

УДК 551.3.053 : 624.131.25(477.75)

А. А. КЛЮКИН, Е. А. ТОЛСТЫХ

**МЕТОДИКА И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СТАЦИОНАРНЫХ  
НАБЛЮДЕНИЙ ЗА СКОРОСТЬЮ ДЕНУДАЦИИ  
ИЗВЕСТНЯКОВЫХ ОБРЫВОВ В ГОРНОМ КРЫМУ**

Определяется понятие скорости денудации и вводятся показатели для ее количественной оценки. На основании экспериментальных исследований выявлены факторы, обуславливающие денудацию известняков Внутренней гряды Горного Крыма. Приводятся результаты экспериментальных определений скорости денудации известняков и показатели, характеризующие скорость этого процесса за историческое и геологическое время.

**Постановка вопроса.** Тип коры выветривания, встречающейся на какой-либо конкретной горной породе, качественно отражает интенсивность денудации и характер сносимого со склонов материала (Толстых, 1968; Толстых, Ключин, 1970). На верхнемеловых и палеогеновых известняках внутренней гряды Крымских гор авторами выделяются два основных типа коры выветривания. Первый развит на слабонаклонных склонах куэсты и представлен полным разрезом, по Н. В. Коломенскому (1952), включая мелкообломочную зону. Второй приурочен к обрывам. Здесь ввиду интенсивного сноса успевает сформироваться лишь глыбовая и кое-где маломощная щебнистая зона коры выветривания.

В задачу исследования входило определение скорости денудации обрывов Внутренней гряды Крымских гор. т. е. склонов со вторым типом коры выветривания.

**Литология обрыва куэсты.** Нуммулитовые и мшанковые известняки, слагающие Внутреннюю гряду, имеют мощность от 10 до 40 м. Они слоисты или неяснослоисты и неоднородны в вертикальном разрезе. Четко прослеживаются пачки пород различной степени перекристаллизации. В связи с этим на обрывах куэсты избирательной денудацией выработаны козырьки, карнизы, выступы, чередующиеся с денудационными нишами и карманами.

Исследуемые обнажения, выбранные в окрестностях Симферополя, сложены двумя основными разновидностями нуммулитовых известняков, чередующимися в разрезе: 1) сравнительно плотными, переполненными крупными раковинами и сильноперекристаллизованными, 2) детритусовыми, местами мергелистыми, слабоперекристаллизованными. Мощности пластов этих пород колеблются от нескольких сантиметров до нескольких метров. Описанные известняки выветриваются с неодинаковой скоростью: первые сравнительно медленно, вторые — довольно интенсивно. Следствием этого и является образование в уступе куэсты положительных и отрицательных микроформ рельефа — козырьков и ниш.

Если обрыв сложен переслаивающимися породами различной устойчивости по отношению к денудации, то следует различать скорость отступления стенки в пределах каждого литологического типа и скорость отступления стенки обнажения в целом. В геологическом масштабе времени неодинаковая скорость разрушения пород каждого слоя разреза практически не имеет значения, так как в чистом виде не реализуется.

Общее же отступление стенки может происходить при постоянном профиле обнажения, когда между козырьками и нишами устанавливается условное равновесие в скорости денудации, и с периодическим изменением профиля, когда козырьки обваливаются под действием собственного веса. В природе имеют место оба случая, поэтому у подножий обрывов куэсты наряду с мелкими обломками встречаются сравнительно крупные глыбы смещенных пород.

**Понятие скорости денудации и методы ее вычисления.** В литературе часто недостаточно строго определяется понятие «скорость денудации». Кроме того, для характеристики процесса применяются показатели, которые трудно использовать для сравнения результатов измерений на различных горных породах и исследуемых территориях. Поэтому прежде чем перейти к изложению результатов натурных исследований, необходимо определить понятие «скорость денудации» и ввести показатели, которыми ее можно оценивать.

