

УДК 551

## ИСТОЧНИКИ ОБЛОМОЧНОГО МАТЕРИАЛА ПОГРАНИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МЕЛА И ПАЛЕОГЕНА г. КЛЕМЕНТЬЕВА, ВОСТОЧНЫЙ КРЫМ (РЕЗУЛЬТАТЫ U–Th–Pb ДАТИРОВАНИЯ ЗЕРЕН ДЕТРИТОВОГО ЦИРКОНА И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ ПОСТРОЕНИЙ)

© 2025 г. Н. Б. Кузнецов<sup>а,\*</sup>, Д. М. Коршунов<sup>а</sup>, П. А. Прошина<sup>а</sup>, Т. В. Романюк<sup>б</sup>, А. С. Новикова<sup>а</sup>, И. В. Латышева<sup>а</sup>, А. С. Дубенский<sup>а</sup>, К. Г. Ерофеева<sup>а</sup>, В. С. Шешуков<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Геологический институт РАН, Пыжевский пер., 7, стр. 1, Москва, 119017 Россия

<sup>б</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, ул. Большая Грузинская, 10, стр. 1, Москва, 123242 Россия

\*e-mail: kouznikbor@mail.ru

Поступила в редакцию 12.12.2024 г.

После доработки 06.04.2025 г.

Принята к публикации 03.06.2025 г.

Представлены результаты U–Th–Pb изотопного датирования (LA-ICP-MS, ЦКП ГИН РАН) детритового циркона из известковистых песчаников мел-палеогенового пограничного интервала разреза г. Клементьева (Восточный Крым). В полученном наборе датировок зерен детритового циркона из клеметьевской свиты верхнего маастрихта (проба K22-001): 5 датировок – юрские, 22 – триасовые, 55 – палеозойские (включая 10 пермских и 7 каменноугольных датировок), 18 – неопротерозойские, 13 – мезопротерозойские (1014 – 1511 млн лет), 27 – палеопротерозойские, 10 – архейские (включая 1 – палеоархейскую); из нижнедатской феодосийской свиты (проба K22-002) 2 датировки – юрские, 4 – триасовые, 55 – палеозойские (включая 11 пермских и 16 каменноугольных датировок), 24 – неопротерозойские, 25 – мезопротерозойские (1008–1525 млн лет), 42 – палеопротерозойские, 13 – архейские. Широкий спектр возрастов от юры до палеоархея в обеих пробах свидетельствует о многообразии первичных источников сноса. Подобный провенанс-сигнал нельзя получить при аккумуляции продуктов эрозии из близкого локального источника. Таким образом, не находят подтверждения палеогеографические схемы Крыма для маастрихта и дания, из которых следует, что обломочный материал в область современного расположения г. Клементьева поступал с южной и/или с юго-западной стороны (со стороны современного Горного Крыма). Наиболее вероятными источниками терригенного материала для изученных пород были расположенные к северу от района г. Клементьева эпигерцинская Скифская и древняя Восточно-Европейская платформы. В разрезе “Гора Клементьева” зафиксировано уменьшение доли триасового и увеличение доли неопротерозойского циркона в маастрихтских толщах по сравнению с породами датской толщи.

**Ключевые слова:** Восточный Крым, мел-палеогеновая граница, циркон, U–Pb возраст, палеогеография

**DOI:** 10.7868/S3034537525060035

Стратиграфические последовательности, внутри которых проходит мел-палеогеновая граница, вызывают особый интерес у геологов в связи с тем, что примерно на этом временном рубеже произошло одно из пяти крупнейших вымираний в истории Земли. Идея о том, что причиной вымирания был удар крупного метеорита Чиксулуб, впервые была высказана в работе [Alvarez et al., 1980] на основе аномально высоких содержаний иридия, выявленных в переходном слое между

мелом и палеогеном разреза Баттачионе (Италия). Дискуссии о том, было ли вымирание на рубеже мела–палеогена прямым следствием удара метеорита или произошло на 300 000 лет позднее, будучи в большей степени обусловлено извержениями Деканских траппов [Keller, 2011, 2014], до сих пор продолжают [Smit, 2022].

Кратер от удара метеорита Чиксулуб расположен около полуострова Юкатан, его диаметр оценивается ~180 км и глубина ~900 м. Есть

аргументированное предположение о том, что ударная волна от взрыва такой силы должна была несколько раз обойти вокруг Земли и оставить после себя катастрофические разрушения. К настоящему времени накоплен уже большой объем фактических данных, фиксирующих в переходных мел-палеогеновых слоях по всему миру, помимо аномалии с повышенным содержанием иридия, другие различные изотопно-геохимические аномалии [Mathur et al., 2021], а также специфические микро-образования и тектиты, которые возникают только при мощных взрывах [Grachev et al., 2005, 2008; Корчагин, Цельмович, 2011]. Разрезы, содержащие признаки импактного события в переходных мел-палеогеновых слоях, изучены и описаны по всему миру, в том числе на южном склоне Большого Кавказа [Кочергин, Грановская, 2024]. Здесь во флишевой толще разреза “Шапсугский” (в восточной части г. Туапсе) обнаружен слой силицитов, залегающий на границе мела-палеогена, в котором найдены тектиты, ударные минералы и повышенное содержание иридия (46 ppb).

В Крыму переходные мел-палеогеновые толщи хорошо изучены [Геологическое..., 1989; Яковишина, 2005; Егоров, 2012; Барабошкин и др., 2016; Лыгина и др., 2019; Яковишина и др., 2022; Копаевич и др., 2023; Коршунов и др., 2024]. Для разреза горы Бешкош (юго-западный Крым) недавно были получены подтверждения о метеоритных бомбардировках [Гужикова, 2018; Барабошкин и др., 2020]. Однако о выявлении цунамитов и слоя с повышенным содержанием иридия в Крыму до сих пор не сообщалось.

В последние десятилетия геологи стали широко применять метод массового U-Th-Pb изотопного датирования зерен детритового циркона (dZr) из осадочных пород. Такие исследования позволяют получить информацию о возрасте кристаллических комплексов — первичных источников dZr. Это дает возможность: 1) определять питающие провинции; 2) реконструировать направления перемещения седиментационных потоков, заполняющих осадочные бассейны и др. Сопоставление получаемых наборов возрастов dZr из обломочных пород разных толщ позволяет фиксировать изменение источников сноса и служит дополнительной информацией для тестирования палеогеографических реконструкций.

Для пород некоторых стратиграфических уровней триасовых, юрских и кайнозойских толщ Крыма уже получены и опубликованы результаты U-Th-Pb изотопного датирования dZr [Nikishin et al., 2015; Никишин и др., 2020; Романюк и др., 2020; Кузнецов и др., 2022, 2024]. Однако породы меловых и палеогеновых толщ этого региона до

сих пор не были охарактеризованы такими исследованиями. В статье представлены результаты U-Th-Pb датирования dZr из двух проб, характеризующих слои, которые залегают ниже и выше границы мела-палеогена в разрезе “Гора Клементьева”, расположенного в Восточном Крыму. Цели исследования включали:

1) определение источников сноса для верхов маастрихтской и низов датской толщ разреза “Гора Клементьева” и уточнение региональных палеогеографических реконструкций;

2) выявление свидетельств катастрофического события на рубеже мела и палеогена в прованс-сигнале осадочных пород из толщ пограничного мел-палеогенового интервала Северного Причерноморья.

### СТРОЕНИЕ ИЗУЧЕННОГО ИНТЕРВАЛА РАЗРЕЗА “ГОРА КЛЕМЕНТЬЕВА”

Сведения о геологическом строении Крыма изложены в большом количестве публикаций [Геология СССР, 1969; Геологическое..., 1989; Никишин и др., 2006; Милеев и др., 1997, 2006; Юдин, 2011; Фиколина и др., 2019; Никишин и др., 2020; Кузнецов и др., 2024; Okay, Nikishin, 2015; Nikishin et al., 2015 и ссылки в них].

В Крыму выделяют две тектонические единицы наиболее крупного ранга: Степной (Равнинный) Крым — фрагмент эпигерцинской Скифской плиты и Горный Крым (ГК) — киммерийская складчатая область, вовлеченная в синальпийское горообразование. В ГК отчетливо обособлены три орографически различных района, называемые Первая, Вторая и Третья гряды (рис. 1).

В геологическом строении ГК выделяют два структурных этажа: нижний — киммерийский складчатый комплекс (фундамент), и верхний — синальпийский слабдеформированный эпикиммерийский чехол.

Гора Клементьева — самая высокая точка на плосковершинной возвышенности Узын-Сырт в восточной части ГК. На обращенных к юго-западу склонах этого плато в нескольких промоинах вскрыт разрез верхов маастрихтского (верхний мел) и низов датского (палеоцен) ярусов. Разрез наиболее хорошо обнажен в промоине (далее — “Клементьевская” промоина), истоки которой расположены в 150 м к югу от г. Клементьева (координаты 45°00'21.00" с.ш., 35°15'15.00" в.д.). Этот разрез в литературе получил название “Гора Клементьева” [Копаевич и др., 2007, 2023; Коршунов и др., 2024; Прошина, 2024].

Детальное литологическое описание и результаты биостратиграфического изучения разреза в



**Рис. 1.** Геологическая схема Горного Крыма по [Кузнецов и др., 2024] с упрощениями, добавлениями и положением разреза “Гора Клементьева”.

1–3 – синальпийский структурный комплекс: 1 – верхнекайнозойские толщи осадочных терригенно-глинисто-карбонатных пород, слагающие Третью гряды Крымских гор и верхние части разреза регионов Скифской плиты, попадающие в пределы Степного Крыма; 2 – верхнемеловые и нижнекайнозойские толщи осадочных глинисто-карбонатных и карбонатных пород, слагающие верхние части разреза Второй гряды Крымских гор; 3 – нижнемеловые толщи осадочных терригенных пород, слагающие нижние части разреза Второй гряды Крымских гор; 4–6 – киммерийский структурный комплекс: 4 – верхнеюрские (верхнеюрско-берриасские) толщи карбонатных, карбонатно-обломочных и терригенных грубообломочных (конгломератов) пород, слагающие вершинные 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; 8 – магматические ареалы (1 – “Бодрак-Первомайский”, 2 – “Аюдаг-Кастель”, 3 – “Карадаг”, 4 – “Фиолент-Гераклея”, 5 – “Сарыч-Форос-Олива”, 6 – “Верхняя Кача”); 9 – магматиты (для некоторых объектов цифрами даны возрасты в млн лет, красный шрифт – U-Th-Pb датирование, черный шрифт – Ar-Ar датирование); 10 – положение разреза “Гора Клементьева”.

“Клементьевской” промоине по микрофоссилиям даны в работах [Коршунов и др., 2024; Прошина, 2024]. Поэтому ниже приведены лишь краткие сведения о разрезе.

Нижняя часть изученного разреза представлена клементьевской свитой, которая охарактеризована комплексом бентосных и планктонных фораминифер верхнего маастрихта [Коршунов и др., 2024; Прошина, 2024]. В ней выделены три пачки (суммарной видимой мощностью около 45 м), которые сложены переслаивающимися серыми известняками и мергелями – вак- и пакстоунами, с переменным (35–50%) содержанием обломочного терригенного материала (0.05–0.15 мм), представленного преимущественно кварцем, существенно реже плагиоклазом и переротленным глауконитом. Биокласты представлены обломками раковин фораминифер, погруженными в пелитовый матрикс, состоящий из кокколитов,

микроспарита и глинистого материала. В составе глинистого материала определены минералы группы смектита, каолинит и хлорит [Коршунов и др., 2024]. В верхах разреза нижней пачки клементьевской свиты залегает выдержанный слой серых известковистых (до 20% CaCO<sub>3</sub>) песчаников, сложенных погруженными в глинисто-карбонатный цемент зернами кварца (85%) и кислого плагиоклаза (до 2–3%), с примесью аутигенного глауконита (до 2%) в виде мелких (0.1–0.15 мм) глобул, и единичных удлиненных чешуек гидрослюд. Размер зерен песчаников 0.1–0.4 мм, они среднеокатанные и хорошо сортированы. Встречаются биокласты фораминифер (до 1%). При петрографическом изучении песчаников видно, что субпараллельные микрослойки обломочного материала (0.1–1 мм) разделены тонкими (0.05–0.15 мм) глинистыми прослоями.

Стратиграфическая поверхность, соответствующая верхней границе разреза клементьевской свиты, несет следы перерыва (в объеме интервала зоны NP1 по нанопланктону) с размывом [Коршунов и др., 2024]. Выше залегает базальный горизонт феодосийской свиты, представленный серо-охристыми биотурбированными известково-глинистыми мелкозернистыми песчаниками. Количество терригенного материала в породе достигает здесь 75–80 об. %. Он преимущественно кварцевый, представленный средне- и плохоокатанными зернами размером до 0.4 мм. Существенно реже здесь можно встретить зерна плагиоклаза, гидрослюды и аутигенного глауконита. Зерна рудных минералов имеют размеры 0.1–0.25 мм. В приподошвенной части разреза феодосийской свиты установлена зона NP2 (нижний даний) по известковому наннопланктону [Коршунов и др., 2024].

По результатам исследований, изложенным в работе [Копачевич и др., 2023], в разрезе “Гора Клементьева” присутствуют отложения двух резко различных фациальных обстановок: открытого моря у подножья склона карбонатного рампа (верхний маастрихт, клементьевская свита) и мелкой сублиторали (датский ярус). Из всех

известных изученных разновозрастных разрезов Крыма верхний маастрихт разреза “Гора Клементьева” самый глубоководный. Динамика осадконакопления в этой части палеобассейна была неравномерной, с перерывами в осадконакоплении. Наиболее ярко выражен перерыв на границе маастрихта и дания.

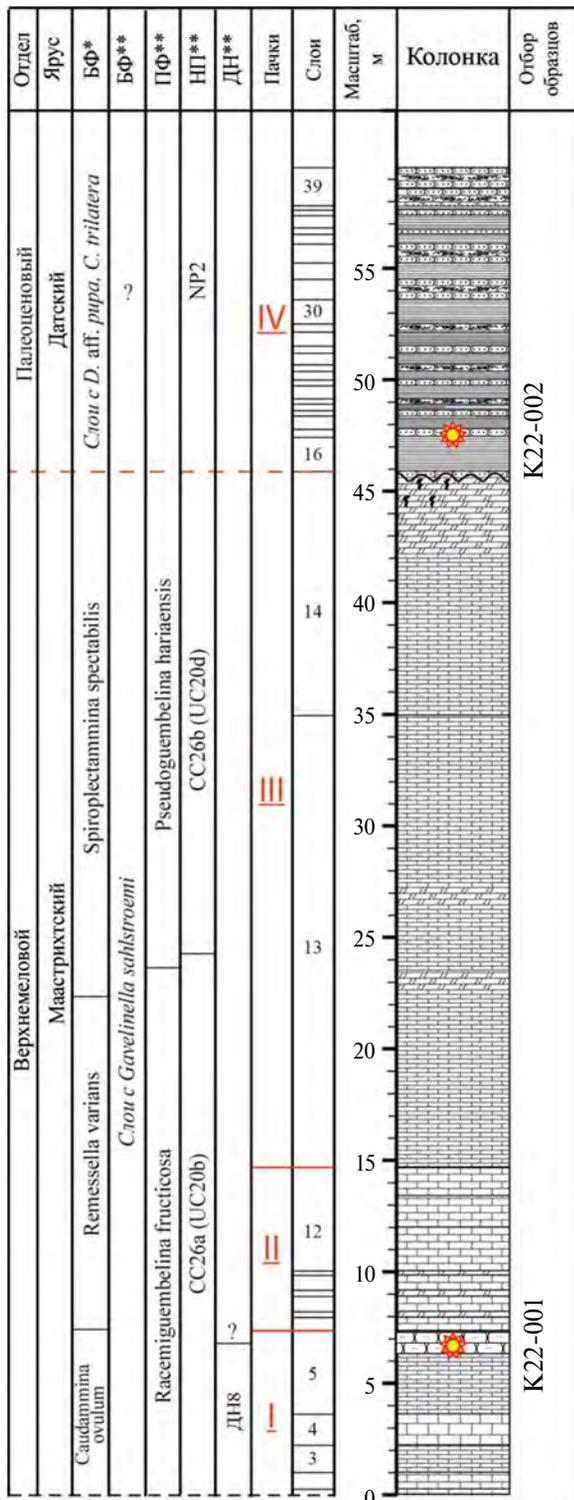
Для изучения **dZr** в разрезе “Гора Клементьева” выше и ниже границы мела и палеогена были отобраны две пробы K22-001 и K22-002 (рис. 2, 3). Проба K22-001 (координаты 45°00'22.57" с.ш., 35°15'16.08" в.д.) происходит из серых известковистых песчаников из верхов разреза нижней пачки клементьевской свиты. Проба K22-002 отобрана из охристых известковистых песчаников базальной части разреза феодосийской свиты (координаты 45°00'24.11" с.ш., 35°15'18.46" в.д.).

#### МЕТОДИКА U–Th–Pb ИЗОТОПНОГО ДАТИРОВАНИЯ ЗЕРЕН ДЕТРИТОВОГО ЦИРКОНА И ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ АНАЛИТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Выделение зерен **dZr**. Пробы известковистых песчаников из разреза клементьевской (K22-001) и феодосийской (K22-022) свит разреза



Рис. 2. Фотографии Клементьевской промоины (а) и места отбора проб K22-001 (б) и K22-002 (в).



