

УДК 550.9.93:551.3.053

Н. Н. Новик

**О возможности определения  
возраста речных террас  
по мощности выветрелого слоя в гальках аллювия**

Предлагается математическая модель процесса выветривания в гальках аллювия, на основании которой рассчитана зависимость для определения времени формирования выветрелого слоя в гальках среднезернистых песчаников и андезито-базальтов крымских.

© Н. Н. НОВИК, 1990

*ISSN 0367-4290. Геол. журн. 1990. № 5*

57

террас. В качестве примера приводится возраст аллювиальных отложений различных террасовых уровней р. Альма, определенный по мощности выветрелого слоя в гальках.

Анализ взаимоотношения и положения террасовых уровней в современном рельефе горных районов является одним из основных методов неотектонических реконструкций. В связи с этим решающее значение приобретает не только идентификация террасовых уровней, но и достаточно точное определение их возраста. Заслуживает внимания возможность определения возраста речных террас в неизотопном летоисчислении по мощности выветрелого слоя в гальках и валунах некоторых осадочных, метаморфических и магматических пород, присутствующих в аллювиальных отложениях. Выветрелый, внешний слой гальки при этом фиксируется в виде каймы бурого цвета различной интенсивности, имеющей достаточно четкую границу с невыветрелой, внутренней частью гальки.

Галька с выветрелой каймой, хорошо различимой визуально, в аллювиальных осадках различных террасовых уровней крымских рек чаще всего представлена мелко-среднезернистым песчаником из флишевых отложений таврической серии, реже — среднеюрскими изверженными породами. Песчаники преимущественно кварц-полевошпатовые или граувакковые, содержащие в подчиненных количествах биотит, амфиболы, аксессуарные минералы. Цемент поровый, коррозионный, глинисто-хлоритовый с монтмориллонитом, иногда карбонатный. В прозрачных шлифах под микроскопом выветрелая кайма в таких песчаниках отличается повышенной пористостью (из-за частичного выноса цемента), миграцией кальцита (в одних шлифах — растворение, в других — проникновение кальцита в породу, замещение им плагиоклаза и слюды). В выветрелой кайме характерным является осветление монтмориллонита и хлорита, переход биотита в гидромусковит, каолинизация плагиоклаза. Пирит частично выщелачивается с образованием пустот или же замещается гидроксидами железа. В гальке изверженных пород, представленных палеотипными андезито-базальтами, изменения в кайме выражены пелитизацией плагиоклаза и переходом магнетита в гидроксида железа. Таким образом, сущность происхождения в выветрелой кайме изменений сводится к процессам выщелачивания, гидратации и окисления (прежде всего, к переходу двухвалентного железа в трехвалентное).

Надо полагать, что такой выветрелый слой в гальках формируется только в условиях отсутствия переноса, в противном случае он будет легко стираться. Это и позволяет оценивать возраст террас по мощности выветрелого слоя в гальках с момента прекращения их переноса. Вероятной является также возможность определения возраста молодой тектонической трещиноватости в коренных породах по мощности выветрелого слоя в стенках трещин, но этот вопрос требует отдельного рассмотрения.

В обобщающей работе З. Кукала [2] приведен подробный анализ многочисленных исследований скорости выветривания горных пород, известных из мировой практики, среди которых особого внимания заслуживают работы чешских исследователей И. Черногуза и И. Шольца, предложивших для базальтовых валунов следующую эмпирическую зависимость:

$$H = A \lg(1 + Bt), \quad (1)$$

где  $H$  — мощность выветрелого слоя, мм (обозначение наше),  $A$  и  $B$  — эмпирические коэффициенты,  $t$  — возраст, тыс. лет. Можно показать, что такая зависимость действительно, когда изменение скорости выветривания  $v$  в зависимости от изменения мощности выветрелого слоя  $H$ , который играет роль защитного покрытия, пропорционально самой скорости процесса, т. е.:

$$v \frac{dv}{dH} = -v, \quad (2)$$

где  $\gamma$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от свойств породы и имеющий размерность длины. Полагая, что при  $H=0$  и  $v=v_0$ , из выражения (2) определяем:

$$v = v_0 e^{-\frac{H}{\gamma}}, \quad (3)$$

где  $v_0$  — начальная скорость выветривания. Представив скорость выветривания как производную от мощности выветрелого слоя по времени, получим:

$$\frac{dH}{dt} = v_0 e^{-\frac{H}{\gamma}}. \quad (4)$$

При начальных условиях  $H=0$ ,  $t=0$  уравнение (4) имеет решение:

$$t = \frac{\gamma}{v_0} (e^{\frac{H}{\gamma}} - 1), \quad (5)$$

или

$$H = \gamma \ln \left( 1 + \frac{v_0}{\gamma} t \right). \quad (6)$$

Заменой постоянных и переходом к десятичным логарифмам выражение (6) легко преобразуется в зависимость (1), предложенную И. Черногузом и И. Шольцем.

Из выражений (3, 4) видно, что при бесконечном возрастании мощности выветрелого слоя скорость выветривания будет стремиться к нулю. Однако приведенные выше зависимости в значительной степени идеализируют процесс выветривания. В реальной ситуации этот процесс более сложен. С одной стороны, увеличение мощности выветрелого слоя замедляет процесс выветривания, а с другой — процессы выщелачивания постоянно увеличивают проницаемость породы и тем самым ускоряют процесс выветривания. Таким образом, реально ожидать, что скорость выветривания при увеличении выветрелого слоя стремится не к нулю, а к некоторой постоянной величине. Такой процесс может быть описан уравнением:

$$\frac{dv}{dH} = -\frac{v}{\gamma} + \alpha, \quad (7)$$

где  $\alpha$  — некоторая константа, имеющая размерность, обратную времени. При тех же начальных условиях  $H=0$ ,  $v=v_0$ , из уравнения (7) получим выражение для скорости выветривания:

$$v = \frac{dH}{dt} = \gamma \alpha \left( 1 - e^{-\frac{H}{\gamma}} \right) + v_0 e^{-\frac{H}{\gamma}}. \quad (8)$$

Решив дифференциальное уравнение (8) при начальных условиях  $H=0$ ,  $t=0$ , получаем выражение для времени выветривания слоя мощностью  $H$ :

$$t = \frac{1}{\alpha} \ln \left[ \frac{\gamma \alpha}{v_0} \left( e^{\frac{H}{\gamma}} - 1 \right) + 1 \right]. \quad (9)$$

Анализируя выражения (5) и (9), легко доказать, что при малых значениях  $H$  они практически равнозначны. Однако уже при значениях  $H$  в несколько миллиметров выражение (5) не может использоваться для определения времени выветривания и определения возраста аллювиальных отложений, так как полученные значения могут оказаться вне всяких разумных пределов.

О реальной скорости выветривания среднезернистых песчаников и андезито-базальтов в Крыму на протяжении четвертичного времени можно судить по изменениям мощности выветрелого слоя, измеренного в сколах галек аллювиальных террас р. Альма, приведенных в таблице.

Измерения выветрелого слоя в гальках выполнены при помощи циркуля-измерителя и масштабной линейки с точностью  $\pm(0,1 \dots 0,05)$  мм. В одном обнажении обычно производилось не менее 10—15 замеров, а при достаточном количестве однотипных в петрографическом отношении галек — до 30—40 замеров. Чтобы исключить возможность замеров выветрелого слоя, являющегося реликтовым для галек данного террасового уровня, измеряли только те гальки, где мощность этого слоя выдержана по всему периметру скола.

По выполненным в обнажении замерам, относящимся к определенному горизонту аллювия, вычислялось среднее значение мощности выветрелого слоя в гальках однотипного состава с точностью до  $\pm 0,01$  мм. Стандартное отклонение измерений от среднего  $\sigma$  при этом в различных обнажениях составило  $\pm(0,08 \dots 0,23)$  мм, а особенность распределения значений мощности выветрелого слоя в гальках для всех террасовых уровней оказалась такой, что интервал  $\bar{N}-2\sigma$  и  $\bar{N}+2\sigma$  включает практически все 100 % замеров. Отмечается некоторое увеличение дисперсии с ростом возраста аллювиальных отложений.