Авторами под скоростью денудации понимается количество материала, сносимого с единицы поверхности склона в единицу времени. В качестве показателей, характеризующих этот процесс, предлагается использовать:

$$\text{скорость денудации по весу } V \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \text{ год}},$$

$$\text{скорость денудации по объему } V_0 \frac{\text{л}}{\text{м}^2 \text{ год}},$$

$$\text{скорость денудации линейная } V_l \frac{\text{мм}}{\text{год}}$$

(скорость отступления поверхности склона).

В данном случае в качестве единицы времени используется год, но скорость денудации резко меняется в течение года (см. ниже), вследствие чего для выявления факторов выветривания и количественной оценки их роли измерения необходимо проводить многократно в течение года и через разные промежутки времени. Поэтому предлагается, аналогично физической величине скорости (Яворский, Детлаф, 1964), использовать «мгновенную скорость денудации», т. е. первую производную количества снесенного материала по времени с  $1 \text{ м}^2$  склона, которая практически сводится к «средней скорости денудации» за интервал времени между двумя измерениями. Если интервалом времени измерения выбран год, то определяется среднегодовая скорость денудации. Для вычисления скорости денудации при измерениях за любой промежуток времени предлагается формула

$$V = P \frac{365}{n}, \quad (1)$$

где  $P$  — вес материала, снесенного с  $1 \text{ м}^2$  склона,  $n$  — количество дней в интервале между двумя измерениями. Полученное значение  $V$  будет означать, что если бы денудация продолжалась в течение года, то было бы снесено  $V$  материала.

Использование года в качестве единицы времени наиболее целесообразно как для внутригодовых измерений скорости денудации (год представляет заверченный цикл этого процесса), так и для сравнения этих данных с результатами измерений за историческое и геологическое время, примеры которых рассмотрены ниже.

Среди методов определения скорости денудации по характеру наблюдаемых величин целесообразно выделить объемные (линейные) и весо-

вые. Полученные данные взаимно пересчитываются:

$$V_0 = V/\gamma \quad (2); \quad V_I = V/\gamma \quad (3)$$

где  $\gamma$  — объемный вес,  $г/см^3$ .

Для обоснованного пересчета и получения сравнимых результатов важно правильно определять объемный вес горных пород. На крутых, обрывистых склонах породы обычно затронуты только процессами физического выветривания, поэтому объемный вес отдельных образцов практически не отличается от объемного веса неветрелого массива породы. В этом случае об объемном весе породы в массиве можно судить по объемному весу образцов, который легко определяется, например, парафинированием по ГОСТу 5182-64. В то же время объемный вес коры выветривания существенно меньше объемного веса неветрелого массива из-за многочисленных трещин. Определять его эффективно можно только ядерными методами, например рассеянием  $\gamma$ -лучей (Шеко, Богданов, 1971).

При расчете по данным наблюдений величины скорости денудации в другом измерении необходимо использовать объемный вес поверхностной зоны коры выветривания. В противном случае возникает положительная систематическая ошибка при вычислении весовой скорости денудации и отрицательная при вычислении объемной (линейной) скорости денудации. Обычно в практических целях используются весовые характеристики (например, для расчета параметров селевых потоков), поэтому более целесообразно использовать прямые весовые методы — учетных площадок и фотоплощадок, разработанные авторами (Клюкин, Толстых, 1968, 1968а; Толстых, 1971). Но они применимы только для исследования денудации на крутых склонах, сложенных скальными и полускальными породами с корой выветривания, обусловленной в основном физическими процессами разрушения.

На более пологих склонах с корой выветривания из химически измененных пород или на склонах, покрытых почвами, делювием и другими четвертичными отложениями, неизбежно применение известных линейных (объемных) методов определения скорости денудации, описанных, например, А. Н. Олиферовым (1971). Правильное вычисление весовых характеристик по этим данным будет обеспечено при точном определении объемного веса поверхностной зоны.