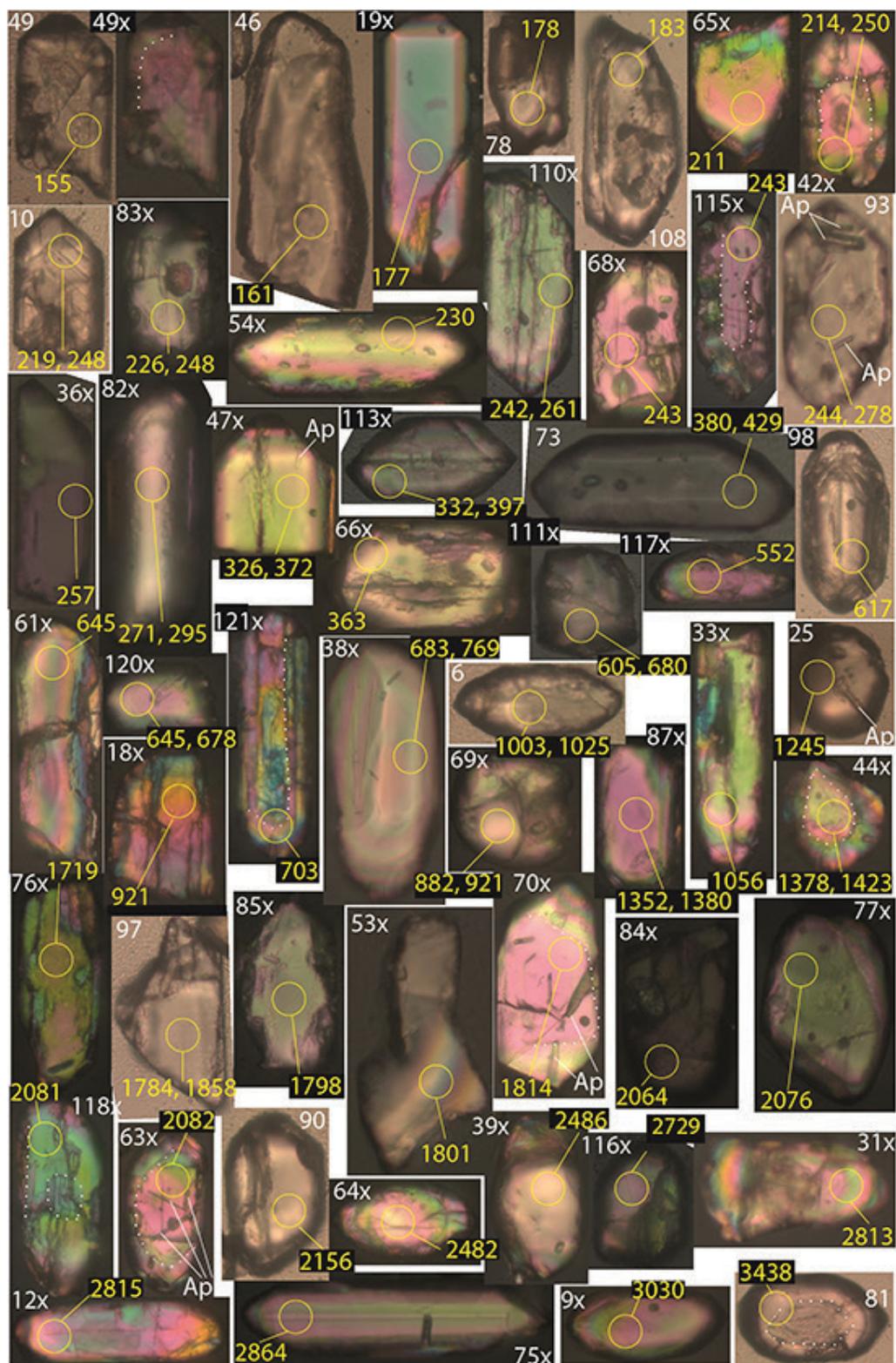
г. Клементьева были дезинтегрированы в 10%-ном растворе уксусной кислоты в Лаборатории микропалеонтологии ГИН РАН. Нерастворимый остаток проб был отмучен в проточной водопроводной воде, просушен, разделен в тяжелой (~2.95 г/см<sup>3</sup>) жидкости (бромформ) и подвергнут магнитной сепарации в специализированной минералогической лаборатории ГИН РАН. Из немагнитной части тяжелой фракции вручную с использованием бинокля случайным образом выбраны зерна **dZr**, которые были имплантированы в эпоксидные шашки и приполированы вручную до половины типичного размера зерен.

**Изучение зерен циркона.** Зерна циркона из проб K22-001 и K22-002 были изучены в приполированных эпоксидных шашках с использованием оптического поляризационного микроскопа CX-40P (рис. 4, 5). Для всех зерен были сделаны серии микрофотографий с разной глубиной фокусировки, начиная от верхней отполированной поверхности зерна и далее вниз вплоть до фокусировки на нижнюю, соприкасающуюся с эпоксидной смолой, поверхность. Это позволило выявлять детали не только в приповерхностных, но и глубинных частях зерен циркона. Для изотопного датирования в зернах были намечены участки диаметром 20–30 мкм, лишенные нарушений (трещин и метамиктных зон), чужеродных минеральных включений и других поверхностных и внутренних дефектов.

**Методика U-Th-Pb изотопного датирования циркона и первичной обработки аналитических данных.** U-Th-Pb изотопное датирование зерен **dZr** из проб K22-001 и K22-002 выполнено методом LA-ICP-MS в ЦКП ЛХАИ ГИН РАН. Описание аппаратуры, а также технология измерений, методические приемы и константы, используемые для обработки первичных аналитических данных, приведены в публикациях [Никишин и др., 2020; Колодяжный и др., 2023]. Обработка первичных аналитических данных выполнена с помощью коммерческой компьютерной программы “GLITTER” [Griffin et al., 2008], приобретенной ГИН РАН, и программ “Isoplot/Ex” и “Isoplot/R” [Ludwig, 2012; Vermeesch, 2012, 2018], размещенных в свободном доступе.

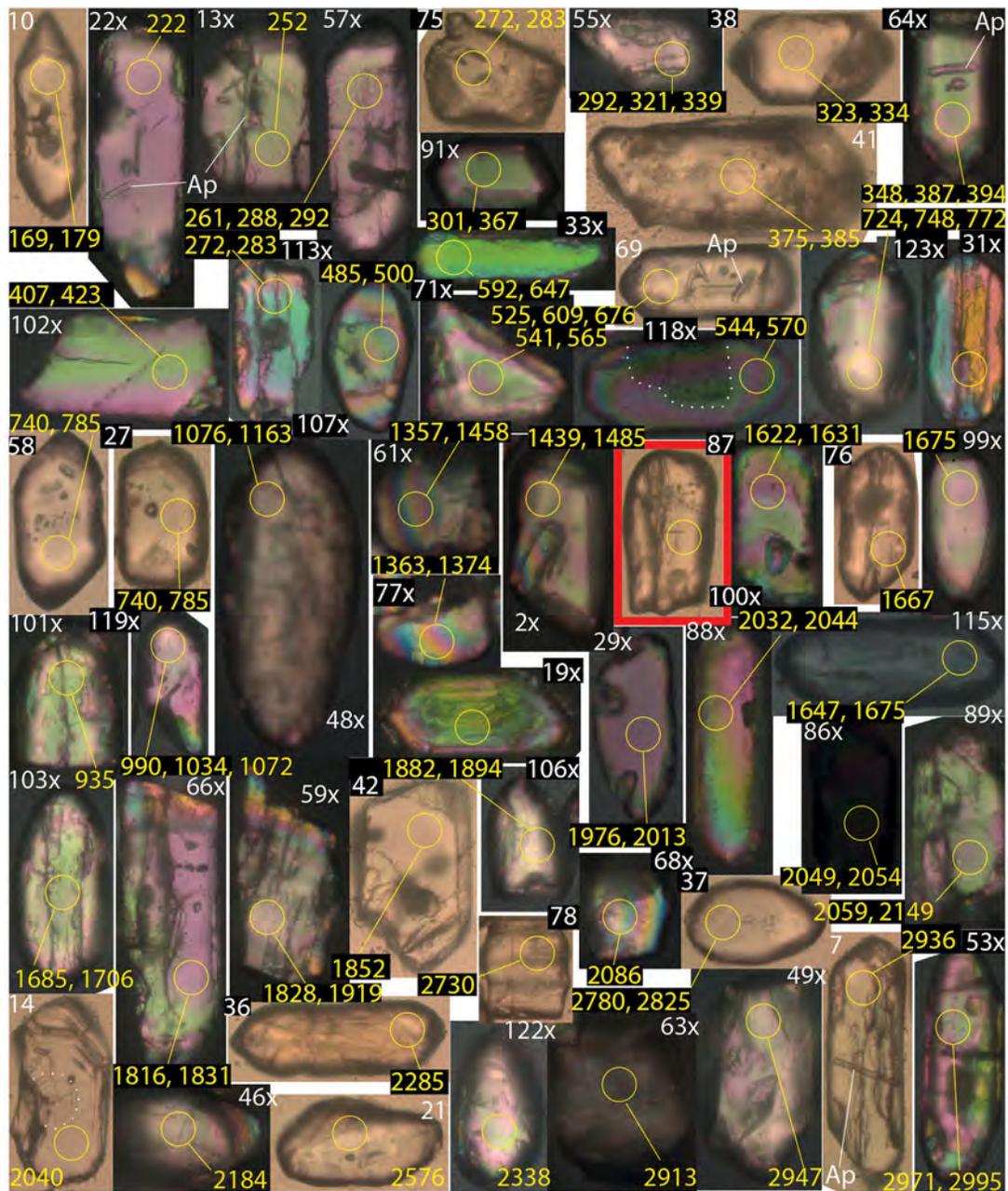
←

**Рис. 3.** Литолого-стратиграфическая колонка разреза г. Клементьева [Коршунов и др., 2024] и места отбора проб K22-001 и K22-002 (звезды), для которых выполнено U-Th-Pb изотопное датирование зерен **dZr**. \* – зоны и слои по бентосным фораминиферам (БФ) (по [Кобаевич и др., 2007] с уточнениями); \*\* – расчленение по БФ, планктонным фораминиферам (ПФ), наннопланктону (НП), диноцистам (ДН) [Коршунов и др., 2024]. D. = *Dorothia*, C. = *Charoides*. 1–5 – известняки: 1 – вакстоуны, 2 – пакстоуны, 3 – мергели, 4 – глины, 5 – песчаники; 6 – биотурбация.



**Рис. 4.** Изображения зерен циркона в проходящем свете, для которых получены кондиционные датировки из пробы К22-001 (верхний маастрихт, кlementьевская свита).

Изображения смонтированы слева направо и сверху вниз по нарастанию возраста. Для каждого изображения в левом верхнем углу цифрой белого цвета указан номер анализа (индекс "X" означает скрещенные николи), возраст (а) в млн лет показан цифрами желтого цвета, положение кратера лазерной абляции (диаметр 25 мкм) – желтым кружком. Точечными белыми линиями намечены видимые ядра или границы между разнородными частями внутри зерна, Ap – включения апатита (?).



**Рис. 5.** Изображения зерен циркона в проходящем свете, для которых получены кондиционные датировки из пробы К22-002 (даней, феодосийская свита).  
 Объяснения см. рис. 4.  
 Красный контур – изображение зерна, для которого получены 4 датировки – 1441, 1485, 1503 и 1529 млн лет (анализ – № 87), для зерен с номерами изображений 19 и 31 – анализы дискордантные.

Программа “GLITTER” дает исследователям принципиальную возможность видеть и анализировать графическое представление количества поступающих на детекторы ионов  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{238}\text{U}$  в процессе испарения. Исследователь может видеть в развертке во времени для каждого конкретного анализа, какое количество перечисленных выше ионов, “извлекаемых”

последовательно из все более и более глубоко расположенных частей зерна, поступает на детекторы по мере проникновения луча лазера вглубь анализируемого кристалла или зерна. Очевидно, что начальные части аналитического сигнала содержат информацию о части кристалла или зерна циркона, расположенной сразу под его верхней приполированной поверхностью. При этом

конечные части того же сигнала несут информацию о более глубоких, удаленных от полированной поверхности частях того же самого зерна. Развертку во времени аналитической записи каждого конкретного изотопного анализа мы называем аналитическим сигналом. Возможно “вырезать” из аналитического сигнала его любую часть и получить для нее изотопную датировку. Опыт наших предыдущих исследований (например, [Колодяжный и др., 2023]) показал, что довольно часто для одного зерна циркона можно получить две или даже три разновозрастные датировки.

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

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

Для содержательной интерпретации оставлены только датировки (мы называем их кондиционными), удовлетворяющие четырем нижеперечисленным критериям/правилам.

**1) –10% < D1 и D2 < 10%.** Для характеристики степени дискордантности анализов нами использованы величины D1 и D2, которые рассчитаны по формулам:

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

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

Заданный критерий обеспечивает хорошую сходимость оценок возрастов по трем разным U–Pb изотопным парам.

**2) Аналитическая ошибка измерений обеспечивает точность оценки возраста < 50 млн лет.** С уменьшением длительности интегрируемой части

аналитического сигнала обычно падает и аналитическая точность. При низких концентрациях U и Th в анализируемой части зерна это может привести к появлению неприемлемо большой аналитической ошибки. При приемлемой величине дискордантностей аналитическая ошибка может быть настолько велика, что датировка бессмысленна.

**3) Поправка на общий свинец меняет возраст < 50 млн лет.** В реализации технологии LA-ICP-MS в ЦКП ЛХАИ ГИН РАН содержание  $^{204}\text{Pb}$  не определяют. Для коррекции на обычный свинец мы использовали компьютерную программу ComPbCorr [Andersen, 2008]. Теоретические основы коррекции и формулы, по которым проведена коррекция, изложены в работе [Andersen, 2002]. Нарушение изотопной U–Th–Pb системы циркона оценивают, исходя из измеренных содержаний изотопов свинца  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$  и  $^{208}\text{Pb}$  в цирконе и известных изотопных соотношений между изотопами свинца, которые в программе приняты как  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.7$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.628$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.63$ . Такая поправка очевидно менее надежная, чем по измеренным содержаниям  $^{204}\text{Pb}$ , поэтому анализы, в которых величина поправки возраста более пороговой, отбраковываются. Однако по факту при анализе результатов по пробам K22-001 и K22-002 в данном исследовании этот критерий оказался излишним, поскольку все такие анализы оказались отсеченными критерием (1).

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

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ЗЕРЕН ЦИРКОНА

**Описание зерен циркона.** Размеры изученных нами зерен циркона из проб K22-001 и K22-002 от 40–50 до 300 мк (см. рис. 4, 5). Зерна циркона различны по цвету, размеру, форме и другим деталям. Зерна содержат внутри себя каналы течения вещества и трещины, а также многочисленные включения разной природы. Часто можно наблюдать включения игольчатой формы, которые наиболее вероятно представляют собой микрокристаллы апатита. В единичных случаях в зернах видны древние (инхеритные) ядра. В поляризованном свете зерна циркона обладают высокими интерференционными окрасками, чрезвычайно разнообразными по цветовой гамме и узору. Однако светимость, как правило, умеренная или слабая. Большинство зерен циркона от средне- до

полностью окатанных<sup>1</sup>. Форма зерен преимущественно округлая, лишь единичные зерна сохранили удлиненную форму. Немногочисленные зерна **dZr** сохранили черты, присущие правильно оформленным кристаллам. Большинство же зерен **dZr** – это или окатанные части более крупных кристаллов, или зерна, изначально имеющие очень сложное строение, вплоть до бесформенных образований. Каких-либо отчетливых различий между зернами циркона из проб K22-001 и K22-002 по внешнему облику не выявлено.

**Результаты U–Th–Pb датирования.** В пробе K22-001 U–Th–Pb изотопной анализ выполнен для 121 зерна **dZr** и получено 126 кондиционных датировок (включая датировки ядер и кайм зерен) (табл. 1). Максимальная датировка **dZr**  $3438 \pm 12$  млн лет, минимальная –  $155 \pm 1$  млн лет. В полученном наборе 5 датировок – юрские, 22 – триасовые, 55 – палеозойские (включая 10 пермских и 7 каменноугольных датировок), 18 – неопротерозойские, 13 – мезопротерозойские (1014–1511 млн лет), 27 – палеопротерозойские, 10 – архейские (включая 1 – палеоархейскую).

В пробе K22-002 U–Th–Pb изотопной анализ выполнен для 125 зерен **dZr** и получено 186 кондиционных датировок (включая датировки ядер и кайм зерен) (см. табл. 1). Максимальная датировка  $2995 \pm 12$  млн лет, минимальные –  $169 \pm 2$  и  $179 \pm 2$  млн лет (обе датировки получены по одному зерну). В полученном наборе 2 датировки – юрские, 4 – триасовые, 55 – палеозойские (включая 11 пермских и 16 каменноугольных датировок), 24 – неопротерозойские, 25 – мезопротерозойские (1008–1525 млн лет), 42 – палеопротерозойские, 13 – архейские.

Каких-либо отчетливых отличий между зернами **dZr** из проб K22-001 и K22-002 по содержаниям Th и U и величинам Th/U, равно как и очевидных закономерностей между характером распределения U–Pb возрастом зерен циркона, внешним видом зерен и величинами Th/U для этих зерен, не обнаружено (рис. 6д). Также в цирконе не выявлено особенностей, которые можно было бы связать с импактным воздействием.

Мы практикуем подход с получением нескольких датировок в одной точке анализа **dZr** по разным фрагментам аналитической записи. Датировки ядер и оболочек в одной точке анализа мы считаем “равноправными” с датировками, полученными по разным точкам анализа в одном и том же зерне. Учет возрастов ядер и оболочек зерен **dZr** делает гистограммы и КПВ

представительнее. Однако при получении близких датировок не очевидно, что получены именно возрасты ядра и оболочки. Есть высокая вероятность того, что близкие датировки характеризуют в пределах ошибки возраст одного и того же цирконового материала. Например, дают оценки разных частей одного и того же ядра, разделенных инородным включением. Далее мы называем такие возрасты – “двойные датировки”. То есть возраст этого ядра, для которого получена “двойная датировка”, в дальнейших статистических оценках мы учитываем дважды. Мы согласны, что значительное количество таких “двойных датировок” в выборке может существенно повлиять на характер гистограммы и КПВ. Однако в нашем случае доля таких “двойных датировок” невелика. Чтобы продемонстрировать это, мы сформировали дополнительный набор датировок для каждой пробы (дополнительную выборку), в котором “двойные датировки” (т.е. две датировки, различающиеся меньше, чем на  $\pm 1\sigma$ ) были заменены одной датировкой, рассчитанной как среднее арифметическое по “двойной датировке”. В пробе K22-001 таких замен – 5, а в пробе K22-002 – 21. Сопоставление обычных КПВ с КПВ, рассчитанных для выборок с заменой “двойных датировок” их арифметическим средним, показало, что изменение значений частотных пиков меньше рутинной погрешности измерений (см. рис. 6).

