

УДК.551.4.01

**С. С. ВОСКРЕСЕНСКИЙ, К. С. ВОСКРЕСЕНСКИЙ**  
**ВЫРАБОТАННЫЙ ПРОДОЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ РЕКИ**  
**(уклон как функция водности)**

В результате преобразования кривой продольного профиля в соответствии с изменяющимся расходом (для рек с выровненным продольным профилем) появляется возможность уловить деформации продольного профиля, обусловленные другими факторами. Рассматриваемые примеры (50 рек Среднесибирского плоскогорья, Верхнеколымского нагорья и Амурско-Зейской равнины) позволяют выявить наличие функциональной связи между расходом и уклоном дна долины.

Продольный профиль реки — одно из важнейших понятий в геоморфологии. В предлагаемой работе сделана попытка анализа выровненного продольного профиля реки, точнее выработанного продольного профиля речной долины. Под последним понимается кривая, выработанная водным потоком в течение геологически длительного времени, при условии, что работа рек протекала в относительно стабильных условиях и уклоны не искажены недавними дифференцированными тектоническими движениями<sup>1</sup>. Каждый отрезок выработанного продольного профиля сформирован в результате установившегося взаимодействия между потоком и его ложем. Выровненные профили могут быть у рек равнин, плоскогорий и горных стран.

Имеется ряд обзоров литературы по этому вопросу, в частности, в книгах К. К. Маркова (1948) и Н. И. Маккавеева (1955). Опубликован ряд работ учеников Н. И. Маккавеева: Е. Н. Былинского (1957, 1958), Р. С. Чалова (1968), О. А. Борсука (1973), Л. Ф. Литвина (1970), посвященных продольному профилю реки. Размер журнальной статьи не позволяет сделать обстоятельный обзор литературы по данному вопросу.

К. К. Марков (1948) пишет: «...следует различать три главных типа продольного профиля, отвечающие стадиям развития этого профиля: а) невыровненный, б) выровненный, в) предельный». Под выровненным продольным профилем К. К. Марков понимает профиль реки, сформированный за достаточно длительное время, с закономерным уменьшением уклонов от истока к устью, в форме которого отражено влияние водности, устойчивости пород к размыву и тектонических движений. Это определение не противоречит определению Н. И. Маккавеева (1962, 1964, 1971): «Профиль, имеющий сравнительно стабильную форму, соответствующую выровненной транспортирующей способности потока, следует называть выработанным продольным профилем».

Форма продольного профиля реки, т. е. изменение его уклона зависит от многих причин. «... Кривая равновесия будет всегда (и в различной степени) иметь неправильную и незакономерную форму, поскольку она

<sup>1</sup> Основные положения данной статьи докладывались на IV пленуме Геоморфологической комиссии в Новосибирске в 1966 г. Они, в общем, были одобрены. Однако справедливо указывалось, что выводы недостаточно проверены на фактическом материале. В данной статье приведены данные проверки, основанные на обширном материале.

является выражением целого ряда факторов, из которых многие не подчиняются какой-либо зависимости, как-то: пестрое строение коренного ложа реки, частота и водность притоков и т. д.» (Марков, 1948). Это заключение К. К. Маркова направлено в основном против попыток аппроксимации кривых продольного профиля, но не против стремления исследователей вникнуть в сущность данного явления.

Анализируя продольные выработанные профили, удается получить много важных данных о новейших движениях земной коры, об истории развития территории и т. п. Однако свойственное почти всем продольным профилям уменьшение крутизны с увеличением водности существенно затрудняет анализ. Поэтому для целей подобного анализа влияние этого важнейшего фактора, сказывающегося на распределении уклонов по продольному профилю, весьма желательно исключить. Для этого необходимо выяснить, какова связь между уклоном и расходом воды. После этого можно приступить к выяснению роли сопротивляемости пород размыву, а затем дать количественную оценку интенсивности движений земной коры, деформирующих продольный профиль реки, и вести дальнейший анализ.

