

- Кривоулицкий А. Е. О масштабе денудационного среза горных поднятий. «Изв. вузов. Геология и разведка», № 10, 1965.
- Кривоулицкий А. Е. Жизнь земной поверхности. М., «Мысль», 1971.
- Лилиенберг Д. А. и др. Морфоструктурный анализ современных вертикальных движений Европейской части СССР. «Геоморфология». № 1, 1972.
- Милановский Е. Е. Новейшая тектоника Кавказа. М., «Недра», 1968.
- Растворова В. А. О древних денудационных поверхностях Центрального Кавказа. «Бюл. Моск. о-ва испыт. природы. Отд. геол.», № 6, 1963.
- Растворова В. А. Формирование рельефа гор. М., «Наука», 1973.
- Ронов А. Б. История осадконакопления и колебательных движений Европейской части СССР (по данным объемного метода). «Тр. Геофиз. ин-та АН СССР», № 3 (130), 1949.
- Щербакова Е. М. Древнее оледенение Большого Кавказа. М., Изд-во МГУ, 1973.

Ереванский государственный
университет

Поступила в редакцию
13.VI.1978

ON DENUDATION CUT-OFF IN THE CAUCASUS

H. K. GABRIELIAN

Summary

Data are brought showing that the intensification of denudation with height is not a general regularity. The denudation rate in the alpine belt of the Great Caucasus makes up to 1—2.5 mm per year.

УДК 551.21 «312» (575.2 + 575.3)

Т. В. ГУСЕВА, В. К. КУЧАИ

ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ В ЗОНЕ СОЧЛЕНЕНИЯ ПАМИРА И ТЯНЬ-ШАНЯ

Познание природы современных движений, изучение их пространственно-временных особенностей рассматриваются как ключ к пониманию механизма тектонических движений. При этом для построения общей геодинамической теории развития литосферы важно выяснить, насколько современные движения связаны с геологической предисторией. С этих позиций зона сочленения Памира и Тянь-Шаня является идеальным объектом, поскольку здесь современные и новейшие тектонические движения проявляются с исключительной яркостью.

Изучение современных движений в этом районе осуществляется достаточно давно (Конопальцев, 1971; Певнев и др., 1973; Pevnev et al., 1975, и др.), проводилось также и сопоставление современных и четвертичных движений (Певнев и др., 1968, и др.). Тем не менее использование предлагаемых в данной статье методических приемов позволяет получить новые данные об особенностях формирования структуры Памира и Тянь-Шаня и связи четвертичных и современных движений.

СТРУКТУРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА

В пределах рассматриваемой территории Гармского геодинамического полигона, расположенного в зоне сочленения Памира и Тянь-Шаня, в альпийской структуре выделяются три тектонические зоны (Губин, 1960): 1) Южно-Тянь-Шаньское поднятие на правобережье р. Сурхоб, сложенное преимущественно палеозойскими породами Гиссаро-Алайской геосинклинали и юрскими меловыми и палеогеновыми отложениями Южно-Тянь-Шаньской эпигерцинской платформы; 2) Внешняя зона

Памиро-Кульгуня на левом берегу р. Сурхоб в районе хр. Петра I, в пределах которой широкое развитие получили мезозойские и палеогеновые отложения большой мощности (10 тыс. м и более); 3) Передовая зона Южного Тянь-Шаня, протягивающаяся в широтном направлении вдоль р. Сурхоб между Южным Тянь-Шанем и Внешней зоной Памиро-Кульгуни. Здесь относительно маломощные (около 2 тыс. м.) мезозойско-кайнозойские осадки залегают на сложнодислоцированных породах палеозойского кристаллического фундамента.

Границы между зонами разрывные: так, между Южно-Тянь-Шаньским поднятием и Передовой зоной располагается Гиссаро-Кокшаальская (Южно-Тянь-Шаньская, Сурхобская) зона разрывных нарушений, а между Передовой зоной Южного Тянь-Шаня и Внешней зоной Памиро-Кульгуни граница проходит по линии Вахшского надвига (Губин, 1960).

