



УДК 551.44(477.75)

© 2012

А. Б. Климчук, Е. И. Тимохина, Г. Н. Амеличев,
Ю. В. Дублянский, М. Штаубвассер

Возраст рельефа Внутренней гряды Горного Крыма по U/Th датировкам кальцитовых отложений карстовых полостей

(Представлено академиком НАН Украины В. М. Шестопаловым)

Приведены результаты U/Th датирования кальцитовых отложений карстовых полостей Внутренней гряды Горного Крыма, дающие возрастную привязку геоморфологических обстановок, соответствующих началу и оформлению выражения гряды в рельефе. Установлено, что основные элементы рельефа юго-западной части предгорного Крыма (Внутренняя гряда и южная продольная депрессия) сформированы в конце среднего плейстоцена. Определена скорость денудационного углубления депрессии за последние 250 тыс. лет, составляющая 1,36 мм/год.

Изучение карста, особенно его центрального системообразующего процесса спелеогенеза (зарождения и развития каналово-полостных структур проницаемости в растворимых породах), дает ценную информацию об эволюции различных условий геологической среды. Палеогеографическое (палеогеоморфологическое, палеогеогеологическое, палеоклиматическое) значение спелеогенетических исследований определяется тем, что ключевые характеристики каналово-полостных систем (их структура, морфология, вторичные отложения) являются индикаторами определенных геоморфологических, гидрогеологических и геохимических условий и процессов. Хорошая сохранность таких характеристик-индикаторов (в отличие от поверхностных объектов) зачастую обеспечивается в течение геологически длительных периодов после вывода спелеологических объектов в реликтовое или ископаемое состояние. Современный уровень понимания процессов и закономерностей эволюции карста и спелеогенеза, а также разнообразные и богатые возможности относительного и абсолютного датирования пещерных форм и отложений делают “карстовые архивы” одними из наиболее информативных среди других типов континентальных летописей.

В настоящем сообщении представлены первые данные по абсолютному датированию кальцитовых отложений (спелеотем) пещер юго-западной части Внутренней гряды Горного Крыма, позволяющие (с использованием новой модели регионального спелеогенеза) получить возрастную привязку ключевых этапов-состояний развития рельефа, а также



Рис. 1. Орогидрографическая схема исследуемого участка Внутренней гряды, показывающая расположение изученных пещер (датированы спелеотемы из пещер Подарочная и Таврская).

Легенда: 1 — вход в пещеру; 2 — источник восходящий; 3 — водоносная скважина с H_2S ; 4 — высотные отметки, м; 5 — тальвеги ложбин в ЮПД

оценить скорость денудационного углубления южной продольной депрессии (ЮПД) предгорья Крыма.

Исследуемый участок находится в пределах юго-западной части Внутренней гряды, охватывая ее массив между поперечными долинами рек Бельбек и Кача (с доминирующими вершинами Арманская и Курушлюк) и соответствующий сегмент ЮПД, отчленяющей Внутреннюю грядку от Главной грядки (рис. 1). Внутренняя грядка представляет собой типичную куэсту, гребневая часть которой сложена обнаженными пологопадающими на северо-запад палеоценовыми (дат-инкерманскими) мшанковыми известняками, образующими вертикальные обрывы к южной продольной депрессии и поперечным долинам рек Бельбек и Кача. Палеоценовые известняки залегают на верхнемеловых мергелях, слагающих крутонаклонные сегменты склонов долин. На “спине” куэсты они перекрываются эоценовыми известняковыми и глинистыми отложениями.

Предгорные гряды расположены над падающей к северо-северо-западу предгорной суртурой, по которой происходил подвиг складчатого сооружения Горного Крыма под Скифскую плиту [1]. По другим представлениям, Скифская плита отделяется от Горного Крыма глубинной Крымской предгорной разломной зоной, пространственно совпадающей с подножием южного аструктурного склона Внутренней гряды.

