датирование и изучена Hf-изотопная система детритовых цирконов из прослая песчаников в разрезе верхней конгломератовой толщи г. Южная Демерджи (проба K15-007) и получены геохронологические характеристики первичных источников сноса для юрских грубообломочных пород Горного Крыма. Сопоставление новых данных с аналогичными данными, полученными для битакских конгломератов, среднеюрских-неогеновых песчаников Южного берега Крыма, Украинского щита и Понтид, позволило нам сделать следующие выводы.

1. Сходство распределения возрастов детритовых цирконов из среднеюрских и верхнеюрских грубообломочных пород Горного Крыма дает основание считать их молассой Киммерийского орогена.

2. Главные эпизоды магматической активности в пределах блоков коры, вовлеченных в поднятие Киммерийского орогена, проявились в позднеюрское и пермо-триасовое время. Величины ϵ_{Hf} , характерные для детритовых цирконов этого возраста, указывают на незначительную роль древней (архейской–раннепротерозойской) континентальной коры в составе протолита.

3. Поднятие Киммерийского орогена пространственно наследовало гипотетический

пермо-триасовый вулканический пояс и располагалось в южной части Скифской плиты.

4. Для цирконов, древнее позднего неопротерозоя, выделенных из верхней конгломератовой толщи г. Южная Демерджи, первичными источниками были кристаллические комплексы Пери-Гондванских террейнов.

Благодарности. Мы благодарим проф. А.М. Никишина (МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, г. Москва) за любезно предоставленные цифровые данные результатов U–Pb датирования цирконов из битакских конгломератов.

Изотопные анализы выполнены в центре Australian Research Council Centre of Excellence for Core to Crust Fluid Systems/GEMOC (г. Сидней, Австралия) с использованием оборудования, поддерживаемого DEST Systemic Infrastructure Grants, ARC LIEF, NCRIS/AuScope – промышленного партнера Macquarie University (Sydney, Australia).

Публикация № 1226 ARC Centre of Excellence for Core to Crust Fluid Systems (<http://www.cafs.mq.edu.au>) и 1266 GEMOC Key Centre (<http://www.gemoc.mq.edu.au>).

Финансирование. Исследования проведены в соответствии с планами научно-исследовательской работы по темам государственных заданий ГИН РАН и ИФЗ РАН. Анализы профинансированы ARC-грантом FT110100685 (Е.А. Belousova). Подготовка статьи выполнена при поддержке проекта РФФИ 19-05-00284.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барбошкин Е.Ю., Рогов М.А., Милеев В.С. К характеристике фации Ammonitico Rosso из келловей (средняя юра) в районе пос. Планерское (Восточный Крым) // Вестник МГУ. Сер. геол. 2010. № 4. С. 12–17.
2. Брагин Н.Ю., Аристов В.А. Конодонты раннего карбона и другие микрофосилии в гальках кремнистых пород из верхнеюрских конгломератов г. Южная Демерджи // В.М. Цейслер (ред.). Мат-лы совещ. «Новое в региональной геологии России и ближнего зарубежья» 13–14 марта 2008, г. Москва. М.: РГГРУ, 2008. С. 21–23.
3. Довгаль Ю.М., Парышев А.В. К проблеме битакской свиты (Горный Крым) // Геологический журнал. 1979. № 4. С. 127–131.
4. Камзолкин В.А., Латышев А.В., Видяпин Ю.П., Сомин М.Л., Смутьская А.И., Иванов С.Д. Поздневендские комплексы в структуре метаморфического основания Передового хребта Большого Кавказа // Геотектоника. 2018. № 3. С. 42–57.
5. Карпова Г.В., Логвиненко Н.В., Шапошников Д.П. Литология и генезис Таврической формации Крыма // Харьков: ХГУ, 1961. 404 с.