Часто при исследовании на учетных площадках измеряют не вес, а объем снесенной породы. Для получения весовой характеристики необходимо определить объемный вес материала, накопившегося у стенки обнажения, произвести вычисления, используя уравнение (2)

$$V = V'_0 \cdot \gamma' \quad (4)$$

где  $V'_0$  — условная объемная скорость денудации (по объему материала, накопившегося у стенки обнажения);  $\gamma'$  — объемный вес материала, накопившегося у стенки обнажения.

Объемную (линейную) скорость денудации рассчитывают, исходя из полученной «весовой» скорости и объемного веса поверхностной части коры выветривания, также по уравнениям (2, 3), используя первичные данные:

$$V_0 = \frac{V'_0 \cdot \gamma'}{\gamma} \quad (5); \quad V_I = \frac{V'_0 \cdot \gamma'}{\gamma} \quad (6)$$

Толкование  $V'_0$  как объемной скорости денудации  $V_0$  было бы неверным ввиду того, что отношение  $\gamma'/\gamma$  практически никогда не может быть равным 1. Это следует из физического смысла исследуемого процесса, так как  $\gamma$  является характеристикой элювия, а  $\gamma'$  — гравитационных отложений. В данном случае четко разделяется генезис пород.

**Скорость современной денудации.** Наблюдения за скоростью денудации обрывов среднеэоценовых нуммулитовых известняков Внутренней гряды (куэсты) Горного Крыма осуществлялись в 1964—1971 гг. в окрестностях Симферополя при помощи учетных площадок и фотоплощадок. Денудация известняков интенсивно происходит в холодное время года, обычно с первой половины декабря по конец марта. На месте отчленившихся частиц на стенках обнажений видны светлые пятна, а у подножий обрывов аккумулируются уплощенные обломки поперечником от 2 до 150 см и толщиной от 0,5 до 50 см. Обломки, падавшие на учетные площадки, периодически взвешивались. Полученные результаты делились на площадь обнажений и таким образом определялся вес материала, снесенного с 1 м<sup>2</sup> склона. Далее по уравнению (1) вычислялась весовая скорость денудации и через объемный вес, среднеарифметическое значение которого составило 1,89 г/см<sup>3</sup>, производился пересчет на объемную и линейную скорости денудации по уравнениям (2, 3).

Среднегодовая скорость денудации нуммулитовых известняков неодинакова. Она колеблется от 0,0—0,05 кг/м<sup>2</sup> год (перекристаллизованные известняки) до 11,6—20,0 кг/м<sup>2</sup> год (слабоперекристаллизованные известняки). Соответственно среднегодовая линейная скорость денудации колеблется от 0 до 6,19—10,6 мм/год.