Очевидно, что в общем случае встает вопрос о валидности выполняемых сопоставлений наборов возрастов, созданных с применением используемых нами методических приемов получения нескольких датировок **dZr** в одной точке анализа по разным фрагментам аналитической записи, с наборами, в которых для одного анализа получают только одну датировку (принцип: одно зерно – одна датировка). Однако в данной статье мы сопоставляем два возрастных набора, созданных по единой методике. А это означает, что сопоставление этих возрастных наборов валидно.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

История геологического изучения Северного Причерноморья длится уже третье столетие. За это время накоплен обильный фактический материал, предложены многочисленные палеотектонические и палеогеографические концепции эволюции региона в мезозое и кайнозое. Однако среди исследователей до сих пор нет консенсуса в понимании многих принципиальных деталей палеогеографии мезозойских и кайнозойских осадочных бассейнов, реликты которых представлены в современной структуре Северного Причерноморья.

<sup>1</sup> При оценке степени окатанности зерен циркона мы следуем принципам классификации, предложенным в работе [Романюк, Котлер, 2024].

**Таблица 1.** Результаты U–Th–Pb изотопного (LA–ICP–MS) датирования зерен детритового циркона из песков разреза г. Клементьева, Восточный Крым (пробы K22-001 и K22-02)

№ п/п	Номер анализа в пробе	U, г/г	Th, г/г	Измеренные отношения (с коррекцией на обыкновенный свинец)						Возраст, млн лет				D1, %		D2, %	
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	D1	D2
<b>K22-001</b>																	
1	a001	90.8	94.1	0.1283	0.00164	6.7496	0.07043	0.3816	0.00289	2075	13	2079	9	2084	13	-0.2	-0.4
2	a002	1294.3	1333.4	0.0523	0.00092	0.3269	0.00514	0.0453	0.00036	300	23	287	4	286	2	0.3	4.9
3	a003	685.1	400.3	0.1138	0.00142	1.9610	0.01972	0.1250	0.00092	1860	13	1102	7	759	5	45.2	145.1
4	a004	285.6	293.2	0.2499	0.00342	14.7897	0.08578	0.4292	0.00539	3184	13	2802	6	2302	24	21.7	38.3
5	a005	1559.2	1076.0	0.1360	0.00181	1.1131	0.01225	0.0594	0.00045	2177	13	760	6	372	3	104.3	485.2
6	a006-cor	105.5	69.5	0.0754	0.00155	1.9002	0.03582	0.1827	0.00170	1080	24	1081	13	1082	9	-0.1	-0.2
7	a006-rim1	137.7	91.3	0.0726	0.00120	1.6885	0.02457	0.1687	0.00138	1003	19	1004	9	1005	8	-0.1	-0.2
8	a006-rim2	119.7	73.7	0.0734	0.00140	1.7598	0.03034	0.1739	0.00154	1025	22	1031	11	1034	8	-0.3	-0.9
9	a007	574.3	463.4	0.0512	0.00078	0.2793	0.00373	0.0396	0.00031	248	20	250	3	250	2	0.0	-0.8
10	a008-cor	420.2	372.1	0.0509	0.00115	0.2518	0.00526	0.0359	0.00031	235	30	228	4	227	2	0.4	3.5
11	a008-rim1	451.5	384.1	0.0505	0.00119	0.2388	0.00524	0.0343	0.00031	218	31	217	4	217	2	0.0	0.5
12	a008-rim2	285.2	267.0	0.0506	0.00111	0.2449	0.00500	0.0351	0.00030	222	29	222	4	223	2	-0.4	-0.4
13	a009-cor	134.8	77.2	0.2269	0.00301	18.6931	0.20776	0.5976	0.00460	3030	12	3026	11	3020	19	0.2	0.3
14	a009-rim	90.9	55.2	0.2241	0.00310	18.3736	0.21741	0.5946	0.00487	3011	13	3010	11	3008	20	0.1	0.1
15	a010-cor	1168.1	498.5	0.0513	0.00083	0.2770	0.00398	0.0392	0.00031	253	21	248	3	248	2	0.0	2.0
16	a010-rim	1698.0	750.8	0.0507	0.00090	0.2414	0.00385	0.0346	0.00028	227	24	220	3	219	2	0.5	3.7
17	a011	102.3	108.0	0.0603	0.00097	0.8264	0.01175	0.0995	0.00080	613	20	612	7	611	5	0.2	0.3
18	a012	223.0	360.8	0.1987	0.00252	13.8267	0.14460	0.5048	0.00408	2815	12	2738	10	2634	17	3.9	6.9
19	a013-cor	185.4	243.6	0.0529	0.00124	0.3591	0.00788	0.0493	0.00044	323	30	312	6	310	3	0.6	4.2
20	a013-rim	323.7	429.3	0.0515	0.00122	0.2942	0.00649	0.0415	0.00038	261	31	262	5	262	2	0.0	-0.4
21	a014	369.1	423.5	0.0507	0.00083	0.2515	0.00363	0.0360	0.00028	225	22	228	3	228	2	0.0	-1.3
22	a015	96.9	85.5	0.0907	0.00128	3.1392	0.03790	0.2510	0.00201	1441	16	1442	9	1444	10	-0.1	-0.2
23	a016-cor	139.1	189.2	0.0733	0.00118	1.7390	0.02452	0.1720	0.00142	1023	19	1023	9	1023	8	0.0	0.0
24	a016-rim	149.1	120.1	0.0716	0.00108	1.6084	0.02104	0.1631	0.00131	973	18	973	8	974	7	-0.1	-0.1
25	a017-cor	150.0	192.2	0.0512	0.00112	0.2690	0.00545	0.0381	0.00033	248	30	242	4	241	2	0.4	2.9
26	a017-rim	206.6	238.1	0.0505	0.00161	0.2329	0.00706	0.0335	0.00035	216	43	213	6	212	2	0.5	1.9
27	a018	678.5	514.3	0.0874	0.00126	1.2770	0.00870	0.1060	0.00139	1370	16	836	4	649	8	28.8	111.1
28	a018-cor	83.7	34.8	0.0701	0.00194	1.4838	0.03863	0.1536	0.00169	931	33	924	16	921	9	0.3	1.1
29	a019	430.1	393.0	0.0496	0.00095	0.1905	0.00332	0.0278	0.00023	178	26	177	3	177	1	0.0	0.6

Таблица 1. Продолжение

№ п/п	Номер анализа в пробе	U, г/т	Th, г/т	Измеренные отношения (с коррекцией на обыкновенный свинец)						Возраст, млн лет				D1, %	D2, %		
				<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U ±1σ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U ±1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb ±1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U ±1σ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U ±1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb ±1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U ±1σ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U ±1σ					
30	a020	139.0	278.4	0.0529	0.00107	0.3737	0.00691	0.0512	0.00043	326	26	322	5	322	3	0.0	1.2
31	a021-cor1	302.9	926.4	0.0513	0.00128	0.2846	0.00664	0.0402	0.00037	255	32	254	5	254	2	0.0	0.4
32	a021-cor2	38.3	35.2	0.0521	0.00300	0.3398	0.01907	0.0473	0.00067	292	77	297	14	298	4	-0.3	-2.0
33	a021-rim	199.5	411.5	0.0511	0.00286	0.2607	0.01409	0.0370	0.00057	244	73	235	11	234	4	0.4	4.3
34	a022	259.1	229.7	0.0870	0.00120	2.8028	0.03306	0.2338	0.00184	1360	15	1356	9	1354	10	0.1	0.4
35	a023-cor	208.9	37.3	0.0561	0.00154	0.5589	0.01449	0.0723	0.00073	454	35	451	9	450	4	0.2	0.9
36	a023-rim	387.2	135.2	0.0554	0.00123	0.4951	0.01022	0.0648	0.00059	429	29	408	7	405	4	0.7	5.9
37	a024	161.8	278.0	0.1284	0.00180	6.7247	0.08106	0.3801	0.00308	2075	14	2076	11	2077	14	0.0	-0.1
38	a025	204.5	137.9	0.0820	0.00113	2.4037	0.02843	0.2127	0.00167	1245	15	1244	8	1243	9	0.1	0.2
39	a026	200.8	158.5	0.1291	0.00177	6.8039	0.07958	0.3825	0.00301	2085	14	2086	10	2088	14	-0.1	-0.1
40	a027	79.6	87.8	0.1103	0.00161	4.9226	0.06246	0.3237	0.00263	1805	15	1806	11	1808	13	-0.1	-0.2
41	a028-cor	540.4	548.0	0.0526	0.00090	0.3792	0.00581	0.0523	0.00043	312	22	326	4	329	3	-0.9	-5.2
42	a028-rim	844.4	776.3	0.0524	0.00101	0.3441	0.00606	0.0477	0.00041	302	25	300	5	300	3	0.0	0.7
43	a029	122.6	105.9	0.2202	0.00323	17.8779	0.23000	0.5889	0.00487	2982	14	2983	12	2985	20	-0.1	-0.1
44	a030-cor	266.4	586.8	0.0657	0.00123	1.1871	0.02036	0.1311	0.00115	797	22	795	9	794	7	0.1	0.4
45	a030-rim	357.3	811.7	0.0633	0.00133	1.0283	0.02000	0.1178	0.00108	720	26	718	10	718	6	0.0	0.3
46	a031	79.6	99.7	0.1983	0.00250	14.9889	0.15657	0.5482	0.00442	2813	12	2815	10	2817	18	-0.1	-0.1
47	a032	1035.9	101.4	0.1954	0.00235	9.5531	0.09288	0.3546	0.00270	2788	11	2393	9	1956	13	22.3	42.5
48	a033	411.6	241.8	0.0746	0.00094	1.8339	0.01910	0.1784	0.00137	1056	14	1058	7	1058	7	0.0	-0.2
49	a034	221.9	160.7	0.1274	0.00160	6.6238	0.06829	0.3772	0.00291	2062	13	2063	9	2063	14	0.0	0.0
50	a035	118.9	143.9	0.2050	0.00275	15.8521	0.18051	0.5608	0.00469	2867	12	2868	11	2870	19	-0.1	-0.1
51	a036	178.7	161.2	0.0514	0.00110	0.2884	0.00570	0.0407	0.00035	257	29	257	4	257	2	0.0	0.0
52	a037	527.6	320.4	0.2540	0.00327	9.2021	0.09824	0.2628	0.00203	3210	12	2358	10	1504	10	56.8	113.4
53	a038-cor	246.1	30.0	0.0646	0.00114	1.1290	0.01790	0.1268	0.00108	761	21	767	9	769	6	-0.3	-1.0
54	a038-rim	297.0	48.8	0.0623	0.00097	0.9606	0.01310	0.1118	0.00091	686	19	684	7	683	5	0.1	0.4
55	a039	143.1	158.9	0.1629	0.00233	10.2739	0.12651	0.4574	0.00382	2486	14	2460	11	2428	17	1.3	2.4
56	a040	2439.4	2893.8	0.1154	0.00159	0.9232	0.01074	0.0580	0.00045	1886	14	664	6	364	3	82.4	418.1
57	a041	915.2	533.3	0.1692	0.00178	2.6490	0.01472	0.1135	0.00108	2550	10	1314	4	693	6	89.6	268.0
58	a042-cor	631.5	916.6	0.0512	0.00099	0.2785	0.00494	0.0395	0.00034	248	26	249	4	250	2	-0.4	-0.8
59	a042-rim	1388.2	1837.8	0.0504	0.00076	0.2351	0.00311	0.0338	0.00027	215	20	214	3	214	2	0.0	0.5
60	a043	888.2	308.0	0.1867	0.00222	4.1176	0.04003	0.1600	0.00123	2713	11	1658	8	957	7	73.2	183.5

Таблица 1. Продолжение

№ п/п	Номер анализа в пробе	U, г/т	Th, г/т	Измеренные отношения (с коррекцией на обыкновенный свинец)						Возраст, млн лет				D1, %	D2, %		
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$
61	a044-cor	57.0	75.5	0.0899	0.00167	3.0518	0.05189	0.2463	0.00233	1423	21	1421	13	1419	12	0.1	0.3
62	a044-rim	42.5	65.4	0.0878	0.00187	2.8229	0.05600	0.2332	0.00238	1378	24	1362	15	1351	12	0.8	2.0
63	a045	360.0	182.0	0.1095	0.00136	4.8350	0.04988	0.3202	0.00251	1791	13	1791	9	1791	12	0.0	0.0
64	a046	556.7	384.7	0.0493	0.00107	0.1717	0.00345	0.0252	0.00022	164	30	161	3	161	1	0.0	1.9
65	a047-cor	155.2	123.8	0.0541	0.00128	0.4423	0.00981	0.0594	0.00056	374	30	372	7	372	3	0.0	0.5
66	a047-rim	238.6	181.0	0.0529	0.00097	0.3784	0.00630	0.0519	0.00044	324	24	326	5	326	3	0.0	0.6
67	a048	122.7	190.1	0.1210	0.00168	5.5466	0.06673	0.3324	0.00276	1971	14	1908	10	1850	13	3.1	6.5
68	a049	1558.4	2237.8	0.0492	0.00072	0.1654	0.00214	0.0244	0.00020	157	20	155	2	155	1	0.0	1.3
69	a050-cor	107.2	62.2	0.0575	0.00178	0.6518	0.01925	0.0822	0.00091	512	38	510	12	509	5	0.2	0.6
70	a050-rim	168.6	83.6	0.0561	0.00110	0.5629	0.01016	0.0727	0.00064	458	25	453	7	453	4	0.0	1.1
71	a051	627.1	1100.8	0.2462	0.00400	4.6490	0.03286	0.1369	0.00201	3161	15	1758	6	827	11	112.6	282.2
72	a052	584.6	322.6	0.2424	0.00348	5.8427	0.07264	0.1748	0.00143	3136	13	1953	11	1039	8	88.0	201.8
73	a053	205.5	157.3	0.1101	0.00162	4.8857	0.06276	0.3219	0.00264	1801	15	1800	11	1799	13	0.1	0.1
74	a054	381.1	591.7	0.0507	0.00128	0.2537	0.00601	0.0363	0.00035	229	34	230	5	230	2	0.0	-0.4
75	a055	1005.8	736.2	0.1850	0.00330	3.8296	0.02827	0.1502	0.00244	2698	17	1599	6	902	14	77.3	199.1
76	a056-cor	125.6	149.3	0.0549	0.00142	0.2818	0.00692	0.0372	0.00036	407	33	252	5	236	2	6.8	72.5
77	a056-rim1	156.8	215.3	0.0501	0.00351	0.2376	0.01612	0.0344	0.00064	201	93	216	13	218	4	-0.9	-7.8
78	a056-rim2	139.1	151.0	0.0513	0.00250	0.2661	0.01249	0.0376	0.00053	255	66	240	10	238	3	0.8	7.1
79	a057	307.5	281.7	0.2488	0.00467	9.2945	0.07224	0.2709	0.00478	3177	17	2367	7	1546	24	53.1	105.5
80	a058	69.9	192.6	0.1103	0.00192	4.9131	0.07809	0.3231	0.00294	1804	18	1805	13	1805	14	0.0	-0.1
81	a059	160.7	232.8	0.1297	0.00206	6.8818	0.09860	0.3849	0.00327	2094	16	2096	13	2099	15	-0.1	-0.2
82	a060	262.0	215.0	0.0526	0.00111	0.3563	0.00704	0.0492	0.00045	310	27	309	5	309	3	0.0	0.3
83	a061	200.7	283.7	0.0613	0.00091	0.8888	0.01152	0.1052	0.00086	650	19	646	6	645	5	0.2	0.8
84	a062	107.4	153.8	0.1975	0.00262	14.7854	0.16832	0.5429	0.00465	2806	12	2802	11	2796	19	0.2	0.4
85	a063	107.0	148.5	0.1288	0.00168	6.7504	0.07430	0.3800	0.00307	2082	13	2079	10	2076	14	0.1	0.3
86	a064	437.9	422.1	0.1625	0.00207	10.4268	0.11168	0.4654	0.00368	2482	12	2473	10	2463	16	0.4	0.8
87	a065	827.0	471.9	0.0504	0.00088	0.2308	0.00365	0.0333	0.00028	211	23	211	3	211	2	0.0	0.0
88	a066	153.2	178.0	0.0537	0.00111	0.4292	0.00820	0.0580	0.00051	359	28	363	6	363	3	0.0	-1.1
89	a067	259.3	267.1	0.2039	0.00290	12.8675	0.15785	0.4576	0.00381	2858	13	2670	12	2429	17	9.9	17.7
90	a068	376.8	343.9	0.0514	0.00100	0.2726	0.00487	0.0385	0.00033	259	26	245	4	243	2	0.8	6.6
91	a069-cor	252.3	367.5	0.0707	0.00123	1.4972	0.02336	0.1536	0.00132	949	21	929	9	921	7	0.9	3.0