6. *Короновский Н.В., Милеев В.С.* О соотношении отложений таврической серии и эскиординской свиты в долине р. Бодрак (Горный Крым) // Вестник МГУ. Сер. геол. 1974. № 1. С. 80–87.
7. *Кузнецов Н.Б., Горожанин В.М., Белоусова Е.А., Дегтярев К.Е., Горожанина Е.Н., Романюк Т.В., Каныгина Н.А.* Первые результаты U-Pb датирования детритовых цирконов из ордовикских терригенных толщ Соль-Илецкого блока Восточно-Европейской платформы // ДАН. 2017. Т. 473. № 4. С. 435–458.
8. *Лаломов А.В.* Реконструкция палеогидродинамических условий образования верхнеюрских конгломератов Крымского полуострова // Литология и полезн. ископаемые. 2007. № 3. С. 298–311.
9. *Мазарович О.А., Милеев В.С.* Геологическое строение Качинского поднятия Горного Крыма. Стратиграфия мезозоя. М.: МГУ, 1989. 168 с.
10. *Милеев В.С., Барабошкин Е.Ю., Розанов С.Б., Рогов М.А.* Тектоника и геодинамическая эволюция Горного Крыма // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2009. Т. 84. Вып. 3. С. 3–22.
11. *Милеев В.С., Барабошкин Е.Ю., Розанов С.Б., Рогов М.А.* Киммерийская и альпийская тектоника Горного Крыма // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2006. Т. 81. Вып. 3. С. 22–33.
12. *Милеев В.С., Барабошкин Е.Ю., Розанов С.Б., Рогов М.А.* Особенности строения и формирования покровов Горного Крыма // Геология и полезн. ископаемые Мирового океана. 2007. № 2. С. 56–66.
13. *Милеев В.С., Вишневецкий Л.Е., Никишин А.М., Розанов С.Б.* Формации аккреционной призм Горного Крыма // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 1992. № 4. С. 25–31.
14. *Милеев В.С., Розанов С.Б., Барабошкин Е.Ю., Шалимов И.В.* Положение верхнеюрских отложений в структуре Горного Крыма // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1995. Т. 70. Вып. 1. С. 22–31.
15. *Морозова Е.Б., Сергеев С.А., Савельев А.Д.* Меловые и юрские интрузии Горного Крыма: первые данные U-Pb (SIMS SHRIMP)-датирования // ДАН. 2017. Т. 474. № 1. С. 66–72.
16. *Морозова Е.Б., Сергеев С.А., Суфиев А.А.* U-Pb-цирконовый (SHRIMP) возраст джидаирской интрузии как реперного объекта для геологии Крыма (Крымский учебный полигон СПбГУ) // Вестник СПбГУ. 2012. Сер. 7. № 4. С. 25–33.
17. *Никишин А.М., Махатадзе Г.В., Габдуллин Р.Р., Худoley А.К., Рубцова Е.В.* Битакские конгломераты как ключ для понимания среднеюрской геологической истории Крыма // Вестник МГУ. Сер. геол. 2016. № 6. С. 20–27.
18. *Парышев А.В., Пермяков В.В., Борисенко Л.С.* Новые данные по стратиграфии юрских отложений Караби-яйлы в Крыму // Геологический журнал АН УССР. 1979. Т. 39. № 1. С. 108–111.
19. *Пискунов В.К., Рудько С.В., Барабошкин Е.Ю.* Строение и условия формирования верхнеюрских отложений района плато Демерджи (Горный Крым) // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2012. Т. 87. Вып. 5. С. 7–23.
20. *Рудько С.В.* Литология проградационных структур в верхнеюрских-нижнемеловых отложениях Горного Крыма. Дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: ГИН РАН, 2014. 235 с.
21. *Рудько С.В., Кузнецов А.Б., Покровский Б.Г.* Sr-хемостратиграфия, $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ отложений Крымской карбонатной платформы (поздняя юра, Северный Перитетис) // Литология и полезн. ископаемые. 2017. № 6. С. 58–77.
22. *Славин В.И., Чернов В.Г.* Геологическое строение битакской свиты (тоар-средняя юра) в Крыму // Изв. вузов. Геол. и разведка. 1981. № 7. С. 24–33.
23. *Соловьев А.В., Рогов М.А.* Первые трековые датировки цирконов из мезозойских комплексов полуострова Крым // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2010. Т. 18. № 3. С. 74–82.
24. *Сомин М.Л., Натанов Л.М., Белоусова Е.А., Крёнер А., Конилов А.Н., Камзолкин В.А.* Псевдофундамент в доальпийской структуре передового хребта Северного Кавказа // ДАН. 2013. Т. 450. № 4. С. 445–449.
25. *Стафеев А.Н., Суханова Т.В., Латышева И.В., Косоруков В.Л., Ростовцева Ю.И., Смирнова С.Б.* Новые данные о геологии Лозовской зоны (поздний триас-средняя юра) Горного Крыма // Вестник МГУ. Сер. геол. 2015. № 5. С. 21–33.
26. *Успенская Е.А.* Геологическая карта СССР. Серия Крымская. Лист L-36-XXIX // В.М. Муратов (ред.). М.: МГРИ, Трест «Днепрогеология», 1973.
27. *Успенская Е.А.* Юрская система, верхний отдел // Геология СССР. Крым / М.В. Муратов (ред.). М.: Недра, 1969. Т. 8. Ч. 1. С. 114–154.
28. *Фарфуляк Л. В.* Природа наклонной сейсмической границы в земной коре Скифской плиты вдоль профиля DOBRE-5 // Геофизический журнал. 2015. Т. 37. № 6. С. 64–85.
29. *Чернов В.Г.* О составе верхнеюрских конгломератов горы Демерджи в Крыму // Вестник МГУ. 1971. № 2. С. 18–28.
30. *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.