Особенности тектонических движений (их направленность, амплитуды) и история геологического развития Южно-Тянь-Шаньского поднятия, Передовой зоны Южного Тянь-Шаня и Внешней зоны Памиро-Кульгуни в мезозое и кайнозое существенно различны. Так, если на протяжении мезозоя, палеогена и большей части неогена для Внешней зоны Памиро-Кульгуни был характерен режим предгорного прогиба, в котором накопились мощные толщи мезозойско-кайнозойских осадков, то в Южном Тянь-Шане в это же время господствовал режим устойчивого поднятия (эта территория в мезозое и кайнозое являлась областью денудации), мезозойско-кайнозойские осадки откладывались в изолированных седиментационных бассейнах типа Зиддинского и Камароуского грабенов. Тектонический режим Передовой зоны Южного Тянь-Шаня является как бы переходным от режима Южно-Тянь-Шаньского поднятия к режиму Внешней зоны Памиро-Кульгуни. Хотя в мезозое и большей части кайнозоя сохранялся режим прогибания и накопления осадков, амплитуды прогибания и соответственно мощности мезозойско-кайнозойских отложений здесь существенно меньше, чем во Внешней зоне Памиро-Кульгуни, но больше, чем в частных депрессиях Южно-Тянь-Шаньского поднятия.

В четвертичное время формируются главнейшие морфоструктуры района: на севере система горстов образует поднятие Южного Тянь-Шаня, на юге на месте седиментационного бассейна Внешней зоны Памиро-Кульгуни (на месте Таджикской депрессии) возникает поднятие хр. Петра I. Между этими двумя крупнейшими морфоструктурными элементами располагается отстающая по темпам поднятий Передовая зона Южного Тянь-Шаня. В рельефе ей соответствует обширное тектоническое понижение, с которым связана современная долина р. Сурхоб. В современной орогенной структуре Передовая зона представлена крупнейшим рамповым грабеном, ограниченным на севере системой Гиссаро-Кокшаальских разломов, а на юге — Вахшским надвигом.

Морфоструктурные особенности северного склона хр. Петра I определяются активным движением аллохтона Вахшского надвига с юга на север. Такое движение сопровождается своеобразным «торошением» аллохтона. В этом смысле весь северный склон хр. Петра I следует рассматривать как область интенсивной четвертичной переработки разрывными нарушениями тектонического клина, надвигающегося с юга на четвертичный аллювий Передовой зоны Южного Тянь-Шаня. Эта тектоническая зона ранее (Нерсесов и др., 1974) была выделена под названием Сурхобской.

Несмотря на то что главнейшие морфоструктурные элементы зоны перехода от Памира к Тянь-Шаню развиваются в связи с альпийской структурой, здесь нет ни полного наследования движений (например, на месте альпийского прогиба Внешней зоны Памиро-Кульгуни возникло современное поднятие хр. Петра I), ни полного совпадения границ мор-

фоструктур и альпийских структур. Например, зона плейстоценовой активизации Вахшского надвига проходит несколько севернее сместителя Вахшского разлома в альпийской структуре, точно так же зона относительного опускания на граице Памира и Тянь-Шаня в плейстоцене простиралась несколько севернее неогеновых границ области аккумуляции моласс Передовой зоны. Поэтому северная граница Передовой зоны Южного Тянь-Шаня в четвертичной структуре находится севернее, нежели на схемах тектонического районирования альпийской структуры (в частности, в эту зону как наиболее поднятый блок вошел Мандопульский горст).

ХАРАКТЕРИСТИКА ДАННЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Существующая система геодезических наблюдений в зоне перехода от Памира к Тянь-Шаню позволяет получать информацию о сложной картине как горизонтальной, так и вертикальной составляющих современных движений. В настоящей статье мы рассматриваем пространственно-временные особенности только вертикальных движений, данные о которых получены в результате многолетних высокоточных нивелирных измерений.

Начало изучения современных вертикальных движений геодезическими методами в Гармском районе относится к 1948 г., когда по долине руч. Руноу был заложен полигон и выполнены исходные измерения (Конопальцев, 1971). В 1957 г. западнее долины Руноу по обоим берегам р. Сурхоб был заложен новый нивелирный полигон — «основное кольцо», который вместе с прежним построением по долине Руноу стал называться Гармским геодинамическим полигоном. Сеть геодезических знаков на полигоне постепенно расширялась и сгущалась, и к настоящему моменту общая длина нивелирных трасс составляет более 30 км. Вначале измерения велись раз в год, иногда реже. С 1969 г. частота опроса на основном кольце (длина 10 км, среднее расстояние между реперами 200 м) увеличилась до 5—10 циклов нивелирования I класса в год. Случайная средняя квадратическая ошибка этих измерений составляет $\pm 0,4$ мм/км. Такое увеличение частоты измерений вызвано тем, что смещения реперов, связанные с эндо- и экзогенными процессами, имеют колебательные составляющие с характерными периодами первые месяцы и менее.