Таблица 1. Продолжение

№ п/п	Номер анализа в пробе	U, г/г	Th, г/г	Измеренные отношения (с коррекцией на обыкновенный свинец)						Возраст, млн лет						D1, %	D2, %
				<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	$\pm 1\sigma$	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	$\pm 1\sigma$	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	$\pm 1\sigma$	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	$\pm 1\sigma$	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	$\pm 1\sigma$	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	$\pm 1\sigma$		
92	a069-rim	287.3	333.1	0.0699	0.00164	1.4125	0.03091	0.1467	0.00147	924	28	894	13	<b>882</b>	8	1.4	4.8
93	a070	99.4	124.6	0.1109	0.00176	4.8053	0.06731	0.3143	0.00266	<b>1814</b>	<b>17</b>	1786	12	1762	13	1.4	3.0
94	a071	189.8	156.1	0.1237	0.00194	4.8217	0.03529	0.2826	0.00398	2011	16	1789	6	1605	20	11.5	25.3
95	a072	356.2	290.3	0.2528	0.00391	8.6040	0.06028	0.2469	0.00346	3202	14	2297	6	1422	18	61.5	125.2
96	a073-cor	327.3	117.9	0.0554	0.00109	0.5253	0.00945	0.0688	0.00060	426	25	429	6	<b>429</b>	<b>4</b>	0.0	-0.7
97	a073-rim	608.5	246.4	0.0547	0.00099	0.4579	0.00751	0.0608	0.00052	399	24	383	5	<b>380</b>	<b>3</b>	0.8	5.0
98	a074	132.9	80.3	0.3048	0.00566	18.3191	0.15251	0.4359	0.00731	3495	17	3007	8	2332	33	28.9	49.9
99	a075	73.9	90.1	0.2047	0.00313	15.8218	0.21377	0.5608	0.00488	<b>2864</b>	<b>14</b>	2866	13	2870	20	-0.1	-0.2
100	a076	62.8	154.2	0.1052	0.00187	4.4104	0.07092	0.3040	0.00279	<b>1719</b>	<b>19</b>	1714	13	1711	14	0.2	0.5
101	a077	119.7	115.5	0.1284	0.00202	6.7255	0.09370	0.3799	0.00321	<b>2076</b>	<b>16</b>	2076	12	2076	15	0.0	0.0
102	a078	627.6	141.4	0.0495	0.00137	0.1910	0.00497	0.0280	0.00028	172	38	177	4	<b>178</b>	<b>2</b>	-0.6	-3.4
103	a079	238.7	1146.6	0.0927	0.00151	3.3054	0.04811	0.2586	0.00218	<b>1482</b>	<b>18</b>	1482	11	1483	11	-0.1	-0.1
104	a080	512.9	905.7	0.0598	0.00104	0.7788	0.01222	0.0944	0.00080	598	22	585	7	<b>582</b>	<b>5</b>	0.5	2.7
105	a081	141.4	74.1	0.2939	0.00382	28.3228	0.31811	0.6990	0.00627	<b>3438</b>	<b>12</b>	3430	11	3417	24	0.4	0.6
106	a082-cor	453.4	294.5	0.0522	0.00086	0.3378	0.00499	0.0469	0.00039	296	22	295	4	<b>295</b>	<b>2</b>	0.0	0.3
107	a082-rim	836.9	355.9	0.0518	0.00104	0.3074	0.00568	0.0430	0.00038	278	26	272	4	<b>271</b>	<b>2</b>	0.4	2.6
108	a083-cor	677.8	736.1	0.0516	0.00088	0.2794	0.00428	0.0393	0.00033	267	22	250	3	<b>248</b>	<b>2</b>	0.8	7.7
109	a083-rim	891.8	783.6	0.0507	0.00107	0.2491	0.00489	0.0357	0.00032	225	27	226	4	<b>226</b>	<b>2</b>	0.0	-0.4
110	a084	153.6	138.5	0.1275	0.00171	6.6323	0.07641	0.3774	0.00314	<b>2064</b>	<b>14</b>	2064	10	2064	15	0.0	0.0
111	a085	86.9	101.2	0.1099	0.00152	4.8794	0.05854	0.3219	0.00269	<b>1798</b>	<b>14</b>	1799	10	1799	13	0.0	-0.1
112	a086	615.6	207.9	0.0547	0.00120	0.4144	0.00848	0.0550	0.00051	399	29	352	6	345	3	2.0	15.7
113	a087-cor	98.2	91.7	0.0879	0.00175	2.8727	0.05261	0.2371	0.00235	<b>1380</b>	<b>22</b>	1375	14	1372	12	0.2	0.6
114	a087-rim	485.7	399.0	0.0866	0.00117	2.7869	0.03221	0.2334	0.00189	<b>1352</b>	<b>15</b>	1352	9	1352	10	0.0	0.0
115	a088	1149.6	1001.0	0.1303	0.00173	2.1732	0.02457	0.1210	0.00097	2102	13	1172	8	736	6	59.2	185.6
116	a089	758.6	505.1	0.0506	0.00086	0.2327	0.00359	0.0334	0.00028	220	23	212	3	<b>212</b>	<b>2</b>	0.0	3.8
117	a090	65.0	49.1	0.1344	0.00194	7.3381	0.09280	0.3961	0.00338	<b>2156</b>	<b>15</b>	2153	11	2151	16	0.1	0.2
118	a091-cor	128.9	185.7	0.1276	0.00176	6.6286	0.07947	0.3769	0.00318	<b>2065</b>	<b>14</b>	2063	11	2062	15	0.0	0.1
119	a092	93.8	67.7	0.1310	0.00179	6.9966	0.08311	0.3875	0.00324	<b>2111</b>	<b>14</b>	2111	11	2111	15	0.0	0.0
120	a093-cor	505.9	509.1	0.0519	0.00125	0.3151	0.00715	0.0441	0.00042	280	32	278	6	<b>278</b>	<b>3</b>	0.0	0.7
121	a093-rim	445.5	396.9	0.0512	0.00098	0.2724	0.00477	0.0386	0.00034	249	26	245	4	<b>244</b>	<b>2</b>	0.4	2.0
122	a094-cor	177.9	149.4	0.1155	0.00217	5.3096	0.09174	0.3335	0.00339	<b>1887</b>	<b>19</b>	1870	15	1855	16	0.8	1.7

Таблица 1. Продолжение

№ п/п	Номер анализа в пробе	U, г/т	Th, г/т	Измеренные отношения (с коррекцией на обыкновенный свинец)						Возраст, млн лет						D1, %	D2, %
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$		
123	a094-rim	170.9	182.9	0.1158	0.00173	5.3099	0.07042	0.3326	0.00289	1892	16	1870	11	1851	14	1.0	2.2
124	a095	1035.4	1357.7	0.0600	0.00096	0.2473	0.00210	0.0299	0.00042	602	20	224	2	190	3	17.9	216.8
125	a096	469.1	224.4	0.1784	0.00266	3.2813	0.04306	0.1334	0.00114	2638	14	1477	10	807	6	83.0	226.9
126	a097-cor	49.7	46.6	0.1136	0.00205	5.2665	0.08736	0.3363	0.00326	1858	19	1863	14	1869	16	-0.3	-0.6
127	a097-rim	69.6	59.5	0.1091	0.00219	4.6977	0.08743	0.3124	0.00324	1784	21	1767	16	1752	16	0.9	1.8
128	a098	146.8	168.7	0.0613	0.00161	0.8486	0.02113	0.1005	0.00106	648	32	624	12	617	6	1.1	5.0
129	a099	340.7	172.0	0.2334	0.00358	12.0337	0.16528	0.3740	0.00320	3075	14	2607	13	2048	15	27.3	50.1
130	a100	918.0	593.1	0.1120	0.00184	1.6141	0.02390	0.1045	0.00091	1833	17	976	9	641	5	52.3	186.0
131	a101	674.7	602.9	0.1793	0.00219	4.5107	0.04604	0.1825	0.00147	2646	12	1733	8	1081	8	60.3	144.8
132	a102	588.9	406.7	0.3513	0.00411	11.2606	0.06628	0.2325	0.00240	3713	10	2545	5	1347	13	88.9	175.6
133	a103	39.7	89.8	0.1471	0.00206	8.7554	0.10716	0.4318	0.00378	2312	14	2313	11	2314	17	0.0	-0.1
134	a104	1573.3	610.8	0.1492	0.00189	1.8160	0.01949	0.0883	0.00071	2337	12	1051	7	545	4	92.8	328.8
135	a105-cor	168.8	244.1	0.0946	0.00156	3.4332	0.05096	0.2631	0.00239	1521	18	1512	12	1506	12	0.4	1.0
136	a105	200.0	380.7	0.0937	0.00136	3.4075	0.04325	0.2639	0.00224	1501	16	1506	10	1510	11	-0.3	-0.6
137	a106	907.2	207.3	0.2493	0.00333	11.1864	0.07161	0.3254	0.00388	3180	12	2539	6	1816	19	39.8	75.1
138	a107	85.5	93.9	0.1625	0.00231	10.5016	0.13041	0.4688	0.00405	2482	14	2480	12	2478	18	0.1	0.2
139	a108	970.5	230.5	0.0497	0.00104	0.1973	0.00383	0.0288	0.00026	179	28	183	3	183	2	0.0	-2.2
140	a109	154.4	199.3	0.0898	0.00159	3.0476	0.04891	0.2461	0.00227	1422	19	1420	12	1418	12	0.1	0.3
141	a110	172.2	468.9	0.0515	0.00204	0.2938	0.01119	0.0414	0.00052	263	53	262	9	261	3	0.4	0.8
142	a110	188.1	468.3	0.0511	0.00261	0.2696	0.01328	0.0383	0.00057	244	68	242	11	242	4	0.0	0.8
143	a111	239.3	98.7	0.0621	0.00096	0.9518	0.01313	0.1112	0.00094	677	19	679	7	680	5	-0.1	-0.4
144	a111	460.6	182.0	0.0601	0.00128	0.8158	0.01617	0.0984	0.00093	609	27	606	9	605	5	0.2	0.7
145	a112	190.1	98.8	0.2140	0.00278	13.3429	0.14864	0.4524	0.00375	2936	12	2704	11	2406	17	12.4	22.0
146	a113	253.6	161.7	0.0547	0.00141	0.4796	0.01163	0.0636	0.00064	400	34	398	8	397	4	0.3	0.8
147	a113	410.8	224.3	0.0538	0.00131	0.3920	0.00897	0.0528	0.00052	364	32	336	7	332	3	1.2	9.6
148	a114	294.1	108.9	0.2390	0.00313	14.7644	0.16621	0.4481	0.00368	3113	12	2800	11	2387	16	17.3	30.4
149	a115	862.5	859.3	0.0513	0.00092	0.2718	0.00446	0.0385	0.00033	253	24	244	4	243	2	0.4	4.1
150	a116	106.3	118.4	0.1884	0.00260	13.6856	0.16571	0.5268	0.00448	2729	13	2728	11	2728	19	0.0	0.0
151	a117	252.1	902.3	0.0595	0.00180	0.7343	0.02114	0.0895	0.00102	586	39	559	12	552	6	1.3	6.2
152	a118	174.4	176.1	0.1287	0.00200	6.7656	0.09468	0.3812	0.00344	2081	16	2081	12	2082	16	0.0	0.0
153	a119	249.1	323.0	0.2581	0.00374	18.1368	0.23460	0.5098	0.00446	3235	13	2997	12	2656	19	12.8	21.8

Таблица 1. Продолжение

№ п/п	Номер анализа в пробе	U, г/г	Th, г/г	Измеренные отношения (с коррекцией на обыкновенный свинец)						Возраст, млн лет				D1, %	D2, %		
				<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	$\pm 1\sigma$	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	$\pm 1\sigma$	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	$\pm 1\sigma$	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	$\pm 1\sigma$	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	$\pm 1\sigma$			<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	$\pm 1\sigma$
154	a120-cor	229.3	359.8	0.0624	0.00160	0.9539	0.02312	0.1109	0.00117	688	31	680	12	678	7	0.3	1.5
155	a120-rim	431.8	690.0	0.0613	0.00122	0.8895	0.01643	0.1052	0.00098	650	24	646	9	645	6	0.2	0.8
156	a121	216.1	160.7	0.0630	0.00167	1.0014	0.02518	0.1153	0.00124	709	32	705	13	703	7	0.3	0.9
K22-002																	
1	a001	138.0	223.2	0.1171	0.00134	4.9253	0.03233	0.3051	0.00291	1912	12	1807	6	1716	14	5.3	11.4
2	a002-cor	88.1	127.1	0.0928	0.00126	3.3212	0.04287	0.2595	0.00256	1485	15	1486	10	1487	13	-0.1	-0.1
3	a002-rim	269.6	182.8	0.0906	0.00113	3.0650	0.03623	0.2453	0.00236	1439	14	1424	9	1414	12	0.7	1.8
4	a003	94.4	138.8	0.0516	0.00156	0.2953	0.00870	0.0415	0.00047	267	41	263	7	262	3	0.4	1.9
5	a004	159.8	209.2	0.0765	0.00103	1.0709	0.01379	0.1016	0.00099	1107	15	739	7	624	6	18.4	77.4
6	a005	809.7	688.4	0.0526	0.00112	0.3489	0.00715	0.0482	0.00051	309	29	304	5	303	3	0.3	2.0
7	a006-cor	334.7	358.3	0.1023	0.00127	4.1541	0.04911	0.2946	0.00285	1666	13	1665	10	1665	14	0.0	0.1
8	a006-rim	493.6	331.1	0.0990	0.00131	3.7595	0.04754	0.2753	0.00271	1606	14	1584	10	1568	14	1.0	2.4
9	a007	97.2	225.6	0.2140	0.00270	17.0353	0.20577	0.5775	0.00570	2936	11	2937	12	2939	23	-0.1	-0.1
10	a008	95.8	57.5	0.1023	0.00135	4.1515	0.05256	0.2945	0.00290	1665	14	1665	10	1664	14	0.1	0.1
11	a009-cor	98.3	75.8	0.1065	0.00142	4.5540	0.05855	0.3102	0.00307	1740	14	1741	11	1742	15	-0.1	-0.1
12	a009-rim	246.4	194.3	0.1016	0.00145	4.0954	0.05607	0.2924	0.00295	1654	15	1653	11	1653	15	0.0	0.1
13	a010-cor	635.0	230.4	0.0500	0.00080	0.1936	0.00301	0.0281	0.00028	193	22	180	3	179	2	0.6	7.8
14	a010-rim	914.8	202.8	0.0494	0.00087	0.1807	0.00307	0.0265	0.00027	168	24	169	3	169	2	0.0	-0.6
15	a011	581.8	92.6	0.1724	0.00224	4.2385	0.05263	0.1783	0.00175	2581	13	1682	10	1058	10	59.0	144.0
16	a012	969.8	808.2	0.0615	0.00099	0.4142	0.00316	0.0488	0.00071	658	19	352	2	307	4	14.7	114.3
17	a013	359.4	309.5	0.0513	0.00083	0.2825	0.00442	0.0399	0.00040	254	21	253	3	252	2	0.4	0.8
18	a014	219.3	206.4	0.1294	0.00175	6.8171	0.08770	0.3821	0.00376	2090	14	2088	11	2086	18	0.1	0.2
19	a015	102.3	105.9	0.0736	0.00114	1.7619	0.02616	0.1737	0.00175	1030	18	1032	10	1032	10	0.0	-0.2
20	a016	1230.7	834.6	0.1191	0.00165	1.3036	0.01712	0.0794	0.00078	1943	14	847	8	492	5	72.2	294.9
21	a017-cor	235.5	96.7	0.0571	0.00108	0.6257	0.01131	0.0795	0.00082	496	24	493	7	493	5	0.0	0.6
22	a017-rim	405.4	226.8	0.0559	0.00097	0.5558	0.00923	0.0721	0.00073	448	22	449	6	449	4	0.0	-0.2
23	a018	193.1	182.0	0.0507	0.00105	0.2526	0.00504	0.0362	0.00037	226	28	229	4	229	2	0.0	-1.3
24	a019	376.6	355.2	0.1939	0.00279	9.6626	0.13116	0.3615	0.00354	2775	14	2403	12	1989	17	20.8	39.5
25	a020	991.6	1261.6	0.0562	0.00086	0.5761	0.00831	0.0743	0.00073	461	20	462	5	462	4	0.0	-0.2
26	a021	56.8	60.2	0.1719	0.00214	11.5505	0.13703	0.4875	0.00475	2576	12	2569	11	2560	21	0.4	0.6
27	a022	211.2	226.5	0.0510	0.00158	0.2465	0.00742	0.0351	0.00041	239	41	224	6	222	3	0.9	7.7

Таблица 1. Продолжение

№ п/п	Номер анализа в пробе	U, г/г	Th, г/г	Измеренные отношения (с коррекцией на обыкновенный свинец)						Возраст, млн лет						D1, %	D2, %
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$		
28	a023	97.8	81.3	0.1282	0.00163	6.7127	0.08130	0.3799	0.00370	2073	13	2074	11	2076	17	-0.1	-0.1
29	a024	81.1	75.2	0.0813	0.00114	2.3537	0.03157	0.2099	0.00208	1230	16	1229	10	1228	11	0.1	0.2
30	a025	7.3	0.5	0.0623	0.00368	0.9819	0.05719	0.1142	0.00159	685	73	695	29	697	9	-0.3	-1.7
31	a026	621.8	454.5	0.1015	0.00130	2.6150	0.03227	0.1870	0.00182	1651	14	1305	9	1105	10	18.1	49.4
32	a027-cor	76.3	88.6	0.0732	0.00133	1.7165	0.03003	0.1700	0.00180	1020	22	1015	11	1012	10	0.3	0.8
33	a027-rim	53.9	25.4	0.0676	0.00138	1.2940	0.02552	0.1389	0.00150	855	24	843	11	838	8	0.6	2.0
34	a028	114.7	121.9	0.1107	0.00151	4.9157	0.06468	0.3222	0.00321	1810	14	1805	11	1800	16	0.3	0.6
35	a029-cor	63.0	101.9	0.1239	0.00180	6.2898	0.08833	0.3681	0.00376	2013	15	2017	12	2021	18	-0.2	-0.4
36	a029-rim	37.8	63.3	0.1214	0.00212	6.0025	0.10156	0.3588	0.00399	1976	18	1976	15	1976	19	0.0	0.0
37	a030	149.4	150.7	0.0806	0.00142	1.8214	0.01785	0.1640	0.00250	1211	20	1053	6	979	14	7.6	23.7
38	a031	128.1	197.5	0.0688	0.00102	2.2898	0.00338	0.0306	0.00033	892	18	258	3	194	2	33.0	359.8
39	a032-cor1	175.5	88.6	0.1106	0.00148	4.9141	0.06391	0.3224	0.00329	1808	14	1805	11	1802	16	0.2	0.3
40	a032-cor2	123.8	64.8	0.1103	0.00162	5.3544	0.07630	0.3522	0.00372	1804	16	1878	12	1945	18	-3.4	-7.2
41	a033-cor	55.8	87.6	0.0611	0.00176	0.8895	0.02487	0.1057	0.00128	641	36	646	13	647	7	-0.2	-0.9
42	a033-rim	66.2	90.5	0.0597	0.00150	0.7911	0.01940	0.0961	0.00110	592	31	592	11	592	6	0.0	0.0
43	a034	127.3	187.6	0.0722	0.00110	1.6221	0.02386	0.1630	0.00168	991	17	979	9	973	9	0.6	1.8
44	a035-rim1	161.6	77.7	0.0907	0.00126	3.1216	0.04197	0.2495	0.00254	1441	15	1438	10	1436	13	0.1	0.3
45	a035-rim2	183.8	164.1	0.0901	0.00126	3.1012	0.04196	0.2498	0.00254	1427	15	1433	10	1437	13	-0.3	-0.7
46	a036	476.7	61.7	0.1448	0.00186	7.8588	0.09788	0.3937	0.00394	2285	13	2215	11	2140	18	3.5	6.8
47	a037-cor	55.1	71.0	0.1998	0.00267	15.1398	0.19644	0.5495	0.00564	2825	13	2824	12	2823	23	0.0	0.1
48	a037-rim	93.3	104.5	0.1945	0.00262	14.4404	0.18894	0.5386	0.00555	2780	13	2779	12	2777	23	0.1	0.1
49	a038-cor	396.8	697.4	0.0532	0.00088	0.3895	0.00624	0.0531	0.00054	336	21	334	5	334	3	0.0	0.6
50	a038-rim	677.3	988.6	0.0528	0.00079	0.3737	0.00539	0.0514	0.00052	319	20	322	4	323	3	-0.3	-1.2
51	a039-cor	106.1	122.8	0.0624	0.00115	0.9607	0.01712	0.1118	0.00118	686	23	684	9	683	7	0.1	0.4
52	a039-rim	105.6	149.5	0.0610	0.00124	0.8881	0.01747	0.1055	0.00114	641	25	645	9	647	7	-0.3	-0.9
53	a040-cor	269.0	494.3	0.0534	0.00106	0.4044	0.00780	0.0549	0.00058	348	25	345	6	344	4	0.3	1.2
54	a040-rim	267.7	362.6	0.0531	0.00102	0.3915	0.00732	0.0535	0.00056	334	25	335	5	336	3	-0.3	-0.6
55	a041-cor	605.9	1154.8	0.0546	0.00086	0.4631	0.00705	0.0616	0.00062	394	20	386	5	385	4	0.3	2.3
56	a041-rim	587.5	741.6	0.0541	0.00077	0.4472	0.00616	0.0599	0.00059	377	18	375	4	375	4	0.0	0.5
57	a042	37.0	50.5	0.1132	0.00154	5.1901	0.06788	0.3325	0.00337	1852	14	1851	11	1851	16	0.0	0.1
58	a043	135.9	4.7	0.0744	0.00101	1.8200	0.02386	0.1774	0.00177	1053	16	1053	9	1052	10	0.1	0.1

