

В. А. АПРОДОВ

ДИАГОНАЛЬНАЯ РЕЧНАЯ ЭРОЗИЯ И ЕЕ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ РЕЛЬЕФА

(Представлено академиком А. А. Григорьевым 11 IX 1950)

Геоморфологический анализ платформенных регионов может оказать ценные услуги для понимания их тектоники. Реки на равнинах очень чувствительны к малейшим изменениям уклонов местности вследствие эпейрогенических либо иных движений. Однако в геоморфологии рассматриваются только два вида эрозии рек: глубинная и боковая. Предполагается, что боковая эрозия, расширяющая долины и приводящая к появлению террасовых площадок, проявляется лишь в стадии зрелости рек. Такой упрощенный подход к эрозионным процессам приводит к неправильным выводам о древности весьма широких долин, возникающих на стадиях геоморфологической юности рек при так называемых «косых» эпейрогенических поднятиях.

Вторым источником ошибок при геоморфологическом анализе долин является представление об одинаковом эпейрогеническом подъеме для всей площади речного бассейна. Между тем, эпейрогенические поднятия имеют характер вспучиваний, затухающих к периферии. Вследствие этого первоначально горизонтальная плоскость окажется наклоненной в разные стороны от центра поднятия. Она испытывает «вращения» в вертикальной плоскости с центрами «вращений» на периферии эпейрогенических вспучиваний.

Представим себе наклонную равнину N с углом наклона α (рис. 1). Стекающие по ней реки будут ориентированы перпендикулярно линии пересечения наклонной плоскости равнины N с горизонтальной плоскостью Q . При эпейрогеническом подъеме местности первоначальный наклон равнины изменится.

Допустим, что воздымание образует вторичный уклон в направлении, перпендикулярном первоначальному (рис. 2). Тогда первоначально горизонтальная плоскость Q получит уклон на некоторый угол β . Прежнее русло реки AC окажется не перпендикулярным линии пересечения вновь возникшей наклонной плоскости N_1 с горизонтальной плоскостью P . Река будет стекать в прежнем русле уже не по направлению наибольшего уклона. Обозначив первоначальную высоту падения реки на единицу длины ее через h , определим новый уклон γ , который получит река в старом русле после подъема местности. Из прямоугольных треугольников ABC и AFC : $\sin \gamma = \sin \alpha \cos \beta$ (плоскость $BCEF$ горизонтальна, а треугольники ABF , ACF и AEF ориентированы вертикально). Простираение DT вновь возникшей наклонной плоскости N_1 образует с прежним ее простираением DC угол $CDT = \varphi$ (в плоскости ADT). Из прямоугольных треугольников CST , CSD и CDT находим:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha \cos \beta}, \quad \cos^2 \varphi = \frac{\cos^2 \beta - \cos^2 \alpha \cos^2 \beta}{1 - \cos^2 \alpha \cos^2 \beta}.$$

Из прямоугольных треугольников ABC , ACE и AEF определяем угол наибольшего уклона местности Δ :

$$\sin \Delta = \frac{\sin \alpha \cos \beta}{\cos \varphi}, \quad \sin^2 \Delta = \frac{\sin^2 \alpha \cos^2 \beta (1 - \cos^2 \alpha \cos^2 \beta)}{\cos^2 \beta - \cos^2 \alpha \cos^2 \beta}.$$

Из полученных соотношений видно, что после подъема местности угол γ будет всегда меньше, а угол Δ больше прежнего уклона местности α . Благодаря эпейрогеническому подъему русло реки AC окажется приподнятым над базисом эрозии в точке C на величину отрезка FO

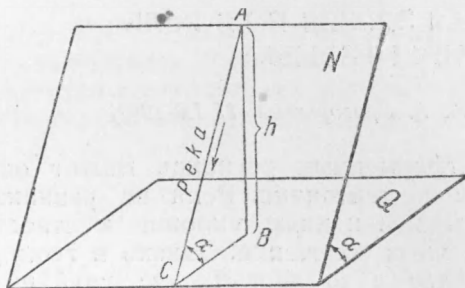


Рис. 1

скости Q . Это приводит к началу нового глубинного вреза реки, начинающегося с ее низовьев, к уменьшению скорости течения реки и замиранию глубинной эрозии в верховьях. В одной и той же долине на разных ее отрезках мы будем наблюдать и омоложение, и одряхление реки.