Многими исследователями показано, что между уклоном и расходом воды по длине реки с выработанным продольным профилем существует обратная зависимость. Как известно, первостепенное значение для формирования продольного профиля (размывающей или аккумуляющей деятельности потока) имеет скорость течения. Она зависит от уклона и от величины трения. Последнее, в общем, пропорционально величине смоченного периметра. При увеличении расхода (при равных скоростях) смоченный периметр возрастает пропорционально корню квадратному от площади живого сечения или, иначе говоря, от величины расхода. Крупный водный поток и при малых уклонах может иметь значительную скорость течения. В общей форме это вытекает из уравнения Шези  $V = C\sqrt{Ri}$ . Следовательно, при выровненном продольном профиле, при равных скоростях водных потоков сформировавшийся уклон есть функция расхода, т. е.  $i = f(Q)$ , где  $i$  — уклон, а  $Q$  — расход и, следовательно,  $i = K(1/\sqrt{Q})$  ( $K$  — коэффициент пропорциональности). Отношение уклона к обратной величине расхода воды, взятой под квадратным корнем  $i/(1/\sqrt{Q})$ , можно рассматривать как «приведенный уклон», т. е. уклон дна долины с учетом расхода воды, обычно нарастающего вниз по течению.

Из сказанного следует, что при выработанном продольном профиле и при прочих равных условиях (однообразной литологии, длительной тектонической стабильности, сходной истории развития) отношение уклона к корню квадратному из расхода для данной реки есть величина постоянная:  $i/(1/\sqrt{Q}) = i\sqrt{Q} = \text{const}$ , т. е. «приведенный уклон» для данной реки должен быть постоянным (при выработанном продольном профиле).

Это отношение уклона к обратной величине корня квадратного от расхода — «приведенного уклона» для удобства пользования в дальнейшем мы обозначим буквой  $\tau$ . Следует ожидать, что величина  $\tau$  будет одинакова не только для одной реки, но и для смежных рек, протекающих в одинаковых условиях. Если по оси абсцисс откладывать длину водотока, а по оси ординат величину  $\tau$ , то для рек с выработанным продольным профилем мы получим горизонтальную линию. Эту линию назовем «приведенным продольным профилем реки», т. е. продольным профилем реки, в котором учтено изменение водности реки вдоль по ее течению. Отклонения от горизонтальной линии на приведенном продольном профиле будут отражать или различия в устойчивости ложа потока, или неодинаковость поднятий, или другие изменения в жизни речной долины. Для рек с выровненным продольным профилем, протекающих по

территории с различными высотами (низменная равнина, плато, древняя горная страна), величина  $\tau$  будет различной. При одинаковых климатических условиях она будет отражать общую приподнятость бассейна над базисом эрозии (рис. 1).

Однако все изложенные выше теоретические предпосылки — пока лишь общие рассуждения, требующие проверки на реальном фактическом материале. Самое главное — проверка основного положения, т. е. действительно ли при выровненном продольном профиле  $i/\sqrt{Q} = \text{const}$  для данной реки. В литературе можно найти предположения, что степенной показатель здесь далеко не всегда  $1/2$  даже и при выработанном продольном профиле. Если бы удалось доказать наличие здесь функциональной зависимости, т. е. что  $i/(1/\sqrt{Q})$  есть константа (для данной реки), анализ продольных профилей рек для самых разнообразных целей получил бы «твердую» основу<sup>2</sup>.

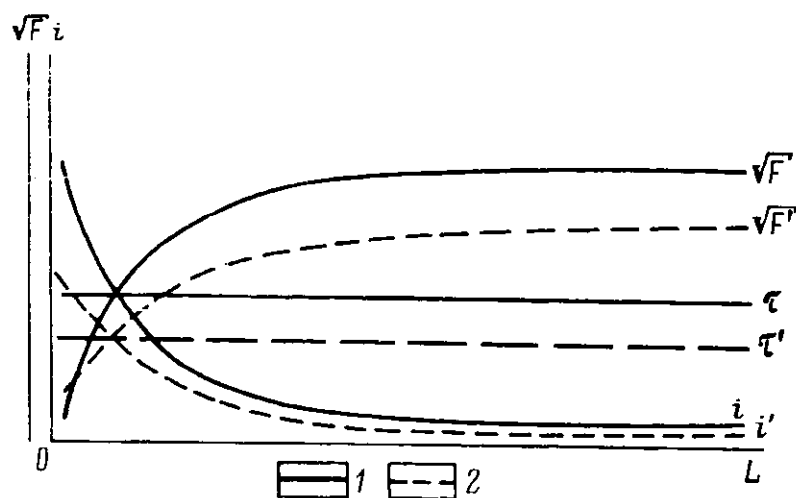


Рис. 1. Соотношение уклонов и площадей бассейна (пропорциональных расходам) на территориях, приподнятых в различной степени