31. Юдин В.В. Геодинамика Крыма. Симферополь: ДИАЙПИ, 2011. 336 с.
32. Юдин В.В. Геодинамика Черноморско-Каспийского региона. Киев: УкрГГРИ, 2008. 117 с.
33. Юдин В.В., Вишневецкая В.С., Курилов Д.В. Офиолитовые радиолариты Крыма и их значение в геодинамике Мезотетиса // ДАН. 2009. Т. 429. № 1. С. 89–93.
34. Akbayram K., Okay A. I., Satir M. Early Cretaceous closure of the Intra-Pontide Ocean in western Pontides (northwestern Turkey) // J. of Geodynamics. 2013. Vol. 65. P. 38–55.
35. Akdoğan R., Okay A. I., Sunal G., Tari G., Meinhold G., Kylander-Clark A. R. Provenance of a large Lower Cretaceous turbidite submarine fan complex on the active Laurasian margin: Central Pontides, northern Turkey // J. of Asian Earth Sci. 2017. Vol. 134. P. 309–329.
36. Balintoni I., Balica C., Seghedi A., Ducea M.N. Avalonian and Cadomian terranes in North Dobrogea, Romania // Precambrian Research. 2010. Vol. 182. P. 217–229.
37. Balintoni I., Balica C., Seghedi A., Ducea M.N. Peri-Amazonian provenance of the Central Dobrogea terrane (Romania) attested by U/Pb detrital zircon age patterns // Geologica Carpathica. 2011a. Vol. 62. Is. 4. P. 299–307.
38. Balintoni I., Balica C., Ducea M.N., Hann H.-P. Peri-Gondwanan terranes in the Romanian Carpathians: A review of their spatial distribution, origin, provenance, and evolution // Geosci. Frontiers. 2014. Vol. 53. P. 95–411.
39. Belousova E.A., Griffin W.L., O'Reilly S.Y. Zircon crystal morphology, trace element signatures and Hf isotope composition as a tool for petrogenetic modeling: examples from eastern Australian granitoids // J. of Petrology. 2006. Vol. 47 (2). P. 329–353.
40. Griffin W.L., Pearson N.J., Belousova E., Jackson S.E., O'Reilly S.Y., van Achterberg E., Shee S.R. The Hf isotope composition of cratonic mantle: LAM-MC-ICPMS analysis of zircon megacrysts in kimberlites // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2000. Vol. 64 (1). P. 133–147.
41. Jackson S.E., Pearson N.J., Griffin W.L., Belousova E.A. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology // Chem. Geology. 2004. Vol. 211 (1–2). P. 47–69.
42. Henderson B.J., Collins W.J., Murphy J.B., Gutierrez-Alonso G., Hand M. Gondwanan basement terranes of the Variscan–Appalachian orogen: Baltican, Saharan and West African hafnium isotopic fingerprints in Avalonia, Iberia and the Armorican Terranes // Tectonophysics. 2016. Vol. 681. P. 278–304.
43. Kuznetsov N.B., Belousova E.A., Romanyuk T.V. Geochemical and Lu-Hf isotope (LA-ICP-MS) systematic of detrital zircons from the Ordovician sandstones of the Sol-Iletsk arch (Russia, Northern Caspian, borehole Ordovician-2) // Archeology and Anthropology Open Access. Special issue. V.3. Is.1. (Suppl-1). AAOA.000554. 2018. P. 31–58. URL: <https://crimsonpublishers.com/aaoa/full-text/AAOA.000554.php>
44. Linnemann U., Gerdes A., Hofmann M., Marko L. The Cadomian Orogen: Neoproterozoic to Early Cambrian crustal growth and orogenic zoning along the periphery of the West African Craton – constraints from U–Pb zircon ages and Hf isotopes (Schwarzburg Antiform, Germany) // Precambrian Research. 2014. Vol. 244. P. 236–278.
45. Longhitano S. Sedimentary facies and sequence stratigraphy of coarse-grained Gilbert-type deltas within the Pliocene thrust-top Potenza Basin (Southern Apennines, Italy) // Sediment. Geology. 2008. Vol. 210. No. 3. P. 87–110.
46. Meijers M.J.M., Vrouwe B., van Hinsbergen D.J.J., Kuiper K.F., Wijbrans J., Davies G.R., Stephenson R.A., Kaymakc N., Matenco L., Saintot A., Jurassic arc volcanism on Crimea (Ukraine): Implications for the paleo-subduction zone configuration of the Black Sea region // Lithos. 2010. V. 119. P. 412–426.
47. Murphy J.B., Nance R.D., Keppie J. D., Dostal J. Role of Avalonia in the development of tectonic paradigms // Fifty Years of the Wilson Cycle Concept in Plate Tectonics / R.W. Wilson, G.A. Houseman, K.J.W. Mccaffrey, A.G. Doré, S.J.H. Buitter (eds.). Geol. Soc. London. Spec. Publ. 2018. Vol. 470. P. 230–238.
48. Nance R.D., Linnemann U. The Rheic Ocean: origin, evolution and significance // GSA Today. 2008. Vol. 18 (12). P. 4–12.
49. Nikishin A.M., Wannier M., Alekseev A.S., Al-mendinger O.A., Fokin P.A., Gabdullin R.R., Khudoley A.K., Kopaevich L.F., Mityukov A.V., Petrov E.I., Rubtsova E.V. Mesozoic to recent geological history of southern Crimea and the Eastern Black Sea region // Tectonic Evolution of the Eastern Black Sea and Caucasus / M. Sosson, R.A. Stephenson, S.A. Adamia (eds.). Geol. Soc. London. Spec. Publ. 2015. 428 p.
50. Okay A.I., Satir M., Tüysüz O., Akyüz S., Chen F. The tectonics of the Strandja Massif: Late-Variscan and mid-Mesozoic deformation and metamorphism in the northern Aegean // Int. J. of Earth Sci. 2001. Vol. 90. P. 217–233.
51. Okay N., Zack T., Okay A.I., Barth M. Sinistral transport along the Trans-European Suture Zone: Detrital zircon-rutile geochronology and sandstone petrography from the Carboniferous flysch of the Pontides // Geol. Magazine. 2011. Vol. 148. No 3. P. 380–403.
52. Okay A., Altiner D., Kiliç A. Triassic limestone, turbidites and serpentinite – the Cimmeride orogeny in the