Таблица 1. Продолжение

№ п/п	Номер анализа в пробе	U, г/г	Th, г/г	Измеренные отношения (с коррекцией на обыкновенный свинец)						Возраст, млн лет				D1, %	D2, %		
				<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	$\pm 1\sigma$	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	$\pm 1\sigma$	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	$\pm 1\sigma$	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	$\pm 1\sigma$	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	$\pm 1\sigma$			<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	$\pm 1\sigma$
59	a044-cor	161.4	154.4	0.0601	0.00112	0.8136	0.01469	0.0982	0.00103	606	23	604	8	604	6	0.0	0.3
60	a044-rim	202.9	169.0	0.0596	0.00124	0.7720	0.01553	0.0940	0.00102	589	26	581	9	579	6	0.3	1.7
61	a045	327.6	311.1	0.0522	0.00080	0.3345	0.00495	0.0465	0.00046	294	20	293	4	293	3	0.0	0.3
62	a046-cor	2.1	0.0	0.1365	0.00614	7.5547	0.33134	0.4014	0.00804	2184	45	2179	39	2175	37	0.2	0.4
63	a047	535.8	352.3	0.0937	0.00117	2.5347	0.03053	0.1962	0.00192	1502	14	1282	9	1155	10	11.0	30.0
64	a048-cor	48.2	55.7	0.0787	0.00184	2.1502	0.04866	0.1983	0.00235	1163	27	1165	16	1166	13	-0.1	-0.3
65	a048-rim	61.0	75.1	0.0753	0.00136	1.8597	0.03240	0.1792	0.00191	1076	21	1067	12	1062	10	0.5	1.3
66	a049	319.6	160.2	0.2154	0.00272	17.1652	0.20929	0.5780	0.00568	2947	12	2944	12	2940	23	0.1	0.2
67	a050	353.4	377.8	0.0514	0.00088	0.2899	0.00480	0.0409	0.00042	259	22	258	4	258	3	0.0	0.4
68	a051-cor1	60.6	62.1	0.0755	0.00151	1.8932	0.03677	0.1820	0.00203	1081	23	1079	13	1078	11	0.1	0.3
69	a051-cor2	36.1	65.0	0.0778	0.00228	2.0040	0.05704	0.1868	0.00247	1142	34	1117	19	1104	13	1.2	3.4
70	a051-rim	70.0	88.3	0.0712	0.00242	1.5730	0.05178	0.1603	0.00225	962	40	960	20	959	13	0.1	0.3
71	a052-cor	261.4	125.0	0.1127	0.00144	4.8697	0.06046	0.3134	0.00315	1844	13	1797	10	1757	15	2.3	5.0
72	a052-rim	187.0	96.7	0.1089	0.00228	4.7101	0.09534	0.3137	0.00385	1781	22	1769	17	1759	19	0.6	1.3
73	a053-cor	115.6	189.7	0.2187	0.00276	17.5799	0.21608	0.5829	0.00598	2971	12	2967	12	2961	24	0.2	0.3
74	a053-cor	121.0	153.6	0.2219	0.00284	18.0562	0.22559	0.5902	0.00612	2995	12	2993	12	2990	25	0.1	0.2
75	a054-cor	587.1	793.5	0.0534	0.00089	0.3932	0.00634	0.0535	0.00055	344	21	337	5	336	3	0.3	2.4
76	a054-rim	458.8	377.2	0.0529	0.00090	0.3755	0.00618	0.0514	0.00053	326	22	324	5	323	3	0.3	0.9
77	a055-cor	343.0	324.3	0.0532	0.00095	0.3966	0.00688	0.0541	0.00056	338	23	339	5	339	3	0.0	-0.3
78	a055-rim1	501.9	497.9	0.0523	0.00104	0.3368	0.00655	0.0467	0.00050	297	27	295	5	294	3	0.3	1.0
79	a055-rim2	525.9	506.0	0.0530	0.00086	0.3728	0.00591	0.0511	0.00052	328	21	322	4	321	3	0.3	2.2
80	a056	110.6	36.6	0.1127	0.00153	5.1376	0.06805	0.3306	0.00339	1844	14	1842	11	1841	16	0.1	0.2
81	a057-cor	192.1	239.7	0.0521	0.00173	0.3325	0.01076	0.0463	0.00058	288	44	291	8	292	4	-0.3	-1.4
82	a057-rim1	169.1	185.1	0.0517	0.00141	0.2952	0.00783	0.0414	0.00048	274	36	263	6	261	3	0.8	5.0
83	a057-rim2	123.5	143.9	0.0521	0.00184	0.3276	0.01127	0.0456	0.00058	290	46	288	9	288	4	0.0	0.7
84	a058-cor	93.4	102.4	0.0653	0.00128	1.1665	0.02223	0.1295	0.00141	785	24	785	10	785	8	0.0	0.0
85	a058-rim	114.4	146.4	0.0639	0.00113	1.0716	0.01843	0.1217	0.00129	737	22	740	9	740	7	0.0	-0.4
86	a059-cor	40.5	58.7	0.1175	0.00350	5.6682	0.16410	0.3498	0.00548	1919	31	1927	25	1934	26	-0.4	-0.8
87	a059-rim	81.6	156.4	0.1117	0.00154	5.0447	0.06806	0.3275	0.00337	1828	15	1827	11	1826	16	0.1	0.1
88	a060-cor	36.1	33.2	0.1968	0.00293	14.7824	0.21554	0.5447	0.00600	2800	14	2801	14	2803	25	-0.1	-0.1
89	a061-cor	19.1	25.1	0.0916	0.00174	3.1966	0.05886	0.2533	0.00280	1458	20	1456	14	1455	14	0.1	0.2

Таблица 1. Продолжение

№ п/п	Номер анализа в пробе	U, г/г	Th, г/г	Измеренные отношения (с коррекцией на обыкновенный свинец)						Возраст, млн лет				D1, %	D2, %		
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$
90	a061-rim	27.5	30.4	0.0868	0.00204	2.8070	0.06388	0.2345	0.00284	1357	26	1357	17	1358	15	-0.1	-0.1
91	a062-cor	66.4	60.0	0.1349	0.00199	7.4372	0.10599	0.3998	0.00415	2163	15	2165	13	2168	19	-0.1	-0.2
92	a063-cor	140.5	410.3	0.2110	0.00288	16.6238	0.22011	0.5714	0.00575	2913	13	2913	13	2913	24	0.0	0.0
93	a064-cor	722.9	245.2	0.0546	0.00085	0.4741	0.00712	0.0630	0.00064	395	20	394	5	394	4	0.0	0.3
94	a064-rim1	1375.5	339.7	0.0535	0.00087	0.4095	0.00648	0.0555	0.00057	349	21	349	5	348	3	0.3	0.3
95	a064-rim2	843.5	136.2	0.0544	0.00086	0.4638	0.00715	0.0619	0.00063	386	21	387	5	387	4	0.0	-0.3
96	a065-cor	289.7	274.6	0.1057	0.00149	4.1503	0.05674	0.2847	0.00287	1727	15	1664	11	1615	14	3.0	6.9
97	a065-rim	221.1	229.8	0.1043	0.00158	4.1521	0.06094	0.2887	0.00298	1702	16	1665	12	1635	15	1.8	4.1
98	a066-cor	226.1	314.3	0.1119	0.00170	5.2408	0.07713	0.3396	0.00351	1831	16	1859	13	1885	17	-1.4	-2.9
99	a066-rim	209.8	214.9	0.1110	0.00162	4.9764	0.07051	0.3252	0.00331	1816	16	1815	12	1815	16	0.0	0.1
100	a067-cor	449.9	319.7	0.0569	0.00098	0.6121	0.01024	0.0781	0.00081	486	22	485	6	485	5	0.0	0.2
101	a067-rim1	1002.2	556.2	0.0555	0.00095	0.5194	0.00862	0.0679	0.00070	432	22	425	6	423	4	0.5	2.1
102	a067-rim2	617.2	431.4	0.0565	0.00099	0.5935	0.01006	0.0762	0.00079	473	22	473	6	473	5	0.0	0.0
103	a068-cor	120.9	339.0	0.1291	0.00215	6.9084	0.11200	0.3881	0.00421	2086	17	2100	14	2114	20	-0.7	-1.3
104	a068-rim	121.8	298.4	0.1261	0.00195	6.4844	0.09757	0.3731	0.00389	2044	15	2044	13	2044	18	0.0	0.0
105	a069-cor	92.0	125.3	0.0619	0.00152	0.9433	0.02256	0.1105	0.00128	671	30	675	12	676	7	-0.1	-0.7
106	a069-rim1	377.2	548.0	0.0577	0.00127	0.6747	0.01440	0.0848	0.00094	519	28	524	9	525	6	-0.2	-1.1
107	a069-rim2	177.6	290.6	0.0602	0.00106	0.8220	0.01407	0.0991	0.00104	609	22	609	8	609	6	0.0	0.0
108	a070	146.0	133.1	0.1980	0.00305	13.6698	0.20528	0.5008	0.00519	2810	15	2727	14	2617	22	4.2	7.4
109	a071-cor	102.1	173.2	0.0589	0.00134	0.7445	0.01644	0.0916	0.00103	564	29	565	10	565	6	0.0	-0.2
110	a071-rim	106.2	132.5	0.0582	0.00109	0.7021	0.01278	0.0876	0.00093	536	24	540	8	541	6	-0.2	-0.9
111	a072	557.9	1107.6	0.1526	0.00167	2.4968	0.01724	0.1187	0.00108	2376	11	1271	5	723	6	75.8	228.6
112	a073	275.1	359.9	0.0515	0.00094	0.2970	0.00525	0.0418	0.00044	262	24	264	4	264	3	0.0	-0.8
113	a074-cor1	224.1	92.5	0.1005	0.00128	4.0001	0.04947	0.2887	0.00289	1633	14	1634	10	1635	14	-0.1	-0.1
114	a074-cor2	159.6	99.4	0.0997	0.00150	3.9398	0.05748	0.2868	0.00302	1618	16	1622	12	1625	15	-0.2	-0.4
115	a075-cor	278.4	747.7	0.0519	0.00098	0.3209	0.00587	0.0448	0.00047	283	26	283	5	283	3	0.0	0.0
116	a075-rim	466.8	1027.6	0.0517	0.00104	0.3072	0.00598	0.0431	0.00046	273	27	272	5	272	3	0.0	0.4
117	a076	368.5	510.6	0.1023	0.00128	4.1611	0.05045	0.2950	0.00293	1667	13	1666	10	1666	15	0.0	0.1
118	a077-cor1	251.5	134.3	0.0871	0.00115	2.8264	0.03621	0.2353	0.00236	1363	14	1363	10	1362	12	0.1	0.1
119	a077-cor2	185.1	116.3	0.0876	0.00135	2.9812	0.04439	0.2468	0.00258	1374	17	1403	11	1422	13	-1.3	-3.4
120	a078	54.5	72.5	0.1887	0.00288	13.0032	0.19261	0.5000	0.00555	2730	15	2680	14	2614	24	2.5	4.4

Таблица 1. Продолжение

№ п/п	Номер анализа в пробе	U, г/г	Th, г/г	Измеренные отношения (с коррекцией на обыкновенный свинец)						Возраст, млн лет						D1, %	D2, %
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$		
121	a079	115.3	320.7	0.0601	0.00095	0.8222	0.01265	0.0993	0.00102	607	20	609	7	610	6	-0.2	-0.5
122	a080	181.4	408.6	0.3000	0.00443	12.4020	0.09387	0.2998	0.00398	3470	13	2635	7	1690	20	55.9	105.3
123	a081	220.5	153.6	0.0948	0.00115	3.5005	0.04118	0.2677	0.00265	1525	13	1527	9	1529	13	-0.1	-0.3
124	a082-cor	212.9	147.2	0.0531	0.00112	0.3908	0.00798	0.0533	0.00057	335	27	335	6	335	3	0.0	0.0
125	a082-rim1	458.4	299.4	0.0520	0.00105	0.3249	0.00638	0.0453	0.00048	286	27	286	5	286	3	0.0	0.0
126	a082-rim2	582.4	740.4	0.0524	0.00084	0.3502	0.00545	0.0484	0.00049	304	21	305	4	305	3	0.0	-0.3
127	a083	98.2	77.0	0.1952	0.00238	14.5423	0.17185	0.5405	0.00537	2786	11	2786	11	2785	22	0.0	0.0
128	a084-cor	67.4	30.0	0.0828	0.00134	2.3908	0.03748	0.2096	0.00221	1263	18	1240	11	1226	12	1.1	3.0
129	a084-rim	105.8	50.3	0.0805	0.00138	2.2787	0.03769	0.2054	0.00220	1209	19	1206	12	1204	12	0.2	0.4
130	a085	477.3	616.3	0.1855	0.00231	6.0453	0.07261	0.2364	0.00233	2703	12	1982	10	1368	12	44.9	97.6
131	a086-cor	44.6	52.6	0.1268	0.00200	6.5568	0.10023	0.3750	0.00406	2054	16	2054	13	2053	19	0.0	0.0
132	a086-rim	53.4	62.1	0.1264	0.00174	6.5257	0.08698	0.3744	0.00382	2049	14	2049	12	2050	18	0.0	0.0
133	a087-cor	71.7	94.4	0.0950	0.00150	3.5052	0.05330	0.2675	0.00281	1529	17	1528	12	1528	14	0.0	0.1
134	a087-rim1	175.3	318.3	0.0908	0.00174	3.1246	0.05797	0.2497	0.00282	1441	20	1439	14	1437	15	0.1	0.3
135	a087-rim2	132.2	239.9	0.0929	0.00145	3.3250	0.05029	0.2597	0.00272	1485	17	1487	12	1488	14	-0.1	-0.2
136	a087-rim3	52.5	54.6	0.0937	0.00182	3.3953	0.06391	0.2627	0.00299	1503	21	1503	15	1504	15	-0.1	-0.1
137	a088-cor1	188.9	184.3	0.1253	0.00178	6.3970	0.08759	0.3704	0.00379	2032	14	2032	12	2031	18	0.0	0.0
138	a088-cor2	159.6	144.1	0.1261	0.00190	6.4909	0.09467	0.3734	0.00393	2044	15	2045	13	2045	18	0.0	0.0
139	a089-cor	80.4	58.9	0.1339	0.00202	7.3024	0.10630	0.3956	0.00415	2149	15	2149	13	2149	19	0.0	0.0
140	a089-rim	142.9	101.9	0.1271	0.00174	6.5826	0.08670	0.3756	0.00376	2059	14	2057	12	2055	18	0.1	0.2
141	a090-cor	373.2	227.2	0.0855	0.00124	2.6971	0.03782	0.2289	0.00232	1326	16	1328	10	1328	12	0.0	-0.2
142	a090-rim	402.6	247.6	0.0850	0.00125	2.6591	0.03770	0.2268	0.00230	1316	17	1317	10	1318	12	-0.1	-0.2
143	a091-cor	319.5	208.8	0.0539	0.00088	0.4355	0.00693	0.0586	0.00061	369	21	367	5	367	4	0.0	0.5
144	a091-rim	800.6	528.0	0.0523	0.00099	0.3444	0.00633	0.0477	0.00051	300	25	300	5	301	3	-0.3	-0.3
145	a092	163.3	205.9	0.2091	0.00274	16.3691	0.20921	0.5680	0.00576	2898	13	2899	12	2899	24	0.0	0.0
146	a093-cor	67.2	101.0	0.0918	0.00146	3.2246	0.04992	0.2550	0.00271	1462	18	1463	12	1464	14	-0.1	-0.1
147	a093rim	89.9	138.9	0.0907	0.00161	3.1284	0.05389	0.2502	0.00276	1440	20	1440	13	1440	14	0.0	0.0
148	a094	137.0	128.2	0.1294	0.00174	6.8081	0.08908	0.3815	0.00387	2090	14	2087	12	2083	18	0.2	0.3
149	a095	120.1	189.2	0.1982	0.00266	14.9207	0.19499	0.5461	0.00554	2811	13	2810	12	2809	23	0.0	0.1
150	a096	43.6	37.5	0.0728	0.00130	1.6993	0.02950	0.1694	0.00181	1008	21	1008	11	1009	10	-0.1	-0.1
151	a097	307.9	1516.7	0.5603	0.00896	12.9880	0.09873	0.1681	0.00244	4408	14	2679	7	1002	13	167.4	339.9