1 — изменение уклона дна долины реки и площади ее бассейна с увеличением длины реки в условиях гористой местности; 2 — изменение уклона дна долины реки и площади ее бассейна с увеличением длины реки в условиях равнинной местности

Чтобы обеспечить надежную проверку изложенных выше положений, было проанализировано 50 рек в разных районах СССР, где развитие флювиального рельефа не нарушалось в течение неогена и четвертичного периода интенсивными дифференцированными тектоническими движениями, оледенениями, морскими трансгрессиями и т. п. Были выбраны следующие бассейны: верхнего течения Колымы, Зеи, Подкаменной Тунгуски. Общий обзор продольных профилей этих рек говорит о выработанности продольных профилей рек этих территорий. Нами были измерены площади бассейнов и уклоны для замыкающих створов по следующим рекам и ручьям: Куранах, Н. Нексикан, Оротукан, Укразия, Дебин, Ат-Юрях, Светлый, Девакит, Эсчан, Герой, Веселый, Чалдон, Арангас, Балоней, Мальдяк, Утиная, Беличан, Ветвистый, Морьяк, Токай, Талон (бассейн верхнего течения Колымы); Даениха, Сохатиная, Смолиха Норская, Смолиха Меунская, Королиха, Меунчик, М. Эльга, Б. Эльга, Альнекит, Лев. Мамын, Адамиха, Полуночка, Юхточка, Клиниха, Горелый, Ветвистый, Микиткин, Косматый (правый исток), Москульчиков, Бархатиха (бассейн р. Зеи); Аммунакан, Лев Вэтэтэ, Лев. Епака, Амнуннаката, Епака, безымянный приток р. Беличан, впадающий в нее в 4 км ниже устья руч. Мойчун, Девакит, Олloch, Верх. Ихенда (бассейн р. Подкаменной Тунгуски). При этом для каждой из 50 рек сделано от 5 до 12 измерений уклонов и площадей бассейнов (всего 457 измерений). Полученные данные приведены на рис. 2, 3 и 4.

Рассмотрим сначала результаты проведенных измерений, а затем остановимся на методике их получения. Как показал опыт, необходимо заменить измерение расходов измерением площадей бассейнов, а уклоны измерять по дну долины, но не по руслу. Обоснование этого приведено ниже.

<sup>2</sup> Для нас, в частности, крайне важно, что россыпи полезных ископаемых могут формироваться только при выровненном продольном профиле, т. е. при условии, что  $i/(1/\sqrt{Q}) = i/\sqrt{Q} = \text{const}$ .

По бассейну верхнего течения Колымы получены следующие данные (рис. 2 и 3).

По 15 рекам (из 20) на всем их протяжении коэффициент корреляции (зависимость уклона от корня квадратного от расхода — из площади бассейна)  $r=0,97$ . По трем рекам имеются отклонения на отдельных отрезках, которые понижают коэффициент корреляции  $r$  до 0,8. По двум рекам коэффициент корреляции уклона и расхода  $r$  падает до 0,6. Если же брать данные не по отдельным рекам, а по всему бассейну верхнего течения Колымы, то из 142 измерений уклона и расхода 132 измерения обнаруживают корреляцию выше 0,97 и лишь 10 выпадают из общей закономерности.