Геодезические наблюдения показали, что реперы основного кольца делятся на «медленные» и «быстрые» (Буланже, Певнев, 1973; Гусева и др., 1973; Певнев и др., 1973). К медленным относятся все реперы, находящиеся на правом берегу Сурхоба, и реперы на левом берегу, которые расположены севернее Вахшского надвига. Данные о пространственно-временном ходе смещений реперов основного кольца содержатся в ряде публикаций (Pevnev et al., 1975; Певнев и др., 1973), и поэтому в настоящей статье они не приводятся.

В современных движениях основного кольца можно выделить линейно-трендовую составляющую, определяемую методом наименьших квадратов, и отклонения от линейного тренда, которые в дальнейшем будем называть флуктуациями. Группе медленных реперов свойственны вертикальные смещения относительно 0-пункта (репер 3040) со слабым нисходящим трендом (средняя скорость от 0 до 0,3 мм/год) и короткопериодной колебательной составляющей с амплитудой 2—5 мм. Быстрым реперам присущи восходящие движения с постоянной трендовой скоростью до 15 мм/год и короткопериодической составляющей с амплитудой 5—10 мм.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

Многолетние повторные нивелирования на основном кольце позволяют применить некоторые методы статистической обработки данных для районирования современных движений.

В качестве величины, характеризующей тектонические движения, обычно используются их амплитуды и знаки движений как функции пространственно-временных координат. Известно, что в пределах одной и той же структуры амплитуды тектонических движений существенно меняются в пространстве, сохраняя направленность самих движений. Например, амплитуды поднятий в пределах антиклинали постепенно увеличиваются от минимума на периклинали до максимума в наиболее поднятой части структуры. Тем не менее сомнений в целостности самой структуры не возникает. Поэтому при выделении по особенностям современных движений квазиоднородных зон и блоков мы используем те же принципы, что и при выделении тектонических зон и блоков. В связи с этим введем некоторые определения.

Под *односвязным объемом* (поверхностью) в соответствии с термином, используемым в математике, будем понимать часть объема, ограниченную замкнутой поверхностью (часть площади, ограниченную замкнутой кривой), любую точку которой можно соединить непрерывной линией с любой другой точкой, принадлежащей этому объему, не выходя за пределы односвязного объема (поверхности).

Под *квазиоднородной зоной* современных движений будем понимать односвязный объем земной коры, в пределах которого современные движения однотипны, т. е. они имеют одинаковые тенденции и одинаково реагируют на изменения в современном поле тектонических напряжений. В качестве меры однотипности движений предлагается использовать коэффициент линейной корреляции r . Примем, что в пределах квазиоднородных зон $r > 0$, а на границах $r \rightarrow 0$.

Под *квазиоднородными блоками*, выделяемыми по признаку современных движений, будем понимать односвязные объемы земной коры, полностью принадлежащие некоторой фиксированной квазиоднородной зоне и отличающиеся от прилегающих частей земной коры квазиоднородных зон амплитудами и скоростями движений.

Расчет коэффициентов корреляции для смещений реперов без учета тренда будем проводить по общеизвестной формуле:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [A(x_i) - \bar{A}(x)] [A(y_i) - \bar{A}(y)]}{nm_x m_y}, \quad (1)$$

где $A(x_i)$ — смещение репера X в момент времени $t = t_i$; $A(y_i)$ — смещения репера Y в момент времени $t = t_i$; n — число пар наблюдений соответственно на реперах X и Y ;

$$\bar{A}(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A(x_i); \quad \bar{A}(y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A(y_i);$$

$$m_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [A(x_i) - \bar{A}(x)]^2}, \quad m_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [A(y_i) - \bar{A}(y)]^2}$$

Для оценки тесноты связи флуктуационных движений формула расчета коэффициентов корреляции имеет несколько другой вид.

Уравнения линейных трендов соответственно смещений реперов x и y , найденные методом наименьших квадратов из имеющихся определений смещений реперов, имеют вид:

$$X = V(x) t; \quad Y = V(y) t. \quad (2)$$

В уравнении (2) t — время, прошедшее от начала срока наблюдений; $V(x)$ и $V(y)$ представляют собой трендовые скорости смещений реперов x и y от условного 0-пункта.