Central Pontides // *Geological Magazine*. 2015 Vol. 152. No. 3. P. 460–479.

53. *Okay A.I., Nikishin A.M.* Tectonic evolution of the southern margin of Laurasia in the Black Sea region // *Int. Geology Review*. 2015 Vol. 57. No. 5–8. P. 1051–1076.

54. *Popov D.V., Brovchenk 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.*, Removing a mask of alteration: Geochemistry and age of the Karadag volcanic sequence in SE Crimea // *Lithos*. 2019. Vol. 324. P. 371–384.

55. *Postma G.* Depositional architecture and facies of river and fan deltas: a synthesis // *Coarse Grained Deltas / A. Colella and D.B. Prior (eds). Spec Publ. Int. Assoc. Sedimentol.* 1990. Vol.10. P. 13–27.

56. *Rohais S., Eschard R., Guillocheau F.* Depositional model and stratigraphic architecture of rift climax Gilbert-type fan deltas (Gulf of Corinth, Greece) // *Sediment. Geology*. 2008. Vol. 210. P. 132–145.

57. *Romanyuk T.V., Kuznetsov N.B., Belousova E.A., Gorozhanin V.M., Gorozhanina E.N.* Paleotectonic and paleogeographic conditions for the accumulation of the Lower Riphean Ai Formation in the Bashkir Uplift (Southern Urals): The TerraneChron® Detrital zircon study // *Geodynamics and Tectonophysics*. 2018. Vol. 9. No. 1. P. 1–37.

58. *Rud'ko S.V., Kuznetsov N.B., Belousova E.A., Romanyuk T.V.* 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*. 2018. Vol.483. No. 1. P. 1423–1426.

59. *Sheremet Y., Sosson M., Muller C., Gintov O., Murovskaya A., Yegorova T.* Key problems of stratigraphy in the Eastern Crimea Peninsula: some insights from new dating and structural data // *Tectonic Evolution of the Eastern Black Sea and Caucasus / M. Sosson, R.A. Stephenson, S.A. Adamia (eds). Geol. Soc. London. Spec. Publ.* 2016. 428. P. 265–306.

60. *Shumlyansky L., Hawkesworth C., Dhuime B., Billström K., Claesson S., Storey C.* $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ages and Hf isotope composition of zircons from sedimentary rocks of the Ukrainian shield: crustal growth of the south-western part of East European craton from Archaean to Neoproterozoic // *Precambrian research*. 2015. Vol. 260. P. 39–54.