Таблица 1. Продолжение

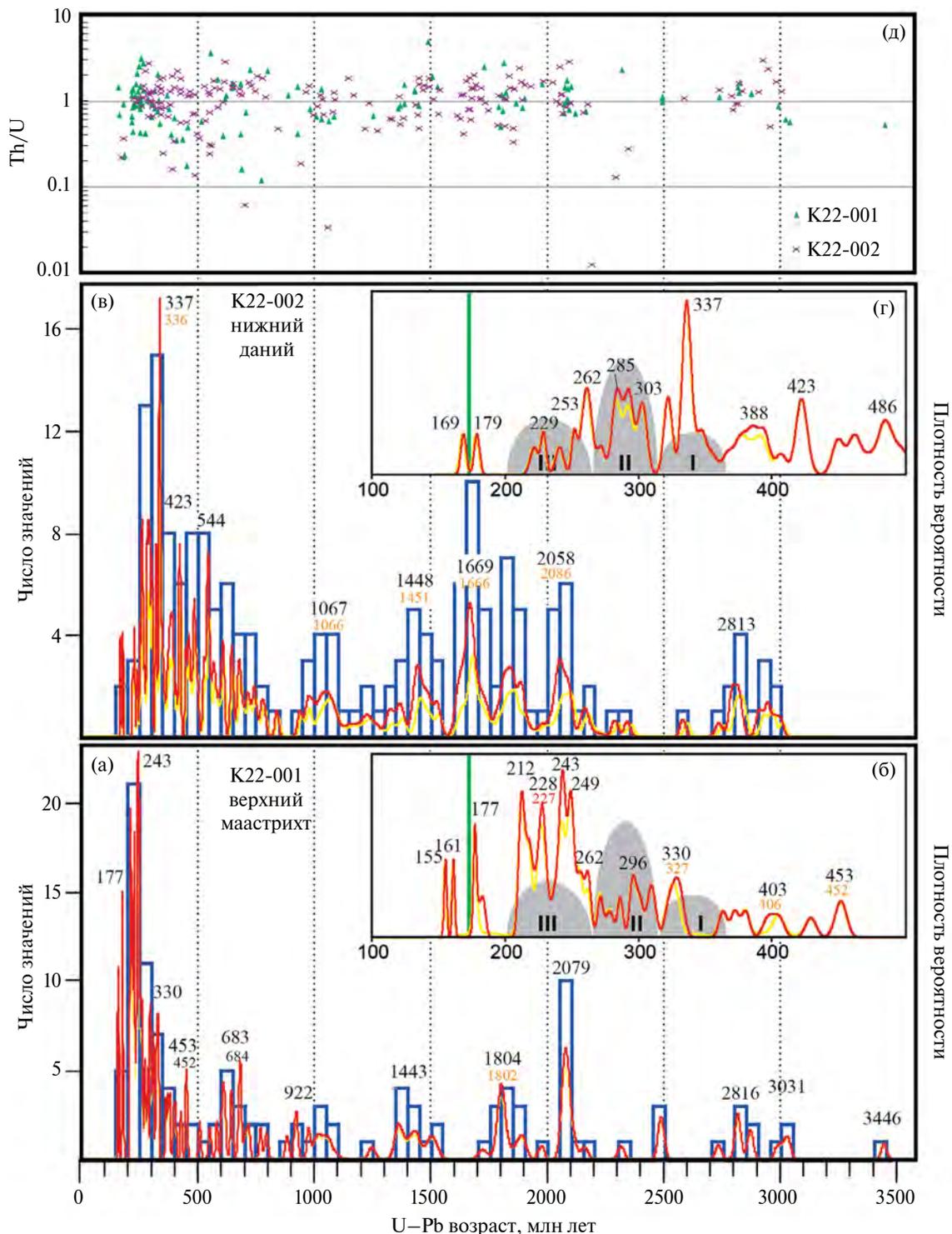
№ п/п	Номер анализа в пробе	U, г/г	Th, г/г	Измеренные отношения (с коррекцией на обыкновенный свинец)						Возраст, млн лет				D1, %	D2, %		
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$
152	a098	346.4	371.1	0.1045	0.00147	4.3634	0.05950	0.3028	0.00308	<b>1706</b>	<b>15</b>	1705	11	1705	15	0.0	0.1
153	a099	137.0	188.4	0.1028	0.00150	4.2026	0.05936	0.2967	0.00304	<b>1675</b>	<b>16</b>	1675	12	1675	15	0.0	0.0
154	a100-cor	161.5	189.4	0.1004	0.00169	3.9874	0.06522	0.2881	0.00311	<b>1631</b>	<b>18</b>	1632	13	1632	16	0.0	-0.1
155	a100-rim	209.8	241.1	0.0999	0.00150	3.8875	0.05648	0.2823	0.00291	<b>1622</b>	<b>16</b>	1611	12	1603	15	0.5	1.2
156	a101	269.0	50.4	0.0701	0.00086	1.5084	0.01796	0.1560	0.00155	932	14	934	7	935	9	-0.1	-0.3
157	a102-cor	158.0	282.6	0.0554	0.00112	0.5189	0.01021	0.0679	0.00073	430	26	424	7	423	4	0.2	1.7
158	a102-rim	433.8	948.6	0.0548	0.00085	0.4919	0.00737	0.0651	0.00066	404	21	406	5	407	4	-0.2	-0.7
159	a103-cor	62.2	87.3	0.1045	0.00186	4.3379	0.07491	0.3011	0.00341	<b>1706</b>	<b>19</b>	1701	14	1697	17	0.2	0.5
160	a103-rim	122.5	184.7	0.1033	0.00132	4.2503	0.05282	0.2983	0.00301	<b>1685</b>	<b>13</b>	1684	10	1683	15	0.1	0.1
161	a104-cor	236.5	315.9	0.0552	0.00103	0.5141	0.00929	0.0676	0.00071	421	24	421	6	421	4	0.0	0.0
162	a104-rim1	466.8	416.7	0.0542	0.00097	0.4527	0.00786	0.0606	0.00064	380	23	379	5	379	4	0.0	0.3
163	a104-rim2	352.3	496.8	0.0545	0.00089	0.4746	0.00751	0.0631	0.00065	393	21	394	5	395	4	-0.3	-0.5
164	a105-cor	553.4	134.6	0.0584	0.00082	0.7087	0.00966	0.0880	0.00089	545	17	544	6	544	5	0.0	0.2
165	a106-cor	97.6	148.2	0.1159	0.00192	5.5036	0.08872	0.3444	0.00383	<b>1894</b>	<b>18</b>	1901	14	1908	18	-0.4	-0.7
166	a106-rim	166.8	273.3	0.1151	0.00149	5.3791	0.06759	0.3389	0.00343	<b>1882</b>	<b>13</b>	1882	11	1881	17	0.1	0.1
167	a107-cor	279.3	101.6	0.0573	0.00086	0.6367	0.00926	0.0806	0.00082	503	19	500	6	500	5	0.0	0.6
168	a107-rim	348.0	48.0	0.0569	0.00106	0.6128	0.01106	0.0781	0.00083	488	23	485	7	485	5	0.0	0.6
169	a108	235.0	290.7	0.0519	0.00095	0.3195	0.00571	0.0447	0.00047	281	24	282	4	282	3	0.0	-0.4
170	a109	376.9	457.3	0.0531	0.00080	0.3928	0.00576	0.0536	0.00055	334	19	336	4	337	3	-0.3	-0.9
171	a110-cor	10.9	3.3	0.0586	0.00394	0.7234	0.04798	0.0896	0.00143	552	86	553	28	553	8	0.0	-0.2
172	a110-rim	184.7	57.1	0.0585	0.00116	0.7097	0.01369	0.0881	0.00095	547	25	545	8	544	6	0.2	0.6
173	a111-cor	199.6	368.1	0.1020	0.00167	4.1284	0.06564	0.2936	0.00322	<b>1661</b>	<b>17</b>	1660	13	1659	16	0.1	0.1
174	a112	245.5	349.2	0.0614	0.00099	0.8895	0.01398	0.1050	0.00110	654	19	646	8	644	6	0.3	1.6
175	a113-cor	121.3	142.0	0.0566	0.00148	0.6078	0.01542	0.0779	0.00091	474	33	482	10	484	5	-0.4	-2.1
176	a113-rim1	142.1	169.9	0.0553	0.00152	0.5174	0.01380	0.0679	0.00081	425	35	423	9	423	5	0.0	0.5
177	a113-rim2	95.9	110.0	0.0563	0.00153	0.5786	0.01532	0.0745	0.00088	465	34	464	10	463	5	0.2	0.4
178	a114-cor	273.9	278.0	0.1153	0.00166	5.2660	0.07373	0.3312	0.00349	<b>1885</b>	<b>15</b>	1863	12	1844	17	1.0	2.2
179	a114-rim	165.2	390.8	0.1146	0.00177	5.2901	0.07968	0.3350	0.00363	<b>1873</b>	<b>16</b>	1867	13	1862	18	0.3	0.6
180	a115-cor	216.3	426.2	0.1028	0.00132	4.2226	0.05276	0.2981	0.00301	<b>1675</b>	<b>14</b>	1678	10	1682	15	-0.2	-0.4
181	a115-rim	157.5	262.6	0.1012	0.00173	4.0305	0.06689	0.2888	0.00320	<b>1647</b>	<b>18</b>	1640	14	1636	16	0.2	0.7
182	a116	558.8	571.8	0.0509	0.00148	0.2674	0.00756	0.0381	0.00046	236	39	241	6	241	3	0.0	-2.1

Таблица 1. Окончание

№ п/п	Номер анализа в пробе	U, г/г	Th, г/г	Измеренные отношения (с коррекцией на обыкновенный свинец)						Возраст, млн лет				D1, %	D2, %		
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$
183	a117-cor	326.7	239.2	0.0585	0.00101	0.7130	0.01195	0.0884	0.00093	548	22	547	7	546	6	0.2	0.4
184	a117-rim1	271.5	305.4	0.0560	0.00132	0.5599	0.01286	0.0726	0.00082	452	30	451	8	452	5	-0.2	0.0
185	a117-rim2	348.2	205.2	0.0580	0.00113	0.6821	0.01290	0.0853	0.00092	531	24	528	8	528	5	0.0	0.6
186	a118-cor	67.2	94.0	0.0591	0.00132	0.7541	0.01642	0.0925	0.00103	572	28	571	10	570	6	0.2	0.4
187	a118-rim	106.9	125.2	0.0585	0.00227	0.7103	0.02674	0.0881	0.00125	548	49	545	16	544	7	0.2	0.7
188	a119-cor	112.7	83.3	0.0751	0.00127	1.8767	0.03068	0.1812	0.00193	1072	20	1073	11	1074	11	-0.1	-0.2
189	a119-rim1	167.5	114.2	0.0721	0.00128	1.6493	0.02841	0.1660	0.00179	988	21	989	11	990	10	-0.1	-0.2
190	a119-rim2	142.8	98.6	0.0737	0.00140	1.7749	0.03271	0.1746	0.00192	1034	21	1036	12	1037	11	-0.1	-0.3
191	a120-cor	174.3	137.9	0.1018	0.00147	3.9900	0.05592	0.2842	0.00294	1658	16	1632	11	1612	15	1.2	2.9
192	a120-rim	174.3	137.9	0.1018	0.00147	3.9900	0.05592	0.2842	0.00294	1658	15	1632	11	1612	15	1.2	2.9
193	a121-cor	342.8	555.0	0.0632	0.00119	1.0176	0.01851	0.1168	0.00126	715	23	713	9	712	7	0.1	0.4
194	a121-rim	309.3	372.9	0.0625	0.00118	0.9479	0.01742	0.1100	0.00119	692	24	677	9	673	7	0.6	2.8
195	a122	58.8	16.4	0.1493	0.00210	8.9918	0.12258	0.4368	0.00451	2338	14	2337	12	2336	20	0.0	0.1
196	a123-cor	83.0	149.2	0.0649	0.00145	1.1391	0.02468	0.1272	0.00144	772	27	772	12	772	8	0.0	0.0
197	a123-rim1	108.7	159.4	0.0635	0.00138	1.0399	0.02196	0.1189	0.00133	724	27	724	11	724	8	0.0	0.0
198	a123-rim2	73.1	140.1	0.0643	0.00159	1.0908	0.02618	0.1230	0.00144	753	30	749	13	748	8	0.1	0.7
199	a124	255.3	292.8	0.1089	0.00153	4.7822	0.06532	0.3184	0.00324	1782	15	1782	11	1782	16	0.0	0.0
200	a125-cor	384.2	316.0	0.0536	0.00097	0.4186	0.00732	0.0566	0.00060	356	24	355	5	355	4	0.0	0.3
201	a125-rim	648.1	528.0	0.0532	0.00087	0.3938	0.00623	0.0537	0.00055	339	22	337	5	337	3	0.0	0.6

Примечания. Анализы выполнены в Центре коллективного пользования Лаборатории химико-аналитических исследований ГИН РАН методом LA-ICP-MS, аналитики А.С. Дубенский, К.Г. Ерофеева, В.С. Шешуков. Полуколичественным методом выделены значения, принятые за возраст циркона (при возрасте < 1 млрд лет для вычисления возраста использованы отношения  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ , при возрасте  $\geq 1$  млрд лет – отношения  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ). Подчеркнуты минимальный и максимальный возраст зерен детритового циркона в пробе. D1 и D2 – дискордантности датировок ( $D1 = 100\% \times (\text{возраст } ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}) / \text{возраст } (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) - 1$ ), ( $D2 = 100\% \times (\text{возраст } ^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}) / \text{возраст } (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) - 1$ ). В гистограммах и КПВ учитывались анализы со степенью дискордантности  $-10\% < D1, D2 < 10\%$  (отброшенные анализы помечены серым фоном). Суффиксы в номере анализа: cor – ядро, rim – центральная часть, rim – оболочка.

Калибровка изотопных измерений проводилась по внешнему стандарту с использованием циркона GJ-1 [Jackson et al., 2004; Elhoul et al., 2006], качество анализа оценивалось путем последовательного измерения неизвестных образцов и контрольных стандартов циркона 91500 [Wiedenbeck et al., 2004; Yuan et al., 2008] и Plesovice [Sláma et al., 2008] с аттестованными по изотопному отношению  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  значениями возраста. Для циркона GJ-1, 91500 и Plesovice в ходе измерений получены средневзвешенные оценки возраста ( $\pm 1\sigma$ ) 600.5  $\pm$  1.4 ( $n = 48$ ), 1064  $\pm$  12 ( $n = 12$ ), 337  $\pm$  2 ( $n = 12$ ), 1061  $\pm$  11 ( $n = 12$ ), 338  $\pm$  2 ( $n = 12$ ) млн лет для проб K22-001 и K22-002 соответственно. Эти значения в пределах ошибки измерения соответствуют аттестованному по изотопному отношению  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  средневзвешенным значениями возраста ( $\pm 2\sigma$ ) 601.9  $\pm$  0.4, 1063.5  $\pm$  0.4 и 337.2  $\pm$  0.1 млн лет, полученными методом CA-ID-TIMS [Horstwood et al., 2016]. Для коррекции на обыкновенный свинец использована программа ComPbCorr, составленная Т. Andersen (2008). Теоретические основы коррекции и формулы, по которым проводится коррекция, приведены в работе [Andersen, 2002]. Нарушения изотопных соотношений U-Th-Pb системы зерна циркона оцениваются, исходя из измеренных содеряний изотопов свинца  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$  и  $^{208}\text{Pb}$  в цирконе и известных изотопных соотношений между изотопами свинца, которые в программе приняты как  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.7$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.628$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.63$ .



**Рис. 6.** Результаты изучения U–Th–Pb изотопной системы зерен детритового циркона из проб K22-001 и K22-002, разрез “Гора Клеменьева”, Восточный Крым.

а, в – гистограммы и КПВ U–Pb изотопных возрастов зерен циркона из проб K22-001 (а) и K22-002 (в); на врезках (б, г) показаны увеличенные фрагменты КПВ для интервала возрастов 100–500 млн лет, числа – пиковые значения (млн лет); зелеными линиями показан возраст магматитов горного массива Карадаг [Роров et al., 2019], серые овалы маркируют три этапа каменноугольно-триасового магматизма в Причерноморье (этап I – 360–315 млн лет, этап II – 315–270 млн лет и этап III – 270–200 млн лет), по работе [Романюк и др., 2020]; (д) – диаграмма “Th/U–U–Pb возраст”. На (а)–(г) желтыми линиями показаны КПВ, построенные с заменой “двойных датировок” их средними арифметическими значениями, отличающиеся пиковые значения приведены ниже основных оранжевым шрифтом, пояснения см. текст.

Среди исследователей до сих пор нет единства в понимании времени начала орогенеза Горного Крыма и Большого Кавказа (Крымско-Кавказского орогена) и его геодинамических причин (см. обзор в работе [Кузнецов, Романюк, 2025]).

На палеогеографических и палеотектонических реконструкциях [Маслакова, Волошина, 1969; Dercourt et al., 2000; Попов и др., 2009; Nikishin et al., 2015; Okay, Nikishin, 2015] показано, что Северное Причерноморье в мезозое и значительной части кайнозоя было шельфовой областью северной периферии океана Тетис. Позднемезозойские и раннепалеогеновые шельфовые бассейны переходной зоны от Тетиса к Лавразии в совокупности именуют Пери-Тетис. Части восточного Пери-Тетиса, расположенные в пределах Северного Причерноморья, мы называем западным сегментом Крымско-Кавказского осадочного бассейна. Некоторые толщи, сформированные в этом бассейне, в настоящее время экспонированы в Горном Крыму, а также на склонах западного сегмента Большого Кавказа. Кроме того толщи, сформированные в этом бассейне, участвуют в строении прогибов Степного Крыма, Керченско-Таманской области и Западного Предкавказья, где они изучены в основном дистанционными методами (бурением и сейсморазведкой). В маастрихтское и датское время Крымско-Кавказский осадочный бассейн простирался на север до подтопленного Украинского щита. Выступы суши были немногочисленны. В имеющихся публикациях их положение реконструировано по-разному. Так, на литолого-фациальных схемах верхнемеловых и датских отложений Крыма, составленных А.Е. Каменецким, Н.И. Маслаковой, О.В. Снегиревой [Маслакова, Волошина, 1969], а также на более поздних схемах [Dercourt et al., 2000; Гнідець и др., 2013] показано, что в маастрихтское и датское время на месте современного Горного Крыма существовало поднятие – суша. Эта суша поставляла обломочный материал в сопряженный с ней с востока осадочный палеобассейн, и в том числе в ту его часть, где сейчас расположен район г. Клементьева. Однако в других работах [Никишин и др., 2006, 2009; Копачевич и др., 2023; Коршунов и др., 2024] обоснованы иные представления. Согласно этим представлениям, осадочные толщи, экспонированные в разрезе “Гора Клементьева”, были сформированы в глубоководных обстановках (600–900 м, по [Коршунов и др., 2024]) подножья континентального склона или глубоководного трога, подразумевающих углубление этого палеобассейна в южную

и/или юго-западную сторону, т.е. в ту сторону, где сейчас расположено поднятие ГК.