Воспроизводимость результатов определения мощности выветрелого слоя в гальках одного и того же аллювиального горизонта данного террасового уровня достаточно высокая. Различия в определениях, выполненных в нескольких обнажениях среднего и нижнего течения р. Альма, при этом не превышали 0,1—0,2 мм. Для галек песчаников, отобранных из террас р. Ускут (пос. Приветное), получены значения выветрелого слоя, аналогичные таковым из аллювиальных террас того же возраста. В таблице приведены предельные значения мощности выветрелого слоя в гальках данного террасового уровня р. Альма с учетом положения опробуемого аллювиального горизонта в разрезе террасы.

Геоморфологический анализ положения речных террас Крыма, изучение особенностей их разрезов с оценкой палеоклиматических условий их формирования и выделением «холодных» и «теплых» горизонтов аллювия позволяют провести сопоставление аллювиальных горизонтов соответствующих террасовых уровней с определенными горизонтами стратиграфической шкалы плейстоцена Европейской части СССР [4], основанной на палеоклиматическом принципе. Для определения констант в уравнении (9) в качестве опорных нами приняты: 1) граница голоцена и плейстоцена, фиксируемая кровлей галечников I надпойменной (садовой) террасы, перекрываемых голоценовой почвой, с возрастом 10 тыс. лет; 2) граница калининского оледенения и миклулинского межледниковья, отмечаемая по подошве «холодного» аллювия IV надпойменной (судакской) террасы с возрастом 80 тыс. лет; 3) граница одишвовского межледниковья и днепровского оледенения, фиксируемая подошвой «теплого» аллювия V надпойменной (манджильской) террасы, с возрастом 240 тыс. лет. Выбранные нами террасовые уровни в качестве опорных для определения констант в уравнении (9) достаточно известны по литературным и другим источникам [1, 3], хотя их нумерация, приведенная нами, отличается от ранее установленной за счет террас, закартированных дополнительно. Разрезы садовой, судакской и манджильской террас в Крыму наиболее полны, они хорошо сохранились, характеризуются длительностью формирования и состоят обычно из «теплого» и «холодного» горизонтов аллювия, которые легко диагностируются по ряду признаков. Так, «холодные» горизонты аллювия названных террас в направлении склонов долины замещаются покровными лессовидными суглинками, являющимися заведомо «холодными» образованиями, «теплые» горизонты имеют почвенные аналоги, часто содержат карбонатный цемент с переходом в конгломераты. Такие конгломератовые горизонты аллювия особенно развиты в судакских террасах. Отнесение к «теплым» или «холодным» горизонтам аллювиальных отложений представляется возможным также на основании соотношений их с образованиями морских террас и других признаков.

Возраст аллювия и мощность выветрелого слоя в гальках среднерзистых песчаников и андезито-базальтов различных террасовых уровней р. Альма (Крым)

Ню-топный возраст, тыс. лет	Общая стратиграфическая шкала	Стратиграфический горизонт европейской части СССР, по К. В. Никитиной [4]	Терраса р. Альма и ее относительная высота (м) у внешней гряды Крымских гор	Мощность (м) выветрелого слоя в гальках		Возраст аллювия (тыс. лет), определенный по мощности выветрелого слоя в гальках		
				андезито-базальтов	среднерзистых песчаников			
10	Голоцен		Эрозионный врез					
			Высокая пойма (1—2)	0,84	0,52	6,0		
80	Верхний Плейстоцен	Осташковский*	I, садовая** (2—4)	1,08	0,72	10,7—10,6		
			Эрозионный врез					
		Моголо-шекснинский	II (5—7)		1,19	31,9		
			Эрозионный врез					
		Калининский*	III (15—25)		1,34 1,43	43,6 52,3		
			Эрозионный врез					
		Микулинский	IV, судакская** (35—45)	2,06	1,50 1,64	60 82—78		
			Эрозионный врез					
		240	Средний Плейстоцен	Московский*	V, манджильская** (55—75)	2,42	2,03 2,24 2,34	151—153 209 240
					Эрозионный врез			
400	Нижний Плейстоцен	Лихвинский	VI (100—110) (низкие «столы» у с. Приятное свидание)		2,59	327		
			Эрозионный врез					
690	Эоцено-эоценовый	Окский*	VII, булганакская** (120—130) (высокие «столы» у с. Приятное свидание)		2,95	473		
			Эрозионный врез					
		Колкотовский Платовский*	Эрозионный врез					
		Скифский надгоризонт	VIII, кизилджарская** (170—180)	3,87	3,43 4,32	691—692 1126		
			Эрозионный врез (существенный в пределах главной гряды Крымских гор)					