В схеме гидрогеологического районирования район пещеры относится к южной части Причерноморского артезианского бассейна, к краевой (юго-восточной) области питания Альминского бассейна. Со времени начала тектонической деформации миоценовой поверхности выравнивания и до времени своего денудационного расчленения палеоценовые известняки были частью моноклиальной водонапорной системы склона артезианского бассейна,

в настоящее время раскрытой и сдренированной. В геоморфологическом отношении — период распада этой системы соответствует времени становления современного рельефа предгорного Крыма и выражения в нем куэстовых гряд.

Взгляды исследователей на возраст рельефа предгорья различаются в широких пределах. Высказывалось мнение о его позднемеловом возрасте [2]. Н. С. Благоволин (1966) относил возникновение обеих гряд предгорья и продольных депрессий к неогену [3], а Н. И. Николаев (1946) — появление Внутренней гряды к началу верхнего плиоцена [4]. По мнению М. Е. Кострицкого и В. Н. Тереховой, заложение главнейших элементов рельефа региона происходило в дочетвертичное время, а становление близкого к современному облика — в раннечетвертичное время [5]. В научных публикациях [6, 7] начало выражения палеоценовой куэсты и ЮПД в рельефе связывается с позднекуяльницким временем, а хорошая выраженность этих основных компонентов в рельефе — с эоплейстоценом. Б. А. Вахрушев (2010) относит формирование ЮПД и Внутренней гряды к промежутку от среднего плиоцена до раннего плейстоцена [8]. Молодым, полностью четвертичным, считал рельеф предгорья М. В. Муратов (1960) [9].

Закарстованность известняков Внутренней гряды выражена в основном многочисленными гротами, нишами и прочими скульптурными формами растворения в обрывах куэст, зонами кавернозности и изолированными камерами, а также отдельными карстовыми полостями каналового типа, значительными по размерам. Поверхностные карстопроявления на “спинах” куэстовых гряд практически отсутствуют, за исключением мелких скульптурных форм на обнаженных поверхностях известняков. Проведенными в последние годы исследованиями установлено гипогенное происхождение карстовых полостей Внутренней гряды [10] (т. е. их формирование в закрытых гидрогеологических условиях напорного водоносного комплекса с относительно низкодинамичной средой) при взаимодействии восходящих трещинно-жильных вод глубокой циркуляции с пластовыми водами более мелкой системы стока, при большой роли конвективной циркуляции в морфогенезе образующихся полостей. При вскрытии карстующейся толщи поверхностной денудацией и ее дренировании гипогенные карстовые полости переходят в реликтовое состояние. Их раскрытие и экспонирование при гравитационно-блоковом отступании обрывов куэст обуславливает разнообразие наблюдаемых здесь форм карстовой скульптуры.

Возможные в условиях данного участка химические механизмы гипогенного спелеогенеза включают “коррозию смешивания” (возобновление/возрастание агрессивности при смешивании вод с различным содержанием CO_2), гидротермальное растворение (увеличение растворимости кальцита при охлаждении восходящих термальных углекислых вод) и сернокислотное растворение (воздействие серной кислоты, образующейся окислением растворенного сероводорода глубинных восходящих вод кислородом близповерхностной системы стока при их смешении). Скважины и восходящие источники с сероводородсодержащими водами имеются в пределах северной и южной продольной депрессий, в том числе на исследуемом участке (рис. 1).

В пещерах Подарочная и Таврская исследуемого участка выявлены два типа кальцитовых отложений (спелеотем):

1) субаэральные (вадозные) отложения представлены натечно-капельными (сталактиты и сталагмиты, колонны) и покровными (коры) образованиями. Такие отложения особенно широко развиты в пещере Таврская;

2) субаквальные (фреатические) отложения представлены зональными корами, сложенными параллельно-шестоватым кальцитом коричневого цвета. Помимо характерных текс-

тур, указывающих на фреатическое происхождение этого кальцита [11], субаквальное его образование подтверждается также преобладанием воды (свыше 99% (моль)) и низкими отношениями растворенных газов O_2/Ar (указывающих на восстановительный характер среды) в его флюидных включениях.