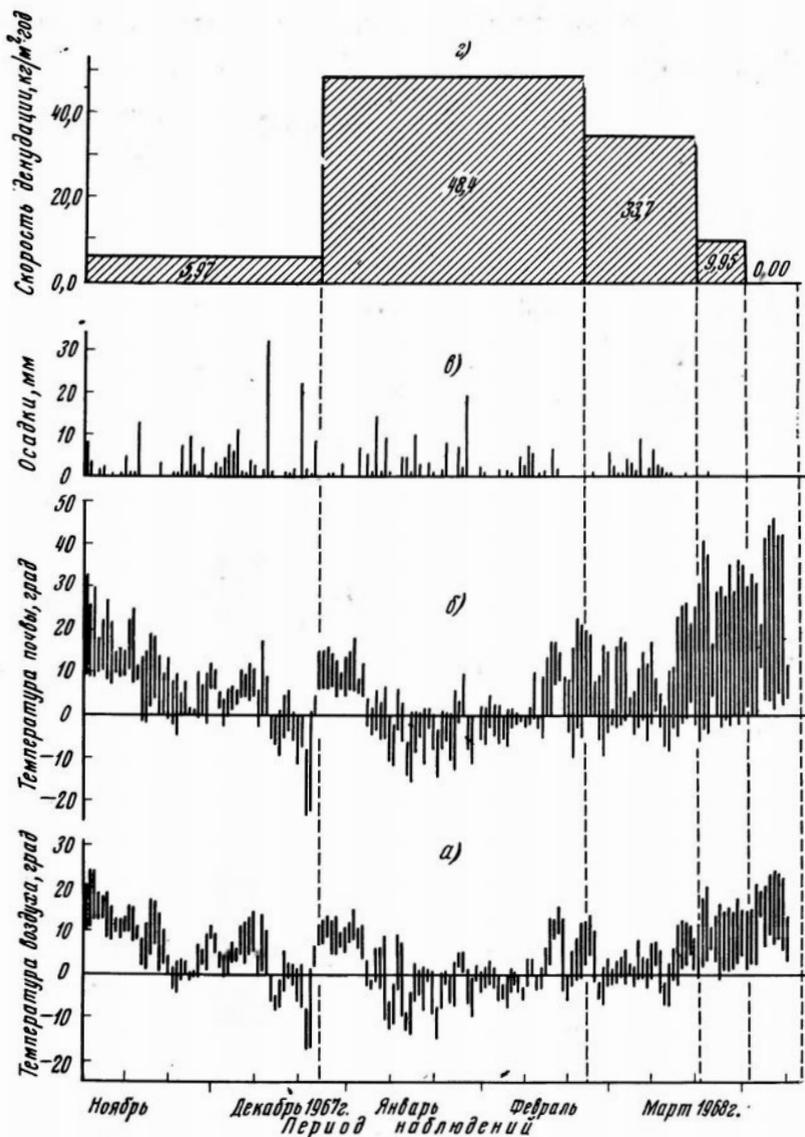
На графиках (рисунок, а—в), гистограмме (рисунок, г) и в таблице сравниваются показатели скорости денудации слабоперекристаллизованного известняка (площадка № 3) с величинами и ходом атмосферных осадков, температур воздуха и почв с 1.XI.1967 г. по 10.IV.1968 г. За это время показания с площадки снимались 5 раз, что позволило выделить на гистограмме и в таблице пять периодов, неравнозначных по своей длительности. В целом в течение 162 суток с 1 м<sup>2</sup> площади вертикального обнажения было снесено 11,7 кг обломочного материала дресвянощебнистого состава. При этом стенка обнажения отступила в среднем на 6,19 мм.

Поздней осенью, зимой и ранней весной 1967—1968 гг. в Симферополе в течение 91 суток выпало 356,4 мм осадков величиной от 0,1 до 31,3 мм, преимущественно в жидкой фазе; температуры воздуха переходили через 0°С в течение 64, а температуры почв — в течение 83 суток.

Интенсивность денудации по периодам хорошо сопоставляется с ходом температур и режимом атмосферных осадков (рисунок, таблица). В течение первого периода (1 ноября—25 декабря 1967 г.) при значительных осадках (176,4 мм), выпавших за 39 суток, и 16 случаях перехода температур воздуха через 0°С скорость денудации еще невелика (5,97 кг/м<sup>2</sup> год). Необходимо учитывать, что значительные жидкие атмосферные осадки и низкие температуры конца первого этапа скажутся в резком усилении денудации с некоторым опозданием — при последующем резком потеплении и оттаивании пород в начале второго периода.

За второй период (26.XII.1967 г.—24.II.1968 г.) скорость денудации достигла максимальной величины (48,4 кг/м<sup>2</sup> год). Этому благоприятствовали оттепели в конце декабря — начале января, когда оттаяли породы, замерзшие ранее при повышенной влажности, а также неоднократные переходы температур воздуха через 0°С в течение 30 суток и 34 дня с осадками суммарной величиной 134,7 мм. При этом увлажнение, как правило, предшествовало депрессиям температур воздуха и почв. В конце периода при повышении температур создались благоприятные условия для длительного оттаивания пород и сноса продуктов разрушения.