Эти два варианта палеогеографических реконструкций для пограничного мел-палеогенового временного интервала принципиально различны по положению источника сноса обломочного материала пород стратиграфической последовательности, вскрывающейся в разрезе “Гора Клементьева”. В первом случае (“южный” источник сноса), в терригенной обломочной составляющей пород, участвующих в строении маастрихтско-датского стратиграфического интервала в районе плато Узун-Сырт, в значительных количествах должны быть представлены продукты эрозии восточных районов Горного Крыма, и в первую очередь – среднеюрских магматических образований [Роров et al., 2019], участвующих в строении горного массива Карадаг. В предельном случае, если бы среднеюрские магматические комплексы Карадага были единственным (или, по крайней мере, доминирующим) локальным источником силикокластики для осадочных толщ района г. Клементьева, следовало бы ожидать близкое к мономодальному распределение полученных датировок  $dZr$  и среднеюрское значение частотного максимума. Во втором случае (“северный” источник сноса) доминировал бы провенанс-сигнал Восточно-Европейской и/или Скифской и Мизийской платформ.

В полученных наборах датировок  $dZr$  из проб K22-001 и K22-002 представлен очень широкий спектр возрастов от юрских до палеоархейских (см. рис. 6а, 6в). Это свидетельствует о многообразии первичных источников сноса, среди которых были архейские, палеопротерозойские, мезопротерозойские, неопротерозойские и палеозойские кристаллические комплексы. Такой характер провенанс-сигнала нельзя получить при аккумуляции продуктов эрозии, поступавших из близкого локального источника. Только обширные площади континентальных палеоводосборов, длительное накопление и многократный рециклинг продуктов эрозии разновозрастных комплексов могли обеспечить те насыщенные возрастные спектры, которые были получены для проб K22-001 и K22-002.

В общем случае, количество датировок определенного возраста будет закономерно увеличиваться в связи с возрастанием значимости материнских пород-источников зерен циркона в геологическом строении палеоводосборов, а также близостью этих источников к области накопления осадков. Исходя из полученных спектров

возрастов  $dZr$ , значительную часть которых для обеих изученных проб составляют ранне-мезозойские и позднепалеозойские датировки (см. рис. 6б, 6г), можно прийти к выводу о том, что раннемезозойские и позднепалеозойские кристаллические комплексы (первичные источники циркона этого возраста) играли доминирующую роль в геологическом строении палеоводосборных областей, располагавшихся наиболее близко к бассейну седиментации.

В работе [Романюк и др., 2020] по результатам изучения зерен  $dZr$  из песчаных пород юрских грубообломочных толщ в 4 локациях Горного Крыма вместе с данными суммарного набора возрастов зерен  $dZr$  из песчаников Южного берега Крыма, попадающих в стратиграфический интервал от средней юры до неогена, выделено три этапа магматизма, проявленных в Причерноморье в каменноугольно-триасовое время (360–200 млн лет) (см. рис. 6б, 6г). Эти этапы соответствуют финальной стадии закрытия океана Реик и функционированию вулканического надсубдукционного пояса Скифско-Понтидской дуги в океане Палео-Тетис. Реликты каменноугольно-триасовых магматических и метаморфических пород участвуют в строении комплексов фундамента эпигерцинской Скифской и Мизийской платформ. Сами эти магматические породы могли быть первичными источниками циркона каменноугольно-триасового возраста. А триасовые, юрские и нижнемеловые осадочные толщи, в которых были аккумулярованы продукты разрушения кристаллических пород, могли быть вторичным источником циркона.

Первичным источником раннедокембрийских зерен циркона, скорее всего, были комплексы фундамента Восточно-Европейской платформы. Не очевидно происхождение мезопротерозойской популяции зерен циркона в изученных пробах. Первичным источником мезопротерозойских  $dZr$  в пробах маастрихтских и датских известковистых песчаников могли быть комплексы Свеконорвежской области. Возможно также, что мезопротерозойские  $dZr$  в изученных песчаниках были рециклированы из продуктов эрозии герцинид восточного (уральского) обрамления Восточно-Европейской платформы, слагающих широко распространенные в ее внутренних районах красноцветные обломочные породы верхнепермских и триасовых толщ с весьма значительным содержанием мезопротерозойских зерен  $dZr$  [Колодяжный и др., 2023; Чистякова и др., 2023]. Пока нельзя решить этот вопрос.

В отношении происхождения немногочисленных юрских зерен циркона в обеих пробах можно предположить, что произошло их естественное засорение в результате современного эолового или “орнитологического” разноса материала из юрских вулканогенных образований горного массива Карадаг, расположенного всего в нескольких километрах к юго-западу от г. Клементьева.

Таким образом, полученные результаты датирования зерен  $dZr$  из проб маастрихтских и датских карбонатных песчаников разреза г. Клементьева свидетельствуют о том, что в осадочный бассейн, где происходило накопление верхнемаастрихтской клементьевской и датской феодосийской свит разреза г. Клементьева, не было массового поступления продуктов разрушения юрских магматитов, участвующих в строении горного массива Карадаг, а также других районов Горного Крыма и Большого Кавказа.

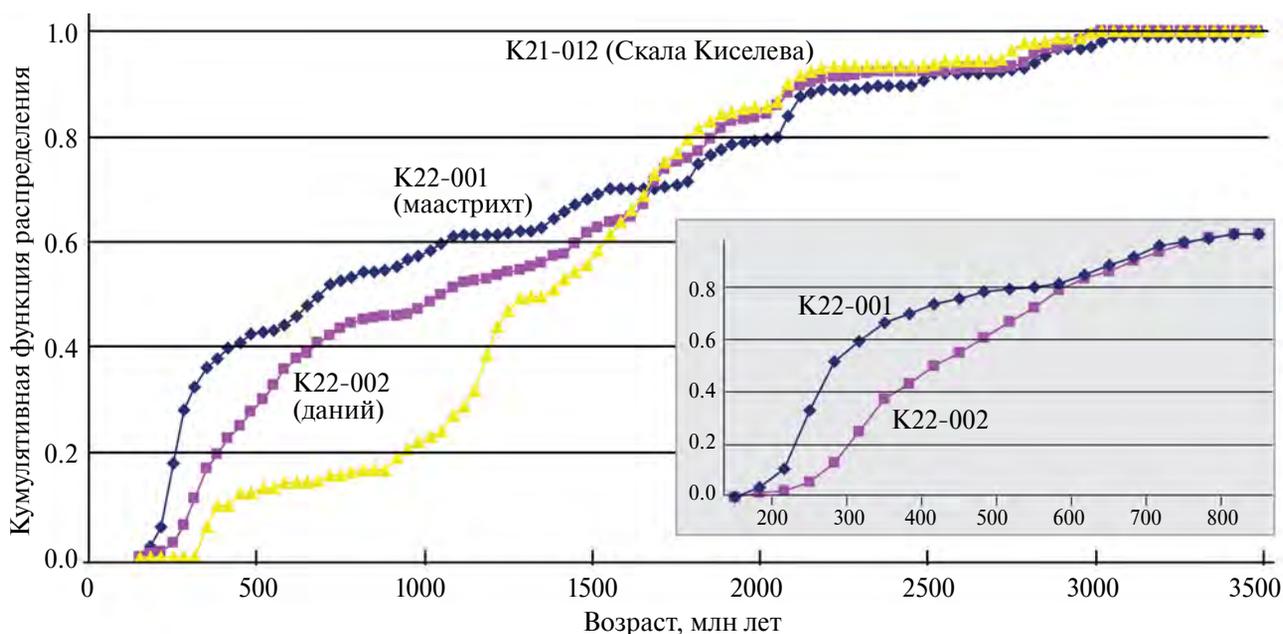
Визуальное сопоставление спектров возрастов зерен  $dZr$  из проб K22-001 и K22-002 показывает довольно значительные расхождения как в пропорциях разных популяций циркона, так и в величинах ярких пиковых значений. Например, в спектре возрастов  $dZr$  из пробы K22-02 наиболее яркий частотный пик – 337 млн лет, а в спектре  $dZr$  из пробы K22-01 – 243 млн лет. В спектре возрастов  $dZr$  из пробы K22-02 присутствует яркий частотный пик 1669 млн лет, а в наборе возрастов  $dZr$  из пробы K22-01 возрасты около этого значения отсутствуют совсем. При этом некоторые второстепенные пиковые значения практически совпадают, например, 228 и 229, 2813 и 2816 млн лет, 1448 и 1443 млн лет и др.

Сопоставление полных наборов возрастов зерен  $dZr$  из проб K22-001 и K22-002 с помощью теста Колмогорова–Смирнова подтвердило их общее визуальное различие (табл. 2, коэффициент  $p = 0.003$ ). Сопоставление частей наборов с возрастными  $<800$  млн лет и  $>800$  млн лет показало, что древние части спектров с возрастом  $>800$  млн лет в общем схожи (см. табл. 2, коэффициент  $p = 0.154$ ), а молодые части спектров с возрастом  $<800$  млн лет не имеют сходства. То, что наиболее существенные расхождения в общих наборах возрастов  $dZr$  из проб K22-001 и K22-002 приходится на палеозойско-позднепротерозойский возрастной интервал, хорошо видно на графике кумулятивных функций распределения (рис. 7): максимальные расхождения кумулятивных кривых приходится именно на этот возрастной интервал. В маастрихте среди первичных

**Таблица 2.** Величины взаимных парных коэффициентов  $p$  теста Колмогорова–Смирнова для наборов U–Pb возрастов детритового циркона из песков разреза г. Клементьева, Восточный Крым (пробы K22-001 и K22-02)

Маркировка наборов возрастов	K22-001	K22-002	(K22-001) <800	(K22-002) <800	(K22-001) >800	(K22-002) >800
K22-001		0.003				
K22-002	0.003					
(K22-001) <800				0.000		
(K22-002) <800			0.000			
(K22-001) >800						0.154
(K22-002) >800					0.154	

Примечание. Расчеты выполнены с помощью программы [Guynn, Gehrels, 2010], размещенной в свободном доступе. Применение теста Колмогорова–Смирнова используется для того, чтобы определить, подчиняются ли два эмпирических распределения одному закону, либо определить, подчиняется ли полученное распределение предполагаемой модели. Обычно стандартный уровень значимости теста принимается равным 95%. Если величина полученного взаимного коэффициента  $p$  превышает пороговое значение 0.05, то тестируемые эмпирические распределения с вероятностью 95% подчиняются одному и тому же закону распределения. Маркировка наборов возрастов: K22-001 и K22-02 – полные наборы возрастов, (K22-001) <800 и (K22-002) <800 – только значения возрастов <800 млн лет; (K22-001) >800 и (K22-002) >800 – только значения возрастов >800 млн лет, для проб K22-001 и K22-002 соответственно.



**Рис. 7.** Сопоставление кумулятивных функций распределения U–Pb возрастов зерен детритового циркона из песчаников разрезов “Гора Клементьева” (пробы K22-001 и K22-002) и “Скала Киселева” (проба K21-012, данные по [Кузнецов и др., 2024]).

На врезке (серый фон) показаны кумулятивные функции распределения для возрастов <800 млн лет.

источников циркона существенную роль играли пермо-триасовые комплексы, в дании их вклад заметно ниже.

Наши данные показывают, что на границе мел–палеоген произошли заметные изменения в источниках обломочного материала для осадочных толщ, вскрывающихся в разрезе “Гора

Клементьева”. Эти изменения практически не затронули удаленные области питающих провинций, поставлявших в осадки этой части бассейна преимущественно древний мезо-палеопротерозойский и архейский циркон (комплексы Восточно-Европейской платформы), а коснулись в основном наиболее близких к району разреза

“Гора Клементьева” областей, поставивших мезозойский, палеозойский и неопротерозойский циркон. Роль пермо-триасовых комплексов как одного из основных источников зерен циркона для обломочных пород маастрихтских толщ в начале палеогена (в дании) заметно снизилась. При этом возрос вклад материала каменноугольных и более древних палеозойских комплексов в формирование осадочного материала, слагающего породы датских толщ.

Сопоставление полученных новых данных, характеризующих разрез “Гора Клементьева”, с аналогичными данными по разрезу датской толщи “Скала Киселева”, западный Кавказ [Кузнецов и др., 2024], показало существенно меньшую долю циркона мезозойского, палеозойского и неопротерозойского возрастов (см. рис. 7) в общем количестве циркона в датских породах разреза “Скала Киселева”. Однако для уверенной интерпретации этого факта имеющихся данных пока недостаточно.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлены первые результаты U-Th-Pb изотопного датирования (LA-ICP-MS, ГИН РАН)  $dZr$  из карбонатных песчаников верхнемаастрихтского (проба K22-001) и нижнедатского (проба K22-002) стратиграфических интервалов разреза “Гора Клементьева” (возвышенность Узын-Сырт, Восточный Крым). Отчетливых различий циркона из проб K22-001 и K22-002 по содержанию Th, U и значениям отношения Th/U, равно как и закономерной связи между U-Pb возрастом зерен циркона, обликом зерен и величинами Th/U в них, не обнаружено. В цирконе не выявлено особенностей, которые можно было бы связать с катастрофическими событиями, обусловленными падением метеорита Чиксулуб.

В полученных наборах датировок  $dZr$  из изученных проб представлен очень широкий спектр возрастов от юрских до палеоархейских, что свидетельствует о многообразии первичных источников сноса, среди которых были архейские, палеопротерозойские, мезопротерозойские, неопротерозойские и палеозойские кристаллические комплексы. Такой характер провенанс-сигнала нельзя получить при аккумуляции продуктов эрозии из близкого локального источника. Полученные распределения датировок зерен  $dZr$  из изученных известковистых песчаников

противоречат представлениям о том, что их терригенная обломочная составляющая происходит из магматических образований Карадага и/или других юрских магматитов Горного Крыма. Этот факт и некоторые другие особенности полученных распределений датировок зерен  $dZr$  из изученных проб указывают на то, что терригенная обломочная составляющая верхнемаастрихтских и нижнедатских толщ востока Горного Крыма представлена продуктами эрозии комплексов, участвующих в строении расположенных к северу от Горного Крыма эпигерцинской Скифской молодой (возможно, и Мизийской) и древней Восточно-Европейской платформ.

Таким образом, не находят подтверждения те палеогеографические схемы Крыма для маастрихта и дания, в которых на месте Горного Крыма показана суша, поставившая обломочный материал с “юга” в сопряженный с ней осадочный бассейн и, в том числе, в ту его часть, где сейчас расположено плато Узын-Сырт с доминирующей вершиной г. Клементьева. Зафиксированный в карбонатных песчаниках маастрихт-датского разреза “Гора Клементьева” провенанс-сигнал согласуется с палеогеографическими реконструкциями, на которых показано поступление осадочного материала с “севера”.