Субаквальные кальцитовые коры были выявлены в пещерах Подарочная и Таврская (см. рис. 1), приуроченных к ходам щелеобразной морфологии, заложенным в нижней части известнякового пласта. Доступная часть пещеры Подарочной целиком представлена фрагментом хода этого типа, а в пещере Таврской щелеобразные хода примыкают с востока и снизу к Северной и Южной основным галереям, расположенным гипсометрически выше. В пещере Таврской крупные фрагменты кальцитовой коры указанного типа обнаружены в самом щелеобразном ходе (как и в Подарочной), а также на стенах и сводах основной галереи в области примыкания. В последнем случае коры на стенах несут явные следы растворения в условиях полного водонасыщения.

Образцы кальцита обеих типов были подвергнуты абсолютному датированию в лабораториях университетов Киля (Германия) и Миннесоты (США) по соотношениям U/Th методами плазменной и термоионизационной масс-спектрометрии. Подробности соответствующих аналитических процедур приведены в статьях [12, 13]. Датированию подвергнуты четыре сталагмита из пещеры Таврской, в каждом из которых определения выполнены по трем точкам вдоль оси роста. Для фреатического кальцита, не обнаруживающего видимой слоистости, выполнена одна датировка в образце из пещеры Подарочной. Результаты датирования демонстрирует табл. 1, а также рис. 2, где показано распределение по-

Таблица 1. Результаты абсолютного U/Th датирования кальцитовых отложений пещер юго-западной части Внутренней гряды Горного Крыма

Образцы, точки датировок	Локализация образцов и точек	Возраст, тыс. лет	Ошибка, \pm тыс. лет
Пещера Таврская			
Сталагмит Т19*	Главная галерея		
Т19-I-A	<i>вершина</i>	14,30	0,90
Т19-III-A	<i>нижняя часть</i>	125,40	10,80
Т19-IV-A	<i>основание</i>	129,15	8,19
Сталагмит Т21*	Главная галерея		
Т17-A	<i>вершина</i>	64,33	3,21
Т17-B	<i>средняя часть</i>	114,85	9,70
Т17-C	<i>основание</i>	127,14	8,40
Сталагмит Т22*	Главная галерея		
Т22-S-II-A	<i>нижняя часть</i>	127,79	12,20
Т22-S-II-B	<i>основание</i>	129,90	7,80
Сталагмит Т33*	Главная галерея		
Т33-I-A	<i>вершина</i>	67,40	1,50
Т33-I-B	<i>средняя часть</i>	119,80	8,50
Т33-II-A	<i>основание</i>	124,90	13,60
Пещера Подарочная			
Кора параллельно- шестоватого кальцита LC **	Щелевидный ход	253,25	3,30

* Датирование выполнено методом плазменной масс-спектрометрии (MC-ICPMS) в лаборатории университета Киля (Германия; аналитик Антон Эйзенхауэр; описание аналитических процедур содержатся в [12]).

** Датирование выполнено методом термоионизационной масс-спектрометрии (TIMS) в лаборатории университета Миннесоты (США; аналитик Хай Чен; описание аналитических процедур содержатся в [13]).