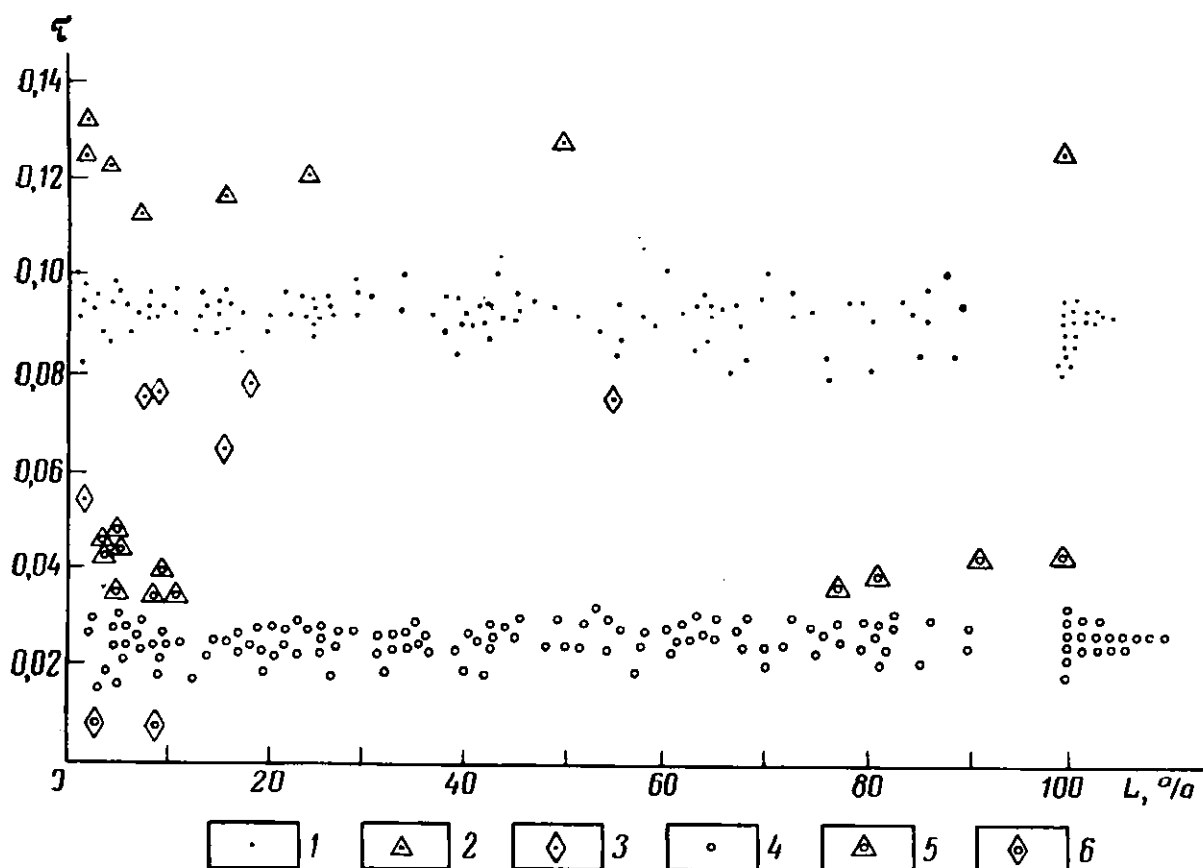


Рис. 2. Отношение уклонов ( $i$ ) и площадей бассейнов ( $F$ ) (расходов) — коэффициент  $\tau$  — в разных частях протяжения реки в различных районах и в условиях различной литологии

1 — отношение уклонов ( $i$ ) и площадей бассейнов ( $F$ ) для рек бассейна верхнего течения р. Колымы. Уклоны дна долины на участках, сложенных горными породами верхоянского комплекса (алевролиты, песчаники, глинистые сланцы); 2 — то же на участках, сложенных гранитами; 3 — то же на участках развития рыхлых отложений; 4 — то же для Амуро-Зейской равнины на участках, сложенных осадочными породами; 5 — то же для участков, сложенных гранитами; 6 — то же для участков развития рыхлых отложений

По трем рекам, где коэффициент корреляции  $r$  снижен до 0,8, отклонения, вызывающие понижение  $r$ , имеют совершенно очевидные причины — эти реки берут начало на гранитных массивах. Сопrotивляемость ложа потока в гранитах, судя по полученным соотношениям  $i$  и  $1/\sqrt{F}$ , повышена на 24—37%. Сравнить эти участки рек с участками, проложенными в однообразных толщах верхоянского комплекса, можно лишь при учете различной литологии. Пока мы не имеем соответствующих переходных коэффициентов, эти участки надлежит рассматривать отдельно, а из общего рассмотрения исключить.

Остановимся на уклонах рек, для которых коэффициенты корреляции низкие. Р. Дебин длиной 120 км в среднем течении пересекает ущельем интенсивно поднимающийся гранитный массив. В нижнем течении профиль ее выработанный, а коэффициент корреляции  $r$  между  $i$  и  $1/\sqrt{F}$  такой же, как у всех других рек района. В среднем и верхнем течении профиль не выработан. Руч. Токай (длиной 8 км) протекает среди морен последнего оледенения. Он также не успел выработать себе