В течение третьего периода (25 февраля—21 марта 1968 г.) скорость денудации также была высока (33,7 кг/м<sup>2</sup> год), что хорошо сопоставляется с ходом температур воздуха, почв и режимом атмосферных осадков. В начале периода во время оттепели продолжалось оттаивание пород, а затем скорость денудации определялась переходами температур возду-



Зависимость скорости денудации слабоперекристаллизованных нуммулитовых известняков Петровских скал от метеорологических факторов

ха через  $0^{\circ}\text{C}$  в течение 17 суток, в совокупности с 16 днями, когда выпали жидкие и твердые осадки общей величиной 43,8 мм.

Уменьшение скорости денудации пород во время четвертого и пятого периодов объясняется отсутствием осадков и положительными температурами воздуха.

Промерзание пород происходит нормально к стенке обнажения. При этом система капиллярных трещин, заполненных льдом, ориентирована параллельно обнажению и в общем независима от угла наклона его в данной точке и текстуры породы, поэтому внутренняя сторона уплощенных обломков и стенка в месте их отрыва в зимнее время покрыта тонким слоем льда. Денудация происходит следующим образом: вода атмосферных осадков проникает по капиллярам в породу; лед, образовавшийся при низких температурах, расширяет трещины и временно це-

Влияние метеофакторов на денудацию нуммулитовых известняков Петровских скал \*

Период наблюдений	Скорость денудации			Метеофакторы							
	весовая, кг/м <sup>2</sup> год	объемная, л/м <sup>2</sup> год	линейная мм/год	осадки				температура воздуха и почв °С**			
				сумма, мм	число дней с осадками			максимальная	минимальная	количество дней с температурой < -5°	количество дней с переходами температуры через 0°
					всего	1—10 мм	> 10 мм				
I 1.XI—25. XII. 1967 55 суток	5,97	3,18	3,18	176,4	39	23	4	24,2 33,0	-17,5 -24,0	7 10	16 19
II 26.XII. 1967 24.II. 1968 61 сутки	48,4	25,6	25,6	134,7	34	21	2	16,7 23,0	-15,0 -16,0	22 28	30 38
III 25.II—21. III.1968 26 суток	33,7	17,8	17,8	43,8	16	10	—	14,8 31,0	-7,4 -10,0	4 7	17 20
IV 22.III—1. IV. 1968 11 суток	9,95	5,31	5,31	1,5	2	—	—	21,3 41,0	-1,0 -4,0	— —	1 6
V 2.IV—10. IV. 1968 9 суток и далее до 1. X. 1968	0,0	0,0	0,0	—	—	—	—	24,9 47,0	2,6 1,0	— —	— —
I—V 1.XI. 1967 г. — 10.IV. 1968 162 суток	26,4	14,0	14,0	356,4	91	54	6	24,9 47,0	-17,5 -24,0	33 45	64 83
Год 1.XI. 67 г.—1. XI. 1968 365 суток	11,7	6,19	6,19	601,3	135	75	14	35,5 61,0	-17,5 -24,0	33 45	64 83

\* метеофакторы приводятся по метеостанции Симферополь

\*\* в числителе температура воздуха, в знаменателе — температура на поверхности почвы.

ментирует породу; при оттаивании часть обломков падает под действием собственного веса. С полным оттаиванием практически прекращается видимый снос материала, в том числе и во время выпадения осадков в летнее время.

Нуммулитовым известнякам свойственна низкая морозостойкость при повышенной влажности. Породы выдерживают от 11 до 22 циклов попеременного замораживания и оттаивания (Полякова, Слудский, 1955). Для умеренно мягкой зимы крымских предгорий характерны непостоянный снежный покров, частые оттепели, преимущественно жидкие атмосферные осадки и многократные переходы температур воздуха и почв через 0° С. Все эти климатические факторы благоприятствуют морозному выветриванию карбонатных пород, слагающих обрывы Внутренней горной гряды Крыма.