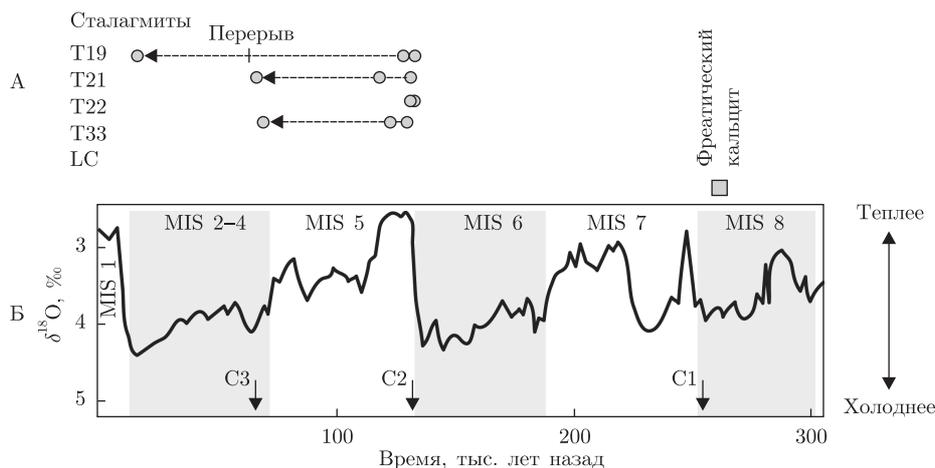


Рис. 2. А: Датировки кальцитовых отложений из пещер Таврская и Подарочная (юго-западная часть предгорного Крыма). Б: Стадии климатических изменений по изотопии кислорода донных морских осадков MIS [14] — кривая линия, отражающая температурные изменения.

Стрелки на шкале времени отмечают события: С1 — отложение фреатического кальцита в канальной системе восходящего источника; С2 — начало образования сталагмитов — минимальный возраст перехода канальной системы в субэаральное состояние; С3 — прекращение роста большинства сталагмитов

лученных дат по шкале времени в сопоставлении со шкалой морских изотопных стадий (MIS).

Произведенное датирование кальцитовых отложений из пещер Таврской и Подарочной дает временные привязки важным событиям спелеогенетической и геоморфологической эволюции региона (С1 и С2 на рис. 2). Ниже дается интерпретация гидрогеологических и геоморфологических условий, соответствующих этим событиям. На рис. 3 представлена схематическая визуализация обстановок, соответствующих событиям 1 и 2.

1. Отложение фреатического кальцита, 253 тыс. лет назад (С1). Время соответствует второй половине среднего плейстоцена, концу MIS 8 (периода похолодания), пику периода низкого положения уровня Мирового океана.

Кальцитовые коры пещер Подарочная и Таврская являются отложениями восходящих источников. Они отлагались в условиях восходящего перетока вод, возможно слаботермальных (не выше примерно 50 °С по данным исследования флюидных включений), из нижележащих толщ через карстовую систему в палеоценовых известняках. Отложение кальцита происходило в близповерхностных условиях вследствие падения температуры и давления, сопровождающихся дегазацией. Аналогичный кальцит встречается во многих полостях современных или реликтовых восходящих карстовых источников, связанных с глубокой циркуляцией.

Залегание коры по сформированной ранее скульптурной поверхности пещер указывает на практически полное оформление их морфологии ко времени отложения кальцита. Функционирование восходящих источников, питаемых гипогенными каналовыми системами типа пещер Подарочная и Таврская (с отложением фреатического кальцита в них), подразумевает, что днище ЮПД находилось выше этих полостей. Таким образом, возраст фреатического кальцита соответствует ранней фазе денудационного раскрытия Внутренней гряды, на которой палеоценовые известняки были вскрыты днищем формирующейся ЮПД (см. рис. 3, вверху). Вероятно, что наступление этой фазы связано с пульсом поднятия