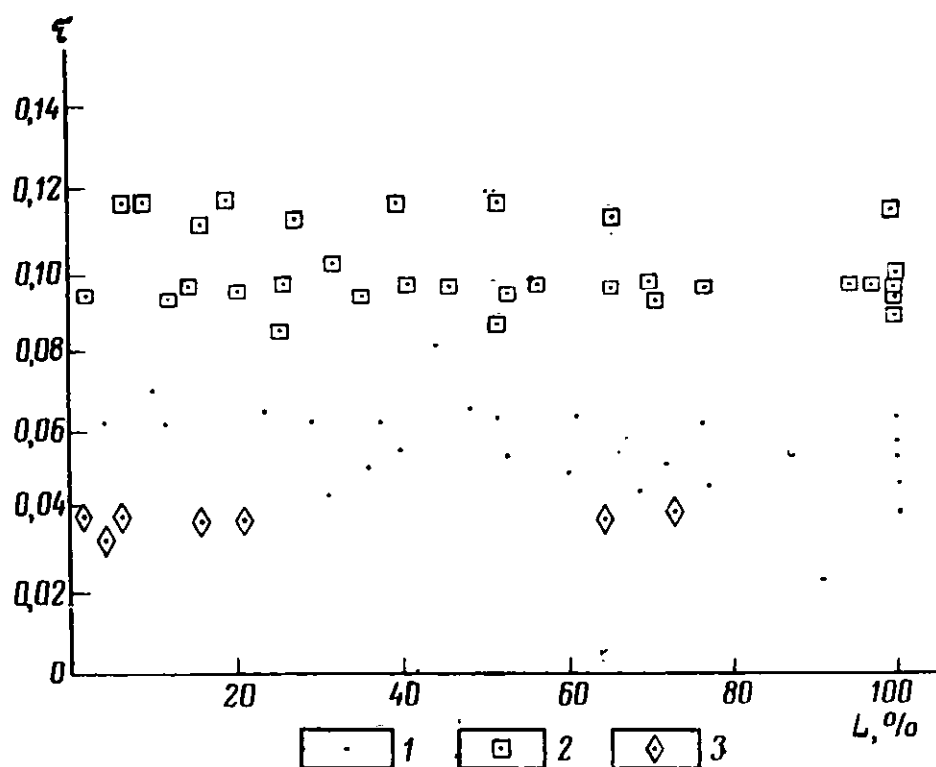


Рис. 3. Отношение уклонов ( $i$ ) и площадей бассейнов ( $F$ ) (расходов) для участков рек в условиях различной литологии (бассейн Подкаменной Тунгуски)

1 — для участков распространения осадочных отложений, 2 — то же для гранитов (долеритов, диабазов); 3 — то же для рыхлых отложений

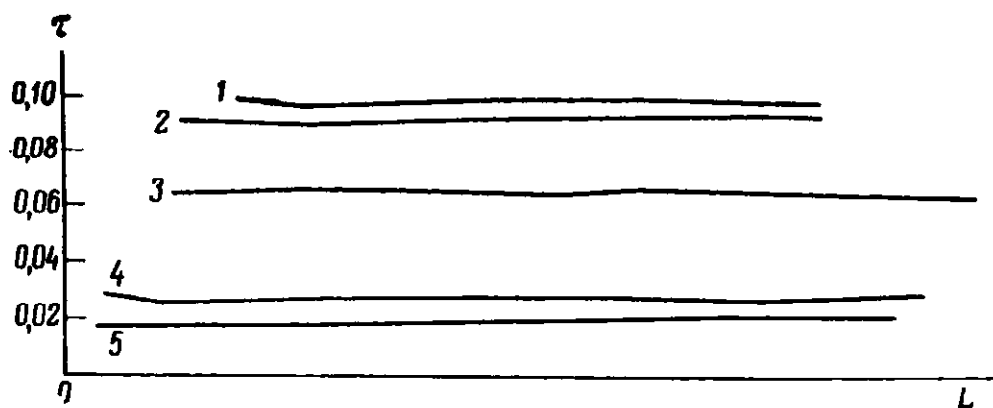


Рис. 4. Приведенные продольные профили рек при однообразной литологии в условиях среднегорья (1, 2), плоскогорья (3), равнины (4, 5)

1 — руч. Веселый в бассейне верхнего течения р. Колымы; 2 — р. Эсчан (там же); 3 — р. Амуннакан в бассейне р. Подкаменной Тунгуски; 4 — р. Бархатиха в бассейне р. Норы (приток р. Селемджи); 5 — р. Большая Эльга в бассейне р. Норы (приток р. Селемджи)

профиль. Таким образом, в данном случае «исключения подтверждают правила».