Одновременно с этим русло реки на всем его протяжении начинает смещаться из прежнего положения AC к новой линии наибольшего уклона AD . По мере бокового смещения русло также и опускается. Вода в нем будет находиться под воздействием двух сил: вертикальной — пропорциональной $h \left(\frac{1 - \cos^2 \beta}{\cos \beta} \right)$ и

горизонтальной — пропорциональной $h \sin \beta$. Равнодействующая их направлена по диагонали параллелограмма, построенного на этих двух векторах. Река

будет проявлять сильную одностороннюю направленную эрозию, весьма отличную и от глубинной, и от обычной боковой. Мы предлагаем выделить этот особый вид эрозии под наименованием диагональной эрозии. Она проявляется на стадиях омоложения рек при опусканиях базиса эрозии одновременно с оживлением глубинной эрозии в низовьях рек при невыработанной кривой равновесия. Боковая же эрозия развивается вследствие блуждания рек при поднятиях базиса эрозии либо в стадиях зрелости и дряхлости рек при выработанной кривой равновесия. Диагональная эрозия приводит к сильному одностороннему боковому смещению русла реки на больших его отрезках, к выработке либо прямолинейных долин, либо огромных врезанных долинных меандр, обращенных выпуклостью

(рис. 2), равную $h \left(\frac{1 - \cos^2 \beta}{\cos \beta} \right)$. Это же русло в точке A поднимается на высоту, равную разности отрезков AO и AB , или $h \left(\frac{1 - \cos \beta}{\cos \beta} \right)$.

Полученные соотношения показывают, что низовья реки поднимаются скорее ее верховьев, так как они оказываются расположенными дальше от «оси вращения» DO первоначально горизонтальной плоскости Q .

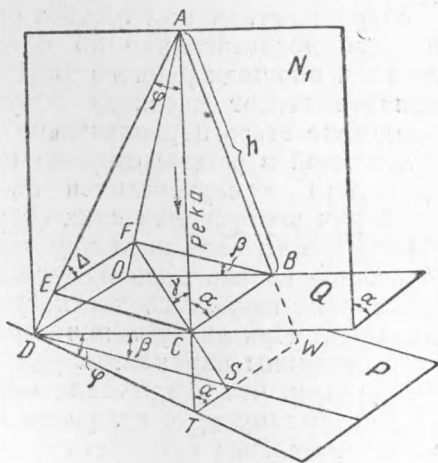


Рис. 2

в сторону смещения русла. Диагональная эрозия отличается и от глубинной. Она создает весьма широкие асимметричные прямолинейные долины, ширина которых прямо пропорциональна глубине врез. В результате ее на одном из бортов долины возникают обширные наклонные террасовые равнины, сложенные сериями террас, соотносящихся между собой по полигенетическому типу. Эти террасы лежат на общей покатой эрозионной поверхности рядом друг с другом (рис. 3). Гидрографическая сеть бассейна реки, проявляющей диагональную эрозию, отличается от обычной сети односторонним развитием параллельных друг другу притоков, впадающих в реку с берега, противоположного направлению ее смещения.

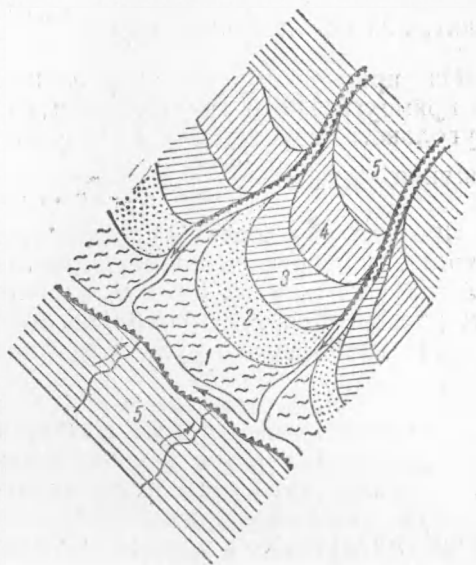


Рис. 3. Схема строения долины при диагональной эрозии реки. 1—пойма, 2, 3, 4—надпойменные террасы; 5—поверхность наклонной равнины; зубчатыми линиями берега показаны подмывные берега

Изложенное выше позволя-ет подойти к анализу более сложных случаев, когда первоначально горизонтальная плоскость Q получает уклон в любом направлении относительно первоначального наклона равнины (рис. 4). Предположим, что первоначально горизонтальная плоскость Q получила уклон под углом $BDM = \beta$, азимут которого MD составляет с азимутом прежнего уклона равнины MR угол $DMR = \omega$ (рис. 4). Из прямоугольных треугольников BDM , MDR и CDR определяем значение угла $CDR = \beta_1$, под которым первоначально горизонтальная плоскость Q будет теперь наклонена в направлении DR , перпендикулярном к прежнему уклону равнины: $\text{tg } \beta_1 = \text{tg } \beta \sin \omega$.