Коэффициент корреляции для флуктуационных движений будем находить по формуле

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [A(x_i) - V(x) t_i] [A(y_i) - V(y) t_i]}{n M_x M_y}, \quad (3)$$

где

$$M_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [A(x_i) - V(x) t_i]^2},$$

$$M_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [A(y_i) - V(y) t_i]^2}.$$

ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ В ПРЕДЕЛАХ ОСНОВНОГО КОЛЬЦА ГАРМСКОГО ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА

Определение коэффициентов линейной корреляции современных движений основного кольца позволило по особенностям современных движений выделить две квазиоднородные зоны (рис. 1), которые условно назовем Гиссарской и Петровской.

Одновременные вертикальные смещения геодезических знаков соответственно в пределах Гиссарской и Петровской квазиоднородных зон имеют положительные коэффициенты корреляции (коэффициент корреляции r изменяется от 0,36 до 0,96; в среднем 0,8 в Гиссарской зоне; для Петровской зоны коэффициенты корреляции r близки к единице). На границе между этими зонами коэффициент корреляции близок к нулю. Следовательно, можно с уверенностью говорить, что характер современных тектонических движений в Гиссарской и Петровской зонах существенно различен. В пределах Гиссарской зоны расположены «медленные», а в пределах Петровской зоны «быстрые» реперы.

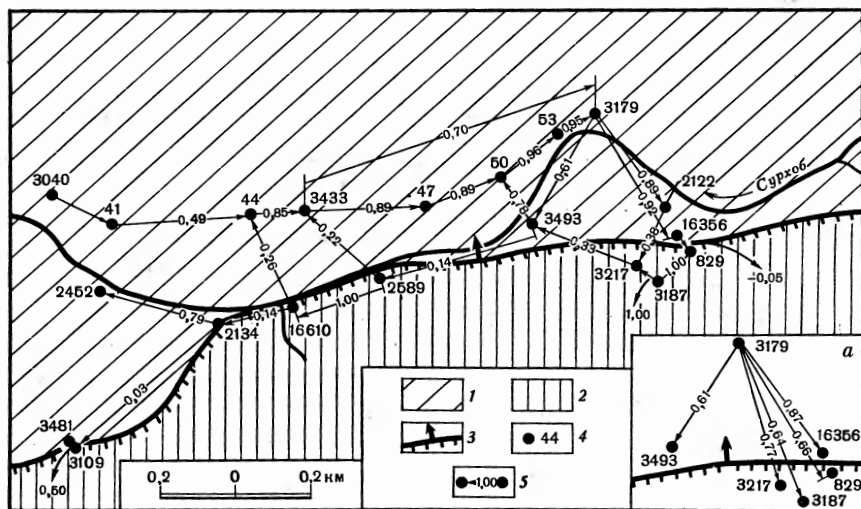


Рис. 1. Схема районирования современных вертикальных движений Гармского геодинимического полигона

1 — Гиссарская зона; 2 — Петровская зона; 3 — Вахшский надвиг (стрелкой показано направление движения аллохтона); 4 — реперы кольца Гармского полигона, для современных движений которых рассчитаны коэффициенты корреляции; 5 — коэффициенты корреляции движений двух блоков. Врезка а — пример определения коэффициентов корреляции флуктуационных движений

Пространственно Гиссарская зона совпадает с Передовой зоной Южного Тянь-Шаня (по крайней мере на территории Гармского полигона), а Петровская зона — с северной частью Внешней зоны Памиро-Куньлуня. Граница между этими двумя квазиоднородными зонами совпадает с зоной плейстоценовой активизации Вахшского надвига (рис. 1).

Таким образом, особенности современных тектонических движений, по-видимому, определяются геологической предысторией и квазиоднородные зоны, выделенные в результате изучения современных движений, полностью совпадают с тектоническими зонами альпийской (Губин, 1960) и плейстоценовой структуры (Нерсесов и др., 1974) Гармского района.