Выявлены заметные изменения в источниках сноса обломочного материала для песчаников пограничного мел-палеогенового интервала разреза “Гора Клементьева”. Палеогеографические изменения, происходившие на рубеже мела и палеогена, практически не затронули удаленные области питающих эти толщи провинций, поставивших преимущественно древний мезо-палеопротерозойский и архейский циркон, а коснулись в основном близких к району разреза “Гора Клементьева” питающих областей — Скифской и, возможно, Мизийской платформ, поставивших мезозойский, палеозойский и неопротерозойский циркон.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Полевые работы и отбор проб на  $dZr$  из разреза “Гора Клементьева” выполнены в ходе исследований по темам гос. заданий ГИН РАН и ИФЗ РАН. Аналитические исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 22-17-00091.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Астахова Т.В., Пермьяков В.В., Плотникова Л.Ф.* Мезозой // Геология шельфа УССР / Под ред. Е.Ф. Шнюкова. Киев: Наукова Думка, 1984. 184 с.
- Барабошкин Е.Ю., Аркадьев В.В., Копаевич Л.Ф.* Опорные разрезы меловой системы Горного Крыма. Путеводитель полевых экскурсий Восьмого Всероссийского совещания 26 сентября – 3 октября 2016 г // Под ред. Е.Ю. Барабошкина. Симферополь: Издательский Дом ЧерноморПресс, 2016. 90 с.
- Барабошкин Е.Ю., Гужиков А.Ю., Александрова Г.Н., Фомин В.А., Покровский Б.Г., Грищенко В.А., Маникин А.Г., Наумов Е.В.* Новые седиментологические, магнитостратиграфические и палинологические данные по разрезу кампана–маастрихта горы Бешкош, Юго-Западный Крым // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2020. Т. 28. № 6. С. 125–170.
- Гужикова А.А.* Первые магнитостратиграфические данные по маастрихту Горного Крыма (Бахчисарайский район) // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2018. Т. 18. Вып. 1. С. 41–49.
- Геологическое строение Качинского поднятия Горного Крыма. Стратиграфия мезозоя / Ред. О.А. Мазарович, В.С. Милеев. М.: Изд-во МГУ, 1989. 168 с.
- Геология СССР. Т. VIII. Крым. Часть 1. Геологическое описание. М.: Недра, 1969. 576 с.
- Гнідець В.П., Григорчук К.Г., Куровець І.М., Куровець С.С., Приходько О.А., Грицик І.І., Баландюк Л.В.* Геологія верхньої крейди Причорноморсько-Кримської нафтогазоносної області України (геологічна палеоокеанографія, літогенез, породи-колектори і резервуари вуглеводнів, перспективи нафтогазоносності) / Ред. Ю.М. Сеньковський. Львів: Нац. акад. наук України, Ін-т геології і геохімії горючих копалин, Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу, 2013. 160 с.
- Грачев А.Ф., Корчагин О.А., Цельмович В.А., Коллманн Х.А.* Космическая пыль и микрометеориты в переходном слое глин на границе мела и палеогена в разрезе Гамс (Восточные Альпы): морфология и химический состав // Физика Земли. 2008. № 7. С. 42–57.
- Колодяжний С.Ю., Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В., Страшко А.В., Шалаева Е.А., Новикова А.С., Дубенский А.С., Ерофеева К.Г., Шешуков В.С.* Природа Пучеж-Катункской импактной структуры (центральная часть Восточно-Европейской платформы): результаты изучения U–Th–Pb изотопной системы зерен детритового циркона из эксплозивных брекчий // Геотектоника. 2023. № 5. С. 70–95.
- Копаевич Л.Ф., Алексеев А.С., Никишин А.М., Беньямовский В.Н., Яковичина Е.В., Соколова Е.А., Вознесенский А.И.* О позднемаастрихтско-раннедатских водных массах, литологических и фораминиферовых комплексах в тектонически различных зонах Горного Крыма // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 2007. № 3. С. 42–49.
- Копаевич Л.Ф., Яковичина Е.В., Митрофанова Н.О., Никишин А.М., Бордунов С.И.* Опорный разрез верхнего маастрихта горы Клементьева (Юго-Восточный Крым) // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2023. № 6. С. 24–33.
- Копаевич Л.Ф., Никишин А.М., Вишневская В.С., Габдуллин Р.Р., Яковичина Е.В.* Распределение водных масс и динамика палеогеографии Крымско-Северо-Кавказского региона в позднем мелу // Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии. Сборник научных трудов / Под ред. Е.Ю. Барабошкина, В.С. Маркевич, Е.В. Бугдаевой и др. Владивосток: Дальнаука, 2014. С. 158–161.
- Коршунов Д.М., Прошина П.А., Рябов И.П. и др.* Литология и условия осадконакопления терминального мела разреза горы Клементьева (Восточный Крым) // Литология и полез. ископаемые. 2024. № 4. С. 487–512. <https://doi.org/10.31857/S0024497X24040065>, EDN: ZNYZJR
- Корчагин О.А., Цельмович В.А.* Космические частицы (микрометеориты и наносферы) из пограничного слоя глины между мелом и палеогеном (К/Т) разреза Стевенс Клинт, Дания // Докл. РАН. 2011. Т. 437. № 4. С. 520–525.
- Кочергин Д.В., Грановская Н.В.* Мел-палеогеновая граница в разрезе Шапсугский (южный склон Северо-Западного Кавказа) // Палеонтологический журнал. 2024. № 2. С. 132–140. <https://doi.org/10.31857/S0031031X24020123>
- Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В.* О времени и механизме воздымания Большого Кавказа, генетическом типе и истории заполнения Предкавказских прогибов – традиционные и современные представления // Геодинамика и тектонофизика. 2025. Т. 16. № 3. Статья 0825. <https://doi.org/10.5800/GT-2025-16-3-0825>
- Кузнецов Н.Б., Страшко А.В., Романюк Т.В., Никишин А.М., Московский Д.В., Новикова А.С., Дубенский А.С., Ерофеева К.Г., Шешуков В.С.* Первые результаты U–Th–Pb датирования зерен детритового циркона из ченкских песчаников – вклад в стратиграфию киммерид Горного Крыма // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2024. Т. 32. № 3. С. 56–87. <https://doi.org/10.31857/S0869592X24030031>, EDN: SWAUA
- Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В., Шаццлло А.В., Латышева И.В., Федюкин И.В., Страшко А.В., Новикова А.С., Щербинина Е.А., Драздова А.В., Махния Е.И., Маринин А.В., Дубенский А.С., Ерофеева К.Г., Шешуков В.С.* Мел-эоценовый флиш Сочинского синклиория (Западный Кавказ): источники обломочного материала по результатам U–Th–Pb изотопного датирования

детритового циркона // Литология и полез. ископаемые. 2024. № 1. С. 56–81.

<https://doi.org/10.31857/S0024497X24010048>,  
EDN: VCQUQX

*Лыгина Е.А., Устинова М.А., Габдуллин Р.Р., Реентович А.В.* Пограничные маастрихт-датские отложения центрального Крыма: новые данные о известковом нанопланктоне // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 2019. № 1. С. 68–79.

*Егоров П.И.* Геоэкологические реконструкции рубежа мела-палеогена на основе изучения пограничных разрезов / Автореф. дисс. ... канд. географ. наук. СПб.: Росс. гос. педагогический университет им. А.И. Герцена, 2012. 20 с.

*Маслакова Н.И., Волошина А.М.* Меловая система. Верхний отдел // Геология СССР. Т. 8. Крым. Ч. 1. Геологическое описание. М.: Недра, 1969. С. 179–200.

*Милеев В.С., Барабошкин Е.Ю., Розанов С.Б., Рогов М.А.* Киммерийская и альпийская тектоника Горного Крыма // Бюлл. МОИП. Отд. геологии. Т. 81. 2006. Вып. 3. С. 22–33.

*Милеев В.С., Розанов С.Б., Барабошкин Е.Ю., Шалимов И.В.* Геологическое строение и эволюция Горного Крыма // Вестник МГУ. Серия 4: Геология. 1997. № 3. С. 17–21.

*Никишин А.М., Алексеев А.С., Барабошкин Е.Ю., Болотов С.Н., Копаевич Л.Ф., Никитин М.Ю., Панов Д.И., Фокин П.А., Габдуллин Р.Р., Гаврилов Ю.О.* Геологическая история Бахчисарайского района Крыма (учебное пособие по Крымской практике). М.: Изд-во МГУ, 2006. 60 с.

*Никишин А.М., Алексеев А.С., Барабошкин Е.Ю., Болотов С.Н., Копаевич Л.Ф., Габдуллин Р.Р., Бадулина Н.В.* Геологическая история Бахчисарайского района Горного Крыма в имеловом периоде // Бюлл. МОИП. Отд. геологии. 2009. Т. 84. Вып. 2. С. 83–93.

*Никишин А.М., Романюк Т.В., Московский Д.В., Кузнецов Н.Б., Колесникова А.А., Дубенский А.С., Шешуков В.С., Ляпунов С.М.* Верхнетриасовые толщи Горного Крыма: первые результаты U–Pb датирования детритовых цирконов // Вестник МГУ. Серия 4: Геология. 2020. № 2. С. 18–33.

*Попов С.В., Ахметьев М.А., Лонатин А.В. и др.* Палеогеография и биогеография бассейнов Паратетиса. Часть 1. Поздний эоцен–ранний миоцен. М.: Научный мир, 2009. 178 с. (Тр. ПИН РАН. Т. 292)

*Прошина П.А.* Стратиграфия и планктонные фораминиферы семейства Heterohelicidae кампана и маастрихта Крыма, Кипра и Поволжья / Дисс. ... канд. геол.-мин. наук по научной специальности 1.6.2 (палеонтология и стратиграфия). М.: ГИН РАН, 2024.

*Романюк Т.В., Котлер П.А.* Методика оценки интегрального показателя окатанности выборки зерен об-

ломочного циркона: пример ченкской толщи киммерид Горного Крыма // Литология и полез. ископаемые. 2024. № 3. С. 340–357.

<https://doi.org/10.31857/S0024497X24030041>

*Романюк Т.В., Кузнецов Н.Б., Рудько С.В., Колесникова А.А., Московский Д.В., Дубенский А.С., Шешуков В.С., Ляпунов С.М.* Изотопно-геохимические характеристики каменноугольно-триасового магматизма в Причерноморье по результатам изучения зерен детритового циркона из юрских грубообломочных толщ Горного Крыма // Геодинамика и тектонофизика. 2020. Т. 11. № 3. С. 453–473.

<https://doi.org/10.5800/GT-2020-11-3-0486>

*Фиколина Л.А., Белецкий С.В., Белокрыс О.А., Деренюк Д.Н., Краснорудская С.И., Обиарская Н.Н., Король Б.И., Ивакин М.Н., Шевчук Н.В., Дяченко Л.Н., Аверина В.Н., Пересадыко И.Н., Пупышева В.Г., Севастьянова В.П.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000. Третье поколение. Серия Скифская. Лист L-36 – Симферополь. Объяснительная записка. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2019. 979 с.

*Чистякова А.В., Веселовский Р.В., Хубанов В.Б., Иванов А.В., Марфин А.Е., Брянский Н.В., Голубев В.К.* Реконструкция питающих провинций Московского бассейна в пермско-триасовое время по данным U–Pb LA-ICP-MS датирования и рамановской спектроскопии обломочного циркона // Геодинамика и тектонофизика. 2023. Т. 14. № 5. Статья 0718.

<https://doi.org/10.5800/GT-2023-14-5-0718>

*Юдин В.В.* Геодинамика Крыма. Симферополь: ДИАЙПИ, 2011. 336 с.

*Яковишина Е.В.* Литологическая характеристика и условия формирования верхнемаастрихтских отложений Крыма // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 2005. Вып. 4. С. 18–24.

*Яковишина Е.В., Гречихина Н.О., Бордунов С.И. и др.* Маастрихтский разрез горы Кыз-Кермен (Горный Крым): биостратиграфия, условия седиментации и палеогеография // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 2022. № 5. С. 57–67.

*Alvarez L. W., Alvarez W., Asaro F., Michel, H. V.* Extra-terrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction // Science. 1980. V. 208. P. 1095–1108.

*Andersen T.* ComPbCorr – Software for common lead correction of U–Th–Pb analyses that do not report <sup>204</sup>Pb // LA-ICP-MS in the Earth Sciences: Principles and Applications / Ed. P.J. Sylvester // Mineralogical Association of Canada, Short Course Series. 2008 V. 40. P. 312–314.

*Andersen T.* Correction of common lead in U–Pb analyses that do not report <sup>204</sup>Pb // Chem. Geol. 2002. V. 192. P. 59–79.

- Peri-Tethys palaeogeographical Atlas / Eds J. Dercourt, M. Gaetani, B. Vrielynck et al. Paris, France: Gauthier-Villars: CCGM, 2000. 268 p. 24 maps.
- Elhlou S., Belousova E.A., Griffin W.L. et al.* Trace element and isotopic composition of GJ-red zircon standard by laser ablation // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 2006. V. 70(18). P. A158.  
<https://doi.org/10.1016/j.gca.2006.06.1383>
- Gehrels G.* Detrital zircon U–Pb geochronology: Current methods and new opportunities // *Tectonics of Sedimentary Basins: Recent Advances. Chapter 2* / Eds C. Busby, A. Azor. Chichester, UK: Blackwell Publishing Ltd., 2012. P. 47–62.
- Grachev A.F., Korchagin O.A., Kollmann H.A., Pecher-sky D.M., Tselmovich V.A.* A new look at the nature of the transitional layer at the K/T boundary near Gams, Eastern Alps, Austria, and the problem of the mass extinction of the biota // *Russ. J. Earth Sci.* 2005. V. 7(6). P. 1–45.
- Griffin W.L., Powell W.J., Pearson N.J., O'Reilly S.Y.* GLITTER: Data Reduction Software for Laser Ablation ICP-MS // *Laser Ablation ICP-MS in the Earth Sciences: Current Practices and Outstanding Issues* / Ed. P.J. Sylvester. Québec, Québec: Mineralogical Association of Canada, 2008. P. 308–311. (Mineralogical Association of Canada short course series. V. 40)
- Guynn J., Gehrels G.E.* Comparison of detrital zircon age distributions in the K-S test. Tucson: University of Arizona, Arizona LaserChron Center, 2010. 16 p.
- Horstwood M.S.A., Kosler J., Gehrels G. et al.* Community-derived standards for LA-ICP-MS U–(Th–)Pb geochronology – uncertainty propagation, age interpretation and data reporting // *Geostand. Geoanalytical Res.* 2016. V. 40(1). P. 311–332.
- Jackson S.E., Pearson N.J., Griffin W.L., Belousova E.A.* The application of laser ablation-inductively coupled plasmamass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology // *Chem. Geol.* 2004. V. 211(1–2). P. 47–69.
- Keller G.* Defining the Cretaceous–Tertiary Boundary: A Practical Guide and Return to First Principles / The End-Cretaceous Mass Extinction and the Chicxulub Impact in Texas / Eds G. Keller, T. Adatte // *SEPM Spec. Pub.* 2011. V. 100. P. 23–42.
- Keller G.* 2014. Deccan volcanism, the Chicxulub impact, and the end-Cretaceous mass extinction: Coincidence? Cause and effect // *Volcanism, Impacts, and Mass Extinctions: Causes and Effects?* / Eds G. Keller, A. Kerr // *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.* 505. P. 57–89.  
<https://doi.org/10.1130/9780813725055>
- Ludwig K.R.* User's manual for Isoplot 3.75. A geochronological toolkit for Microsoft Excel // Berkeley Geochronology Center Sp. Publ. 2012. № 5. 75 p.
- Mathur R., Mahan B., Spencer M. et al.* Fingerprinting the Cretaceous–Paleogene boundary impact with Zn isotopes // *Nature Commun.* 2021. V. 12. A. 4128.  
<https://doi.org/10.1038/s41467-021-24419-8>
- Nikishin A.M., Wannier M., Alekseev A.S. et al.* Mesozoic to recent geological history of southern Crimea and the Eastern Black Sea region // Eds M. Sosson, R.A. Stephenson, S.A. Adamia // *Tectonic Evolution of the Eastern Black Sea and Caucasus* // *Geol. Soc. London Spec. Pub.* 2015. 428 p.  
<https://doi.org/10.1144/sp428.16>
- Okay A.I., Nikishin A.M.* Tectonic evolution of the southern margin of Laurasia in the Black Sea region // *International Geology Rev.* 2015. V. 57(5–8). P. 1051–1076.
- 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. V. 324. P. 371–384.
- Sláma J., Košler J., Condon D.J., Crowley J.L. et al.* Plešovice zircon – A new natural reference material for U–Pb and Hf isotopic microanalysis // *Chem. Geol.* 2008. V. 249. P. 1–35.
- Smit J.* The KPg boundary Chicxulub impact-extinction hypothesis: The winding road towards a solid theory / From the Guajira Desert to the Apennines, and from Mediterranean Microplates to the Mexican Killer Asteroid: Honoring the Career of Walter Alvarez / Eds C. Koeberl, P. Claeys, A. Montanari // *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.* 557. 2022. P. 391–414.  
[https://doi.org/10.1130/2022.2557\(19\)](https://doi.org/10.1130/2022.2557(19))
- Vermeesch P.* IsoplotR: a free and open toolbox for geochronology // *Geoscience Frontiers.* 2018. V. 9. P. 1479–1493.
- Vermeesch P.* On the visualisation of detrital age distributions // *Chem. Geol.* 2012. V. 312–313. P. 190–194.
- Wiedenbeck M., Hanchar J.M., Peck W.H. et al.* Further characterization of the 91500 zircon crystal // *Geostand. Geoanalytical Res.* 2004. V. 28. P. 9–39.
- Yuan H.-L., Gao S., Dai M.-N. et al.* Simultaneous determinations of U–Pb age, Hf isotopes and trace element compositions of zircon by excimer laser-ablation quadrupole and multiple-collector ICP-MS // *Chem. Geol.* 2008. V. 247. P. 100–118.

**SOURCES OF CLASTIC MATERIAL FOR THE CRETACEOUS–PALEOGENE  
BOUNDARY DEPOSITS OF KLEMENTYEV MOUNTAIN,  
EASTERN CRIMEA (RESULTS OF U–Th–Pb DATING OF DETRITAL  
ZIRCON GRAINS AND THEIR SIGNIFICANCE FOR REGIONAL  
PALEO GEOGRAPHIC RECONSTRUCTIONS)**

**N. B. Kuznetsov<sup>1,\*</sup>, D. M. Korshunov<sup>1</sup>, P. A. Proshina<sup>1</sup>, T. V. Romanyuk<sup>2</sup>,  
A. S. Novikova<sup>1</sup>, I. V. Latysheva<sup>1</sup>, A. S. Dubenskiy<sup>1</sup>, K. G. Erofeeva<sup>1</sup>, V. S. Sheshukov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Geological Institute Russian Academy of Science, Pyzhevsky lane, 7, bld. 1, Moscow, 119017 Russia*

<sup>2</sup>*Schmidt Institute Physics of the Earth, Russian Academy of Science,  
Bolshaya Gruzinskaya str., 10, bld. 1, Moscow, 123242 Russia*

*\*e-mail: kouznikbor@mail.ru*

The paper presents the results of U–Pb isotope dating (LA-ICP-MS, Collective Use Center of the Geological Institute of the Russian Academy of Sciences) of detrital zircons from sandstones of the Upper Cretaceous (Maastrichtian) – Lower Paleogene (Danian) boundary level sections of the Klementyev Mountain section of the Uzyn-Syrt Upland (eastern Crimean Mountains). The obtained data set from the Upper Maastrichtian Klementyev Fm. (sample K22-001) contains 5 Jurassic dates, 22 Triassic dates, 55 Paleozoic dates (including 10 Permian and 7 Carboniferous ones), 18 Neoproterozoic dates, 13 Mesoproterozoic (1014–1511 Ma) dates, 27 Paleoproterozoic dates, 10 Archean (including 1 Paleoproterozoic one) dates; from the Lower Danian Feodosiya Fm. (sample K22-002) – 2 Jurassic dates, 4 Triassic dates, 55 Paleozoic dates (including 11 Permian and 16 Carboniferous ones), 24 Neoproterozoic dates, 25 Mesoproterozoic (1008–1525 Ma) dates, 42 Paleoproterozoic dates, 13 Archean dates. Such a very wide range of ages from Jurassic to Paleoproterozoic indicates a variety of primary provenances, including Archean, Paleoproterozoic, Mesoproterozoic, Neoproterozoic and Paleozoic crystalline complexes. Such a provenance signal cannot be obtained by accumulating erosion products from a nearby local source. Thus, the traditional paleogeographic schemes of Crimea for the Maastrichtian and Danian are not confirmed, in which at that time in place of Mountainous Crimea there is shown land that supplied detrital material to the sedimentary basin adjacent to it from the north, including that part of it where the Uzyn-Syrt plateau area with the dominant peak of Mount Klementyev is now located. The most probable sources of detrital material for the studied strata were the Epi-Hercynian Scythian and ancient East European platforms. The recorded decrease in the share of Triassic zircon in the Danian strata and the increase in the contribution of Neoproterozoic zircon in the Maastricht strata was recorded in the Mount Klementyeva section

*Keywords:* Eastern Crimea, Cretaceous–Paleogene boundary, zircon, U–Pb age, paleogeography