Таким образом, во всех 100% случаев, когда профили выработаны и выходы гранитов не усложняют картину, наблюдается корреляция между  $i$  и  $1/\sqrt{F}$ , превышающая 0,97. Более высокого коэффициента корреляции ожидать невозможно, так как: а) литология (сопротивляемость размыву) даже весьма однородных толщ верхоянского комплекса не на все 100% одинакова, среди толщи иногда попадаются окварцованные или раздробленные зоны; б) карты все же не идеально точны, а поэтому не исключены ошибки в измерении уклонов; в) равномерность стока даже для небольших бассейнов тоже не на 100% однородна.

4. Основной вывод: перед нами несомненная функциональная зависимость, а не коррелятивная связь между  $1/\sqrt{F}$  и  $i$ .

На Амуро-Зейской равнине уклоны меньше в среднем в 3,9 раза, вследствие чего меньше и значение коэффициента  $r$ . Если учесть, что модуль стока здесь около 10,0 против 7,5 в бассейне верхнего течения Ко-

лымы, отношение  $i/(1/\sqrt{F})$ , т. е. коэффициент  $\tau$  (в пересчете на большую водность) меньше в 2,9 раза<sup>3</sup>.

Анализ результатов 144 измерений уклонов и площадей бассейнов в этом районе (рис. 2, 3) показывает следующее.

Для 16 рек коэффициент корреляции  $r$  более 0,93, для трех рек 0,80—0,93 и для одной реки около 0,6. Несколько больший разброс точек виден и на рис. 2. Если исключить резко выпадающие точки, на что есть все основания, поскольку в данных местах измерения уклоны увеличены вследствие повышенной устойчивости горных пород к размыву, то для 124 измерений окажется, что они слабо отклоняются от прямой приведенного профиля, и коэффициент корреляции близок к 0,91.

И без того очень высокий коэффициент корреляции (0,93) существенно увеличится (до 0,96—0,97), если исключить участки сужения долин, заложенные в пределах сопочных массивов. Из общей картины резко выпадает одна река — Сохатиная, профиль которой в нижнем течении имеет аномально большой уклон. Причина этого не ясна, однако вполне возможна недавняя перестройка речной сети в бассейне р. Сохатиной. В сущности характер приведенного продольного профиля указывает именно на это.

Несколько пониженные по сравнению с бассейном верхнего течения Колымы показатели объясняются, во-первых, тем, что с уменьшением уклонов несколько возрастает ошибка их измерений и, во-вторых, большей пестротой литологии в бассейне Зеи.

Речные долины пересекают выходы различных по устойчивости пород: рыхлые отложения, коры выветривания, почти неветрелые горные породы. Кроме того, значительная часть рек берет начало с сопочных массивов, вследствие чего 9 рек из 20 характеризуются аномально большим коэффициентом  $\tau$  (велики уклоны в верховьях). У двух рек, берущих начало на плоских озерно-болотных равнинах, уклоны в верховьях, наоборот, аномально малы.

Основной вывод из полученных данных: существует функциональная связь между уклоном  $i$  и водностью (выраженной через площадь бассейна  $F$ ) при выровненном продольном профиле.

Еще более сложно формируются продольные профили рек в бассейне Подкаменной Тунгуски на Среднесибирском плоскогорье. Слагающие его горные породы по своей устойчивости к размыву распадаются на три комплекса: траппы, осадочные породы палеозоя и мезозоя, кайнозойские рыхлые отложения. Последние занимают небольшие площади. За длительное время — во всяком случае несколько миллионов лет — продольные профили рек приспособились к различной устойчивости пород. Несмотря на ступенчатость, наличие шивер и порогов, продольные профили выровненные<sup>4</sup>.

Коэффициенты корреляции (и близкие величины «приведенного уклона» — коэффициента  $\tau$ ) достигают 0,88—0,95 лишь в тех случаях, когда долина проложена в однородных породах. Коэффициент  $\tau$  для траппов колеблется в пределах 0,123—0,92; для осадочных, туфогенно-осадочных пород — 0,6—0,4. Коэффициенты корреляции приходится определять отдельно для участков долин с однообразной литологией, тогда они превышают 0,9 и для траппов, и для осадочных пород. Таким образом, и здесь еще раз выступает функциональная связь. Если же не учитывать литологию и неодинаковую приподнятость различных частей плоскогорья, то картина получается совершенно беспорядочная.

<sup>3</sup> Почти точно на такую же величину снижается крупность аллювия рек сравнимых размеров и средняя крупность россыпного золота.

<sup>4</sup> Но, естественно, не предельные и притом увеличившие свою крутизну в неогене и четвертичном периоде.