**Скорость денудации за историческое время.** Среднегодовое значение скорости денудации обрыва верхнемеловой (датской) куэсты Крыма установлена косвенно — по степени сохранности искусственных пещер средневекового пещерного города Бакла (4—13 вв. н. э.) в окрестностях с. Скалистое. От подземных ходов, вырубленных в мшанковых известняках датского яруса, в ряде мест сохранились лишь сравнительно неглубокие ниши. Некоторые бродильные и зерновые ямы в настоящее время срезаны высоким (10—25 м) обрывом куэсты. Особенно сильно

денудация разрушила крипты в сравнительно малопрочных песчано-глауконитовых и глинистых известняках основания уступа куэсты.

Исследованиями установлено, что скорость денудации обрывов верхнемеловой куэсты у Баклы за 1000 лет неодинакова от места к месту и составляет в зависимости от состава известняков и степени их перекристаллизации 0,1—5,0 мм/год при отступании стенки на 0,1—5,0 м.

Мшанковые известняки, так же как и нуммулитовые, неморозостойки при значительном увлажнении. Они выдерживают от 7 до 34 циклов попеременного замораживания и оттаивания, а некоторые разновидности разрушаются после 3—5 циклов и являются особенно непрочными (Полякова, 1957).

**Скорость денудации в четвертичное время.** В ряде мест Крымского предгорья по археологическим данным можно установить, что за последние 50—100 тыс. лет в результате разрушения сводов гротов и обрушения навесов обрывы Внутренней куэсты отступили на 7—10 м, т. е. линейная скорость денудации составляет 0,1—0,2 мм/год.

Скорость современного линейного отступления обрывов Внутренней гряды Крыма, судя по наблюдениям и косвенным фактам, составляет 0,1—0,3 и не превышает 1,0 мм/год, что значительно меньше среднеголетней скорости денудации (6,0 мм/год), установленной Н. И. Лысенко (1963) для среднечетвертичного — современного промежутка геологического времени. Последняя цифра аргументируется находками крупных глыб нуммулитового известняка в аллювии четвертой террасы р. Бююк-Карасу у г. Белогорска. В настоящее время обрыв куэсты находится в 3—3,5 км ниже этого места по долине реки. Н. И. Лысенко считает, что во время формирования отложенный среднечетвертичной террасы уступ куэсты находился гораздо южнее и с него в днище древней долины падали крупные глыбы нуммулитового известняка. Линейная скорость денудации обрыва Внутренней горной гряды Крыма (6,0 мм/год) довольно велика и в настоящее время нами отмечена лишь для некоторых участков обнажений неперекристаллизованных известняков. Значительную величину денудации в прошлом можно объяснить большей интенсивностью морозного выветривания горных пород. Процессу, видимо, благоприятствовали, с одной стороны, холодное влияние ледника Русской равнины, с другой — периодически прикававшие в Крым с юга и запада влажные морские воздушные массы, несущие осадки и оттепели. Более суровый климат крымских предгорий в плейстоцене (палеолите) подтверждается также находками в археологических стоянках остатков песка, северного оленя, мамонта, зайца-беляка, альпийской галки, белой куропатки, березы, рябины и других холодолюбивых животных и растений (Громов, 1948; Любин, 1970 и др.).

## ВЫВОДЫ

Строгое определение понятия скорости денудации и предложенные показатели, характеризующие этот процесс, позволяют получать результаты, которые можно сравнивать на любых территориях и для любого времени измерения.

Изучение скорости денудации известняков Крымского предгорья позволяет сделать некоторые выводы о внутригодовом ходе процесса.