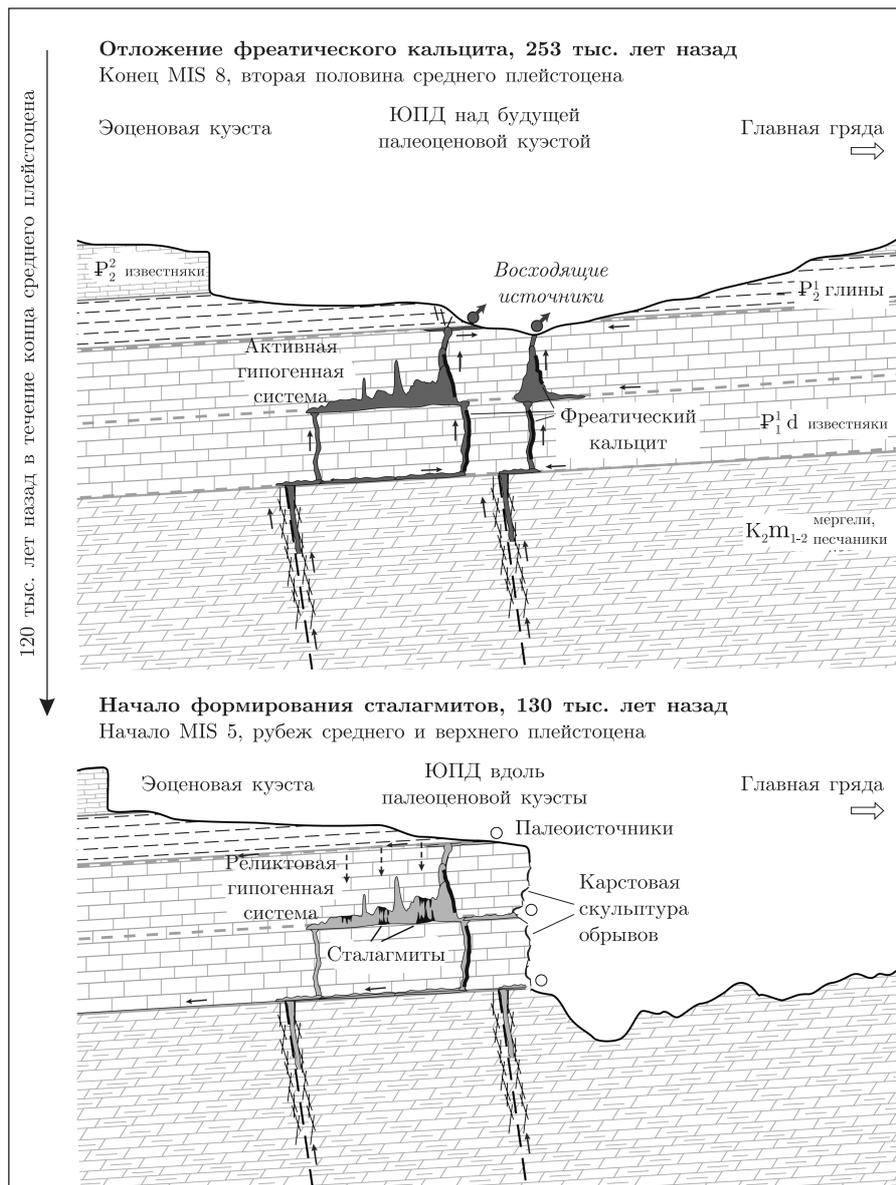


Рис. 3. Эволюция Внутренней гряды и южной продольной депрессии юго-западной части Горного Крыма в конце среднего плейстоцена по спелеохронологическим данным.

Схематическое отображение геоморфологических и гидрогеологических условий для фаз отложения фреатического кальцита (вверху; 253 тыс. лет назад) и начала формирования сталагмитов (внизу; 130 тыс. лет назад)

и снижением базиса эрозии (уровня Черного моря). Следы скульптурного (конвективного) растворения по кальцитовой коре указывают на сохранение фреатических условий в массиве в течение какого-то времени после отложения кальцита, где отмечается смена гидрохимического режима осаждения на режим растворения.

2. Начало интенсивного формирования сталагмитов, 125–130 тыс. лет назад (C2). Время соответствует началу MIS 5, рубежу среднего и верхнего плейстоцена, началу микулинского межстадиала северной части Евразии и ресс-виюрмского межстадиала Альп.

Древнейшие даты, полученные из оснований сталагмитов, могут рассматриваться как минимальный возраст установления вадозных условий в пещерах, т. е. условий их полного дренирования и возникновения вертикальной нисходящей фильтрации от поверхности. Первое условие подразумевает углубление днища ЮПД существенно ниже уровня заложения полостей, а второе — обнаженность поверхности пласта палеоценовых известняков из-под слабопроницаемого покрова. Следовательно, геоморфологические условия начала формирования сталагмитов включают отчетливую выраженность палеоценовой куэсты в рельефе вследствие денудационного расчленения известняковой толщи со стороны ЮПД. Для отложения кальцита нисходящей фильтрацией необходимы также благоприятные климатические условия (достаточное количество осадков при относительно теплом климате).