Вернемся к методике измерений. Для получения надежных результатов она имеет решающее значение. При определении расходов и уклонов возник ряд трудностей.

Во-первых, замеры расхода в разных частях течения проведены только на крупных реках. На небольших реках в лучшем случае имеется один створ, по которому проведены измерения расходов, а то и вовсе нет измерений. Нам же нужны небольшие реки длиной 10—120 км, так как при большей длине проявляются существенные различия в литологии, интенсивности поднятий, модулях стока в пределах всего бассейна или течения реки. Среднегодовой расход небольших рек пропорционален площади бассейна. Во всяком случае отклонение от среднего здесь меньше, чем ошибка в измерении расходов. Однако нам нужны не средние, а максимальные расходы с 5—10%-ной повторяемостью, т. е. руслоформирующие. Как известно, именно при максимальных расходах осуществляется почти вся морфогенетическая деятельность реки. Принимая, что между максимальным расходом и площадью бассейна существует линейная зависимость, мы конечно делаем достаточно произвольное допущение. При прочих равных условиях на малых реках максимальные расходы относительно больше отклоняются от средних. В известной мере здесь, по-видимому, уравнивающее значение имеет большая длительность руслоформирующих (максимальных) расходов на крупных реках по сравнению с малыми.

Изложенные соображения позволяют заменить в наших расчетах руслоформирующий расход  $Q$  площадью бассейна  $F$ . Приведенные выше натурные данные полностью оправдали правомерность сделанного допущения. Точность измерения площади бассейна по крупномасштабным картам, естественно, превышает точность измерений расходов в половодье или в паводки. Какова ошибка, которую мы делаем, допуская замену руслоформирующего расхода площадью бассейна (умноженной на модуль стока), сказать в настоящее время затруднительно. Вряд ли можно сомневаться, что она больше ошибок измерения расходов.

Во-вторых, существуют определенные трудности измерения уклона. В зависимости от местных условий уклоны могут меняться. Чтобы получить осредненный уклон, приходится проводить измерения на участке долины на 3—5% длины водотока вверх и вниз от створа, от которого считалась площадь бассейна. Современные крупномасштабные карты обеспечивают достаточную точность измерения уклонов. Важен вопрос, как вести измерение уклона: по дну долины — по поверхности поймы или же по урезу воды вдоль русла. Казалось бы, поскольку рельефообразующая деятельность потока в основном приурочена к руслу, следует вести измерение по руслу, определяя уклоны во время рельефообразующих расходов — в половодье или высокие паводки. Однако рельефообразующая деятельность потока происходит на всей поверхности днища долины, т. е. в сферу его деятельности включается и пойма. Поток должен срезать под один уровень всю поверхность в пределах днища. На поверхности поймы он оставляет (временно) тонкий материал — пойменную фацию аллювия. Положение русла в ходе формирования поймы постоянно меняется. Много раз через долину будет мигрировать русло, пока сформируется пойма: для этого требуется геологически длительное время порядка 3—10 тыс. лет, в течение которого формируются все особенности строения поймы в том числе и уклоны. В горных долинах с узкой плохо развитой поймой извилистость русла не велика и почти безразлично, как провести измерение — по руслу или по днищу долины. При большом коэффициенте извилистости разница в уклонах становится весьма существенной. Измерение уклонов вдоль русла тоже представляет интерес, но прежде всего для изучения морфологии русла. В данном случае нас интересует формирование днища до-

лины и поэтому необходимо исходить из его морфометрических характеристик (в том числе и уклонов), а не из характеристик поверхности воды в русле, существующих лишь «мгновение» — в геологическом масштабе времени. Исходя из сказанного уклон должен измеряться по поверхности поймы вдоль оси долины, но ни в коем случае не вдоль русла. В пределах поймы имеются неровности — валы, ложбины и т. д., обычно существует несколько разновысотных уровней поймы. Поэтому измерение уклона у каждого створа необходимо выполнить 2 — 3 раза. Если расхождения оказываются существенными, приходится делать и больше измерений, чтобы получить достаточно достоверную величину.

В-третьих, допуская, что сопротивляемость горных пород размыву одинакова в пределах данного участка долины (или его отрезка), мы заведомо делаем ошибку. Как показали измерения, эта ошибка при внешней однородности горных пород может достигать 10%, хотя обычно она много меньше.