Установлено, что смена температур (в том числе и многократные переходы их через 0°С) не приводит к разрушению пород. Их разрушение происходит лишь при промерзании пород после выпадения жидких атмосферных осадков. Собственно снос материала с крутых склонов наблюдался при оттаивании мерзлых пород.

Многократное замерзание и оттаивание известняков и атмосферные осадки в течение холодного времени года являются главными факторами денудации обрывов Внутренней гряды Горного Крыма.

Среднегодовая линейная скорость денудации в 1967—1968 гг. составила 6,19—10,6 мм/год. Проведенные нами и Н. И. Лысенко (1963) расчеты показывают, что за последние 1000 лет она не превышала 0,1—5,0 мм/год, за 50—100 тыс. лет — 0,1—0,2 мм/год, за 500 тыс. лет — 6,0 мм/год.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Громов В. И. Палеонтологическое и археологическое обоснование стратиграфии континентальных отложений четвертичного периода на территории СССР (млекопитающие, палеолит).— Тр. Ин-та геол. наук, вып. 64. Сер. геол., 1948, № 17.
- Клюкин А. А., Толстых Е. А. Некоторые методы изучения скорости выветривания горных пород.— В сб.: Вопросы изучения оползней и факторов, их вызывающих, вып. 8. М., ВСЕГИНГЕО, 1968.
- Клюкин А. А., Толстых Е. А. Количественные показатели выветривания некоторых пород Горного Крыма.— В сб.: Современные экзогенные процессы (тез докл.), ч. 1. Киев, «Наукова думка», 1968а.
- Коломенский Н. В. Методические указания по изучению процессов выветривания в инженерно-геологических целях. М., Гостеоиздат, 1952.
- Лысенко Н. И. Скорость разрушения Крымских гор.— Природа, 1963, № 9.
- Любин В. П. Нижний палеолит.— В кн.: Каменный век на территории СССР. М., «Наука», 1970.
- Олиферов А. Н. Изучение плоскостного смыва методами реперов, искусственного дождевания и стоковых площадок.— Методическое руководство по комплексному изучению селей. М., «Недра», 1971.
- Полякова М. Н., Слудский А. Ф. Природные строительные материалы Крыма минерального происхождения. Киев, Изд-во АН УССР, 1955.
- Полякова М. Н. Природные строительные материалы Крыма.— В сб.: Изучение и освоение минеральных богатств Крыма за годы Советской власти. Симферополь, 1957.
- Толстых Е. А. Некоторые современные геологические процессы Восточных Карпат.— В сб.: Природные условия и природные ресурсы Украинских Карпат. Киев, «Наукова думка», 1968.
- Толстых Е. А. Изучение скорости выветривания.— Методическое руководство по комплексному изучению селей. М., «Недра», 1971.
- Толстых Е. А., Клюкин А. А. Изучение формирования селей методом типизации коры выветривания.— Материалы научно-технич. совещ. по вопросам методики изучения и прогноза селей, обвалов и оползней. Душанбе, 1970.
- Шеко А. И., Богданов И. Я. Определение объемного веса.— Методическое руководство по комплексному изучению селей. М., «Недра» 1971.
- Яворский Б. М., Детлаф А. А. Справочник по физике. М., «Наука», 1964.

ВСЕГИНГЕО  
Симферопольский гос. университет  
им. М. В. Фрунзе

Поступила в редакцию  
25.XI.1971

### METHODS AND THE FIRST RESULTS OF STATIONARY OBSERVATIONS OVER THE RATE OF DENUDATION OF LIMESTONE PRECIPICES IN THE MOUNTAIN CRIMEA

A. A. KLYUKIN and E. A. TOLSTYKH

#### Summary

Defined is the concept of the rate of denudation and indices for its quantitative evaluation. Factors conditioning denudation of the limestones in the Interior chain of the Mountain Crimea have been distinguished on the basis of experimental investigations. Presented are results of experimental definitions of the rate of limestone denudation and also indices characterizing the rate of this process for the historic and geological time.