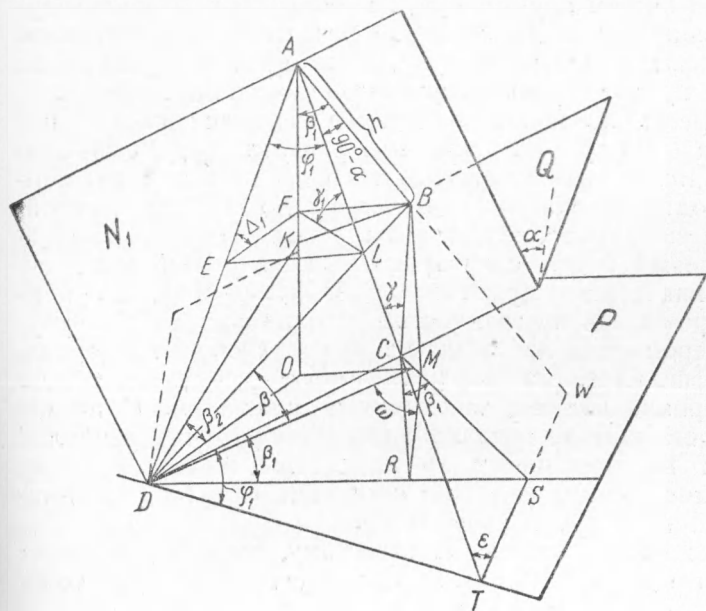


Рис. 4

Уклон плоскости Q в направлении MR равен углу β_2 , который определится из соотношения $\text{tg } \beta_2 = \text{tg } \beta \times \cos \omega$. Продолжив плоскость ABC до пересечения ее с горизонтальной плоскостью P по прямой WT , получим в нижней части рис. 4 прямую

треугольник CST . Он наклонен к вертикали под углом β_1 . Угол $CTS = \epsilon$ представляет сумму углов α и некоторого угла x , который определяется из соотношения $\sin x = \sin \beta_2 / \cos \beta_1$, отсюда значение угла $\epsilon = \alpha + x$ определится из соотношения $\sin \epsilon = \frac{\sin \alpha \sqrt{\cos^2 \beta_1 - \sin^2 \beta_2} + \cos \alpha \sin \beta_2}{\cos \beta_1}$.

Из прямоугольного треугольника SCT отрезок $CT = CS / \sin \epsilon$. Из прямоугольного треугольника DCS отрезок $DC = CS \operatorname{ctg} \beta_1$. В прямоугольном треугольнике CDT угол $CDT = \varphi_1$ определяется из соотношения $\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{\sin \beta_1}{\cos \beta_1 \sin \epsilon} = \frac{\sin \beta_1}{\sin \alpha \sqrt{\cos^2 \beta_1 - \sin^2 \beta_2} + \cos \alpha \sin \beta_2}$.

Проведя горизонтальную плоскость $FBLE$ (по аналогии с рис. 2), находим из прямоугольных треугольников ABF , ABL , ALF , ALE и AEF углы γ_1 и Δ_1 . Угол γ_1 характеризует новый уклон реки в прежнем русле AC : $\sin \gamma_1 = \cos \beta_1 / \sin \alpha$.

Угол наибольшего уклона местности Δ_1 определяется из соотношения $\sin \Delta_1 = \frac{\cos \beta_1 \sin \alpha}{\cos \varphi_1}$.

Из полученных формул видно, что в общем случае «вращение» первоначально горизонтальной плоскости Q при эпейрогенических поднятиях можно свести к совокупности «вращений» этой плоскости в двух взаимно-перпендикулярных направлениях — параллельном и перпендикулярном прежнему уклону наклонной равнины. При эпейрогеническом воздымании все точки поверхности региона будут двигаться по окружностям, лежащим в вертикальных плоскостях вследствие «вращения» плоскости Q (рис. 2 и 4). Движение это совершается равномерно (хотя бы в небольших отрезках геологического времени). Положение русла реки в каждый момент геологического времени соответствует проекциям движущихся по окружностям точек поверхности на горизонтальную плоскость. Поэтому смещение русла реки при диагональной эрозии представляет собой гармоническое колебательное движение. В общем случае, при наличии двух взаимно-перпендикулярных гармонических движений русла, их результирующая направлена по диагонали параллелограмма, построенного на них. Она является также прямолинейным гармоническим движением ⁽²⁾.

Многие долины рек молотовского Прикамья являются следствием интенсивной диагональной эрозии. Например, р. Обва — крупный правобережный приток Камы — образует вместе со своим истинным верховьем р. Лысьвей одну прямолинейную долину до 140 км длиной, ориентированную на северо-восток. Долина эта имеет очень большую ширину и пологий левый берег, с которого в Лысьву-Обву впадают крупные реки: Верхняя Обва с притоками Буб, Кызьва и Сива, ориентированными с северо-запада на юго-восток параллельно друг другу. Ниже в Обву с северо-запада же впадают: Язьва, Сюрва и Нердва, имеющие то же направление. Все эти реки имеют длину от 60 до 100 км и весьма широкие долины, заполненные аллювием. С противоположного же берега в Обву впадают лишь мелкие ручьи, наиболее крупные из которых не превышают 15 км длины и имеют узкие глубокие долины. Здесь наглядно видно сползание Обвы на юго-восток к оси Прикамской вогнутой равнины ⁽¹⁾.

Эти примеры можно умножить. Повидимому, широкие древние асимметричные долины Днепра, Дона и многих других рек СССР тоже обязаны своим происхождением диагональной эрозии этих рек.

Молотовский государственный университет
им. А. М. Горького

Поступило
11 V 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. А. Апродов, Изв. Гос. геогр. сб-ва, № 1 (1943). ² З. Гримзель. Курс физики, ч. I, 1928.