Датировки по основаниям всех четырех сталагмитов варьируют в узком диапазоне от 125 до 130 тыс. лет назад. “Спусковым” для образования сталагмитов среди отмеченных выше условий, вероятно, было изменение климата, но необходимые условия — геоморфологические и гидрогеологические, т. е. хорошая выраженность куэсты в рельефе района и понижение уровня подземных вод в прирвовочной части ниже уровня пещер уже существовали.

Таким образом, возрастной интервал 253–130 тыс. лет назад (период между С1 и С2) характеризует период интенсивного развития рельефа Внутренней гряды в изучаемом районе и его становления в виде, близком к современному. Именно в течение этого геологического периода оформилось отчетливое выражение в рельефе ЮПД и палеоценовой куэсты. В дальнейшем происходило углубление ЮПД процессами комплексной денудации, практически не влиявшее на гидрогеологические условия в слое палеоценовых известняков.

3. Прекращение роста большинства сталагмитов, 65 тыс. лет назад (С3). Датировки по вершинам сталагмитов Т21 и Т33 фиксируют прекращение их роста около 65 тыс. лет назад. Хотя в сталагмите Т22 вершина не была датирована, но сходство его внутренней структуры с упомянутыми выше сталагмитами позволяют предположить то же время завершения его роста. Лишь в сталагмите Т19 вершина датируется более поздним временем, однако в структуре его верхней части есть несогласие, по-видимому, также соответствующее рубежу около 65 тыс. лет назад.

Это событие соответствует середине позднего плейстоцена, MIS 4, началу холодного периода валдайской стадии северной части Евразии. Можно предположить, что причиной прекращения роста сталагмитов было изменение климата. Датировка вершины сталагмита Т19 на уровне 14,3 тыс. лет назад указывает на возобновление его роста за некоторое время до этой даты и прекращение на ней; но при этом рост прочих сталагмитов не возобновлялся. Время прекращения роста сталагмита Т19 соответствует поздней стадии вюрмской эпохи.

Таким образом, приведенные результаты исследований дают абсолютные датировки вполне определенных геоморфологических обстановок (см. рис. 3) и, таким образом, составляют надежную основу для определения возраста рельефа предгорного Крыма концом среднего плейстоцена. Тем самым наши результаты изменяют представления о возрасте рельефа региона в сторону существенного омоложения.

Абсолютное датирование геоморфологических обстановок, схематически изображенных на рис. 3, дает возможность оценить скорость денудационного (преимущественно эрозионного) углубления ЮПД. За последние 253 тыс. лет назад днище ЮПД на исследуемом участке углубилось примерно на 340 м, что дает среднюю скорость углубления за весь этот период в 1,36 мм/год. Это значение выше средней скорости денудации в Центральных Альпах для периода 1,5 тыс. лет, установленной по космогенным изотопам в 0,9 мм/год

при бассейновых вариациях от 0,5 до 1,3 мм/год [15]. Однако оценки для Альп отражают скорость общей денудации в водосборных бассейнах, тогда как наша оценка для предгорного Крыма представляет скорость денудационного углубления долины, которая обычно существенно превышает скорость денудации на склонах.