Флуктуации современных движений в отличие от самих движений обладают чрезвычайно высокой теснотой связи на всей территории основного кольца вне зависимости от того, в какой из тектонических зон

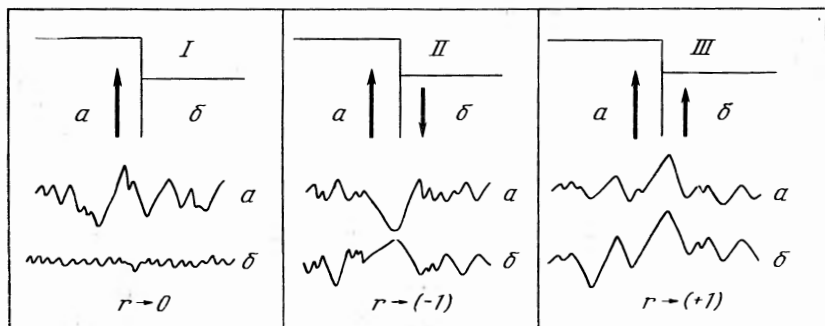


Рис. 2. Различные типы движений блоков и отклики современных движений блоков на изменения поля тектонических напряжений (кривые *a* и *б*)
Величины стрелок пропорциональны скоростям смещений блоков

расположены реперы, для движения которых рассчитаны коэффициенты корреляции. В принципе такая синхронность могла, например, возникнуть в случае линейного характера смещений всех реперов, за исключением репера (принятого за условный 0-пункт), движения которого носят колебательный характер. В этом случае амплитуды флуктуаций должны быть равными на всех реперах. В действительности эти амплитуды на различных реперах имеют различные значения, превышающие возможные ошибки определений. Следовательно, флуктуации современных движений основного кольца фиксируют некоторые реальные временные изменения поля современных движений, характерные для всего полигона в целом, независимо от пространственных координат. Как отмечалось ранее (Ревнев et al., 1975), логично полагать, что эти изменения связаны с временными вариациями поля современных тектонических напряжений. Такое предположение позволяет получить новую информацию о характере развития современной структуры зоны сочленения Памира и Тянь-Шаня.

В самом деле, если отсчет смещений геодезических реперов в блоках *a* и *б* (рис. 2) осуществляется не от ур. моря, а от условного 0-пункта, собственные движения которого неизвестны, движения блоков, изображенных на рис. 2, I, II, III, неразличимы. Однако если нам известен отклик движений этих блоков на временные вариации поля тектонических напряжений, то могут быть сделаны некоторые заключения о характере тектонических движений блоков *a* и *б* (рис. 2). Так, если блок *б* остается неподвижным, а в поле современных тектонических напряжений происходит увеличение высоты блока *a*, то вариации поля тектонических напряжений во времени должны найти отражение в современных движениях блока *a* и такие изменения должны отсутствовать

в движениях блока *б* относительно условного 0-пункта (рис. 2, I). Если же в существующем поле тектонических напряжений блок *а* имеет тенденцию к поднятию относительно ур. моря, а блок *б* к опусканию, то отклики движений этих блоков на изменения поля тектонических напряжений будут иметь отрицательный коэффициент корреляции и флюктуационные кривые будут противофазными (рис. 2, II). И, наконец, если оба блока *а* и *б* вовлечены в общее поднятие относительно ур. моря и у них только отличаются скорости тектонических поднятий, то отклик движений этих блоков на изменения поля тектонических напряжений будет одного типа, а сами флюктуационные кривые будут иметь положительный коэффициент корреляции (рис. 2, III).

В действительности в пределах основного кольца Гармского полигона флюктуационные составляющие, как было отмечено выше, имеют высокие положительные коэффициенты корреляции (см., например, врезку *а* на рис. 1). Это позволяет считать, что за рассматриваемый интервал времени развитие современных структур всего Гармского геодинамического полигона происходит в поле тектонических напряжений, обуславливающих общее тектоническое поднятие структур по схеме 2, III. Следовательно, Передовая зона Южного Тянь-Шаня, представляющая собой в плейстоценовой структуре района грабен типа рампа, вовлечена в поднятие относительно ур. моря и лишь скорости этого поднятия существенно меньше скоростей поднятия структурных форм Внешней зоны Памиро-Кунылуна и Южного Тянь-Шаня. Это заключение находится в полном соответствии с предположениями, основанными на анализе истории плейстоценовых тектонических движений Гармского района (Нерсесов и др., 1974).