\* — «холодный» горизонт; \*\* — общезвестные террасы крымских рек [1, 3 и др.].

При мощности выветрелого слоя  $H$ , мм время его образования —  $t$ , тыс. лет (и, равным образом, возраст аллювиальных отложений) в условиях Крыма могут быть определены из уравнения (9) при следующих значениях констант, которые подобраны графоаналитическим способом:

для среднезернистых песчаников:  $v_0 = 0,156$  мм/тыс. лет,  $\gamma = 0,476$  мм,  $\alpha = 0,00420 \cdot \frac{1}{\text{тыс. лет}}$ ;

для андезито-базальтов:  $v_0 = 0,394$  мм/тыс. лет,  $\gamma = 0,463$  мм,  $\alpha = 0,00458 \cdot \frac{1}{\text{тыс. лет}}$ .

В таблице приведены значения возраста аллювиальных отложений различных террасовых уровней р. Альма, рассчитанные по мощности выветрелого слоя в гальках среднезернистых песчаников и андезито-базальтов. Естественно, что к таким определениям возраста террасовых отложений следует относиться, как к вероятным или ориентировочным, так как при подборе постоянных в уравнении (9) использованы достаточно условные значения изотопного возраста аллювиальных горизонтов, принятых в качестве опорных. В дальнейшем не исключается возможность уточнения констант в предлагаемой математической модели, описывающей формирование выветрелого слоя в гальке, на основании определения возраста аллювиальных террас Крыма другими альтернативными методами. Само собой разумеется, что в различных регионах определение констант предлагаемой математической модели должно быть индивидуальным в каждом конкретном случае по всем изучаемым литологическим разновидностям.

1. *Бабак В. И.* Стратиграфия новейших континентальных отложений и основные черты неотектоники Крыма // Материалы Всесоюз. совещ. по изучению четвертич. периода (Москва, 1957 г.). — М.: Изд-во АН СССР, 1961. — Т. 2. — С. 358—366.
2. *Кукал З.* Скорость геологических процессов. — М.: Мир, 1987. — С. 62—70.
3. *Муратов И. В.* Континентальные четвертичные отложения Крыма, их соотношение с морскими террасами и возраст // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. — М.: Наука, 1967. — № 33. — С. 57—76.
4. *Никифорова К. В.* Общая стратиграфическая шкала верхнеплиоценовых и четвертичных (антропогенных) отложений на территории СССР // Стратиграфия СССР. Четвертичная система. — М.: Недра, 1982. — П/т. 1. — С. 120—129.

Отдел сейсмологии Ин-та геофизики  
АН УССР, Симферополь

Статья поступила  
25.07.89

## Резюме

Пропонується математична модель процесу вивітрювання у гальках алювію, на основі якої обчислено залежність для визначення часу формування вивітрілого шару в гальках середньозернистих пісковиків та андезито-базальтів кримських терас. Для прикладу наводиться вік алювіальних відкладів різних терасових рівнів р. Альма, визначений за потужністю вивітрілого шару в гальках.

## Summary

A mathematical model of the weathering process on the alluvium rubbles is suggested. As based on this model a dependence is presented to determine the time of the weathered layer formation in rubbles of the mid-grained sandstones and basaltic andesites of the Crimean terraces. The age of the alluvial deposits at different terrace levels of the Alma river as dependent on the thickness of the weathered layer in rubbles is exemplified.