61. *Stampfli G.M., Borel G.D.* A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrones // *Earth and Planet. Sci. Lett.* 2002 Vol. 196. No. 1–2. P. 17–33.

62. *Starostenko V., Janik T., Yegorova T., Farfuliak L., Czuba W., Sroda P., Thybo H., Artemieva I., Sosson M., Volfman Y., Kolomiyets K., Lysynchuk D., Omelchenko V., Gryn D., Guterch A., Komminaho K., Legostaeva O., Tira T., Tolkunov A.* Seismic model of the crust and upper mantle in the Scythian Platform: the DOBRE-5 profile across the north western Black Sea and the Crimean Peninsula // *Geophys. J. Int.* 2015. Vol. 201. P. 406–428.

63. *Suess E.* *Das Antlitz der Erde*. Berlin: Norderstedt-Hansebooks, 2017. Vol. 3. 532 pp.

64. *Tikhomirov P.L., Chalot-Prat F., Nazarevich B.P.* Triassic volcanism in the Eastern Fore-Caucasus: evolution and geodynamic interpretation // *Tectonophysics*. 2004. Vol. 381. No. 1–4. P. 119–142.

65. *Ustaömer T., Ustaömer P.A., Robertson A.H., Gerdes A.* Implications of U–Pb and Lu–Hf isotopic analysis of detrital zircons for the depositional age, provenance and tectonic setting of the Permian–Triassic Palaeotethyan Karakaya Complex. NW Turkey // *Int. J. of Earth Sci.* 2016. Vol. 105. No. 1. P. 7–38.

66. *Zonenshain L.P., Le Pichon X.* Deep basins of the Black Sea as remnants of Mesozoic back-arc basins // *Tectonophysics*. 1986. Vol.123. P. 181–211.

67. <http://sites.google.com/a/laserchron.org/laserchron/home> (Special module to the standard program MS Excel, freely available on the site Tucson University, Arizona, USA; the authors – G. Gehrels и J. Guynn).

AGE, Hf-ISOTOPE SYSTEMANTICS OF DETRITAL ZIRCONS AND THE SOURCE OF CONGLOMERATES OF THE mt. SOUTHERN DEMERDZHY, MOUNTAINOUS CRIMEA

S.V. Rud'ko^a, N.B. Kuznetsov^{a,b,c,*}, E.A. Belousova^c, T.V. Romanyuk^{c,d}

^a Geological Institute, Russian Academy of Sciences, 119017, Moscow, Russia

^b Gubkin Russian State University for Oil and Gas (National Research University), 119991, Moscow, Russia

^c Australian Research Council Centre of Excellence for Core to Crust Fluid Systems/GEMOC, Macquarie University, Sydney, NSW 2019, Australia

^d Shmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, 123242, Moscow, Russia

*e.mail: kouznetsov@mail.ru

Received June 2, 2018; Revised January 26, 2019; Accepted May 28, 2019

The U–Pb dating and Hf isotope systematics of detrital zircons from a sandstone interbed in the section of the upper conglomerate sequence of the Mt. South Demerdzhi were carried out.

The dominant populations of detrital zircons in the studied sample characterize episodes of magmatic activity within the source of the Upper Jurassic conglomerates. Magmatism was manifested in the Vendian-Cambrian, Carbon-Triassic and Late Jurassic. The ϵ_{Hf} values of detrital zircons of these ages indicate the insignificant role of the ancient (Archean–Early Proterozoic) continental crust in the protolith of magmatic chambers. The similarity of the detrital zircons age distribution from the Middle Jurassic and Upper Jurassic conglomerate strata suggests that they are molasses of the Cimmerian orogen. The absence of products of Middle Jurassic magmatism in molasses of the Cimmerian orogen, which we fixed, limits position of the Cimmerian orogen in the southern part of the Scythian plate. It is shown that the primary source of the Precambrian detrital zircons were mobilized within the Cimmerian orogen the crustal fragments of the Peri-Gondwanan origin, rather than the basement complexes of the East European Platform, similar to the complexes of the Ukrainian shield.

The reconstruction of the main stages of the accumulation of the coarse-grained strata of the Mountainous Crimea in the context of the tectonic evolution of the southern margin of Laurasia during the Mesozoic is presented.

Keywords: Mountainous Crimea, Cimmerian orogen, Cimmerian folding, detrital zircons, U–Pb dating, Hf-isotope systematics, source of conglomerates, Gondwana, Baltica