ЛИТЕРАТУРА

- Буланже Ю. Д., Певнев А. К. О характере вертикальных смещений земной поверхности на Гармском полигоне. В сб. «Предвестники землетрясений». М., ВИНТИ, 1973.
- Губин И. Е. Закономерности сейсмических проявлений на территории Таджикистана. В сб. «Геология и сейсмичность». М., Изд-во АН СССР, 1960.
- Гусева Т. В., Певнев А. К., Энман В. Б., Энман С. В. О возможности выявления деформаций земной поверхности, связанных с сейсмичностью, методом повторного нивелирования. В сб. «Современные движения земной коры на геодинамических полигонах». Алма-Ата, 1973.
- Конопальцев И. М. Движения земной коры на Гармском полигоне по измерениям 1948—1970 гг. «Геотектоника», № 5, 1971.
- Нерсесов И. Л., Пономарев В. С., Кучай В. К. Особенности пространственного распределения сейсмического фона. В сб. «Поиски предвестников землетрясений на прогностических полигонах». М., «Наука», 1974.
- Певнев А. К., Гусева Т. В., Никифорова О. Д. О нестационарном характере вертикальных смещений земной поверхности на Гармском геодинамическом полигоне. В сб. «Современные движения земной коры», № 5. Тарту, 1973.
- Певнев А. К., Финько Е. А., Шатский В. Н., Энман В. Б. Многолетние геодезические наблюдения на Гармском полигоне и их геолого-геоморфологическая интерпретация. В сб. «Современные движения земной коры», № 4. М., Изд-во ВИНТИ, 1968.
- Peonov A. K., Guseva T. V., Odinev N. N., Saprykin G. V. Regularities of the deformations of the earth's crust at the joint of the Pamirs and Tien — Shan. «Tectonophysics», v. 29, Amsterdam, 1975.

Институт физики Земли
АН СССР
Институт геологии
АН ТаджССР

Поступила в редакцию
11.VII.1977

SPECIAL FEATURES OF RECENT TECTONICS AT THE ZONE OF THE PAMIR AND TIEN SHAN STRUCTURES CONTACT

T. V. GUSEVA, V. K. KUCHAI

Summary

On the basis of repeated levelling data preprocessing and analysis two zones — Gissarskaya and Petrovskaya — have been distinguished within Garm geodynamic polygon, which is situated in the zone of Pamir and Tien Shan structural contact. The zones differ in recent tectonics character. The Gissarskaya zone coincides with the Foremost zone of the South Tien Shan, the Petrovskaya one — with the Outer Pamir-Kunlun zone, their boundary being at the Vakhsh upthrust line. Recent structures evolution is inherited from Late and Middle Pleistocene orogenous structures. The whole area of the Garm polygon rises now, the rates of the recent rise being lower at the Foremost zone of the South Tien Shan as compared with Outer Pamir — Kunlun zone.

УДК 551.435.

А. А. КЛЮКИН, В. М. МОСКОВКИН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АБСОЛЮТНОГО ВОЗРАСТА ОВРАГОВ ПРЕДГОРНОГО КРЫМА ПО СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ ОТСТУПАНИЯ КРУТЫХ СКЛОНОВ

Определение абсолютного возраста рельефа всегда встречается с известными методическими трудностями. Это в первую очередь относится к плейстоценовым элементам рельефа и ко всему комплексу разновозрастных денудационных форм. Возможности датировки их с помощью историко-археологического, радиоуглеродного, калий-аргонового и других методов весьма ограничены.

В данной статье предпринята попытка определения времени зарождения эрозионных форм по скорости современного отступления склонов. В. Пенк (1961) выявил тенденцию крутых склонов к параллельному отступлению. Действительно, проследивая различные стадии развития молодых оврагов, находящихся в сходных геолого-геоморфологических и климатических условиях, можно констатировать, что в течение какого-то времени поперечные профили форм повторяют друг друга, а их склоны, крутизной больше угла естественного откоса, отступают параллельно. Такие овраги наиболее подходят для решения поставленной задачи.

В дальнейшем по мере выработки продольного профиля и ослабления глубинной эрозии склоны оврагов могут изменять свою морфологию. Начинается их выполаживание в прирвовочной части или у основания. Если при этом сохранились первичные элементы крутых склонов, отступающих параллельно, то такие овраги также могут датироваться по современной скорости денудации уступов.

Определение абс. возраста оврагов и балок, склоны которых сильно изменили свою первичную морфологию и не отступают параллельно, встречает значительные трудности, и в данной статье такие случаи рассматриваются только теоретически.

Итак, в основе предлагаемого метода лежит положение о параллельности отступления крутых склонов оврагов, линейная величина которого известна и принята постоянной в течение всего этапа развития формы.