В-четвертых, ошибка может возникать за счет неточности карт и неточности производимых измерений. Измерения по крупномасштабным картам разных масштабов показали, что отличия никогда не достигают 10%, а обычно составляют менее 1%. Разумеется, желательно измерения производить по наиболее точным картам. Особенно это касается уклонов, так как величина площади бассейна входит в соотношение под корнем, и поэтому ошибка в измерении становится менее значительной для дальнейшего расчета.

Полученные данные позволяют утверждать, что при выровненном профиле речной долины существует функциональная связь между расходом (площадью бассейна) и уклоном дна долины. Опираясь на полученную закономерность возможно дать числовые характеристики сопротивляемости горных пород размыву. После введения поправки «на сопротивляемость» возможно дать числовую оценку интенсивности дифференцированных поднятий, по крайней мере, за конец плейстоцена — голоцен. По нарушению в характере «приведенного профиля» возможно установить наличие перестроек речных систем в плейстоцене и голоцене. Можно также провести изолинии равновеликих поднятий и тем самым оконтурить участки локальных поднятий и опусканий.

В справедливости изложенного легко можно убедиться. Однако необходимо учитывать сказанное выше о методике измерений. Можно пробовать измерять и иначе, по другим методикам. Нами были испробованы многие способы. Предложенный дал наилучшие результаты.

Для территорий с невыработанными профилями речных долин функциональной связи между уклоном и площадью бассейна (расходом) нам установить не удалось. Для областей, покрывавшихся в плейстоцене льдами, «приведенные уклоны» — коэффициенты отличаются неравномерностью — «приведенный профиль» ступенчат. В интенсивно и неравномерно воздымающихся горах отношение  $i$  к  $\sqrt{Q}$  (или  $\sqrt{F}$ ), т. е. коэффициент  $\tau$  постепенно нарастает к оси поднятия. Такое соотношение выявляется при анализе продольных профилей рек в горах Большого Кавказа. Не выработаны продольные профили рек в зоне полупустынь и пустынь.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Борсук О. А. Отражение физико-географических условий и особенности развития речной сети в продольном профиле реки. Материалы Моск. фил. геогр. о-ва СССР. В сб. «Геоморфология», М., 1973.
- Былинский Е. Н. Местные базисы эрозии и их влияние на развитие продольного профиля реки. «Вестн. Моск. ун-та. Сер. биол., почвовед., геол. и геогр.», № 4, 1957.
- Былинский Е. Н. Влияние Днепровских порогов на развитие продольного профиля Днепра в четвертичное время. Сб. статей аспирантов Моск. ун-та. Геогр. фак-т, М., 1958.



- Литвин Л. Ф.* Развитие процессов эрозии в горных условиях (на примере южного склона Западного Кавказа). Автореферат канд. дис. М., 1970.
- Маккавеев Н. И.* Русло реки и эрозия в ее бассейне. М., Изд-во АН СССР, 1955.
- Маккавеев Н. И.* Новое в развитии теории продольного профиля рек. «Изв. АН СССР. Сер. геогр.», № 6, 1962.
- Маккавеев Н. И., Чалов Р. С.* О развитии поверхности речных террас и признаки глубинной эрозии на примере верхней Оби. «Изв. АН СССР. Сер. геогр.», № 4, 1964.
- Маккавеев Н. И.* Сток и русловые процессы. «Тексты лекций для геоморфологов». Изд-во МГУ, 1971.
- Марков К. К.* Основные проблемы геоморфологии. М., Географгиз, 1948.
- Чалов Р. С., Беркович К. М.* Морфологические типы русел горных рек (на примере рек. Абхазии). В кн. «Проблемы речного стока». М., Гидрометиздат. 1968.

Географический факультет МГУ

Поступила в редакцию  
26.II.1974

---

## GRADED LONGITUDINAL RIVER PROFILE (GRADIENT AS A FUNCTION OF STREAM DISCHARGE)

S. S. VOSKRESENSKY, K. S. VOSKRESENSKY

### Summary

Changes of stream discharge along river profile impede an analysis of the river profile curve. Adjusting the profile curve to the discharge changes (for rivers with graded longitudinal profile) we can see the profile deformations due to some other factors. The adjustment of 50 rivers whose profiles have been developed for many millions years allows to reveal functional correlation between stream discharge and valley gradient:  $i = K\sqrt{Q}$ . Such correlation has been established for rivers of the Middle-Siberian upland, Kolyma and Zeya basins. It seems to be true for all rivers with graded longitudinal profile.

---