1. Юдин В. В. Предгорная сутура Крыма // Геол. журн. – 1995. – № 3./4. – С. 56–61.
2. Гришанков Г. Є., Підгородецький П. Д., Губанов І. Г. Основні риси геоморфології Криму // Фіз. географія та геоморфологія. – 1973. – № 9. – С. 57–63.
3. Благоволін Н. С. Некоторые вопросы истории развития рельефа Горного Крыма // Стрoение Черноморской впадины. – Москва: Наука, 1966. – С. 59–65.
4. Николаев Н. И. О возрасте рельефа Горного Крыма // Бюл. ком. по изуч. четвертич. периода. – 1946. – № 8. – С. 103–105.
5. Кострицкий М. Е., Терехова В. Н. К геоморфологии Крымского предгорья // Изв. Крымского пед. ин-та. – 1957. – 28. – С. 489–521.
6. Никитин М. Ю., Седава К. М., Майорова Т. П. Путеводитель по первой крымской учебно-геологической практике. Ч. 1. – Сыктывкар, 2006. – 154 с.
7. Никитин А. М., Алексеев А. С., Барабошкин Е. Ю., Болотов С. Н., Копачев Л. Ф., Габдуллин Р. Р. и др. Геологическая история Бахчисарайского района Крыма. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 2006. – 58 с.
8. Вахрушев Б. О., Ковальчук І. П., Комлев О. О., Кравчук Я. С., Палиєнко Е. Т., Рудько Г. І., Стецюк В. В. Кримські гори // Рельєф України: Навч. посібник. – Київ: Слово, 2010. – С. 432–485.
9. Муратов М. В. Краткий очерк геологического строения Крымского полуострова. – Москва: Госгеолтехиздат, 1960. – 230 с.
10. Климчук А. Б., Амелічев Г. Н., Тимохіна Е. І. Гипогенный карст юго-западной части Предгорного Крыма // Геол. журн. – 2009. – № 1. – С. 63–82.
11. Hill C. A., Forti P. Cave minerals of the World. – Huntsville, Alabama: Nat. Speleolog. Soc., 1997. – 463 p.
12. Fietzke J., Liebetrau V., Eisenhauer A., Dullo C. Determination of uranium isotope ratios by multi-static MIC-ICP-MS: method and implementation for precise U – and Th-series isotope measurements // J. Anal. At. Spectrom. – 2005. – No 20. – P. 395–401.
13. Edwards R. L., Cheng J. H., Wasserburg G. L. ^{238}U – ^{234}U – ^{230}Th systematic and the precise measurement of time over the past 500, 000 years // Earth and Planet. Sci. Lett. – 1987. – No 81. – P. 175–192.
14. Beal L. M., De Ruijter W. P. M., Biastoch A., Zahn R. On the role of the Agulhas system in ocean circulation and climate // Nature. – 2011. – No 472. – P. 429–436.
15. Wittmann H., von Blanckenburg F., Kruesmann T. et al. Relation between rock uplift and denudation from cosmogenic nuclides in river sediment in the Central Alps of Switzerland // J. Geophys. Res. – 2007. – No 112. – F04010.

НИЦ “Український інститут спелеології
і картології” МОНМС України
і НАН України, Сімферополь

Поступило в редакцію 08.11.2011

**О. Б. Климчук, Е. І. Тимохіна, Г. М. Амелічев, Ю. В. Дублянський,
М. Штаубвассер**

Вік рельєфу Внутрішнього пасма Гірського Криму за U/Th датуванням кальцитових відкладів карстових порожнин

Наведено результати U/Th датування кальцитових відкладів карстових порожнин Внутрішнього пасма Гірського Криму, які дають вікову прив'язку геоморфологічних обставин, що відповідають початку та оформленню виявлення пасма у рельєфі. Встановлено, що основні елементи рельєфу південно-західної частини передгірського Криму (Внутрішнє пасмо та південна поздовжня депресія) сформовані наприкінці середнього плейстоцену. Визначено швидкість денудаційного поглиблення депресії впродовж останніх 250 тис. років, що становить 1,36 мм/рік.

A. B. Klimchouk, E. I. Tymokhina, G. M. Amelichev, Yu. V. Dublyansky,
M. Staubwasser

**Age of the relief of the Inner range of the Mountainous Crimea
according to the U/Th dating of the calcite deposits of karst cavities**

The paper reports the results of U/Th dating of the calcite deposits (speleotems) of karst cavities in the Inner range of the Mountainous Crimea, which provide the age constraints of geomorphologic settings corresponding to the incipient and mature expressions of the range in a relief. It is found that the main elements of the relief south-western part of the fore-mountains (the Inner range and the southern longitudinal depression) had been formed by the end of middle Pleistocene. The rate of denudational deepening of the depression is determined to be 1.36 mm/year.