

Д. А. ТИМОФЕЕВ, В. М. ФИРСЕНКОВА

## ОПЫТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА И СКОРОСТИ ОБЩЕЙ ДЕНУДАЦИИ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ РУССКОЙ РАВИНЫ

Определение интенсивности денудационных процессов, объемов вынесенного за ту или иную единицу времени материала, представляет важную задачу регионального геоморфологического анализа. Существуют разные методы подсчета интенсивности современной денудации и величин денудационного сноса за отдельные отрезки геолого-геоморфологической истории. Одним из наиболее перспективных и относительно простых, хотя и трудоемких, методов подсчета величин среза является метод вычисления объема эрозионно-денудационных полых форм рельефа. Этот метод основывается на допущении, что денудационный снос происходит неравномерно по территории и основная его доля приходится на полые формы, тогда как вершинные водораздельные поверхности относительно стабильны и небольшим сносом с них можно пренебречь при расчетах.

Впервые этот метод, насколько нам известно, применил К. В. Курдюков (1962) для Джунгарского Алатау. Он производил подсчет объемов эрозионных врезов путем измерения площадей планиметром и умножения полученных величин на глубину врезов. На основании этих подсчетов строилась карта линий одинаковых срезов. Аналогичный метод был предложен В. В. Бронгулевым и В. М. Муратовым (1976), подсчитавшими объем отрицательных денудационных форм и вычислившими средние скорости денудации для гор Северо-Западного Кавказа.

Ниже излагаются результаты подсчета объема полых эрозионно-денудационных форм рельефа для равнинной территории бассейна р. Сейм в Курской области. Общая площадь бассейна 25 600 км<sup>2</sup>. Исследованная территория находится на стыке двух крупных тектонических структур: Воронежской антеклизы и Днепровско-Донецкой впадины. Река Сейм и ее притоки расчленяют западный склон Среднерусской возвышенности. С севера территория бассейна ограничена северным водораздельным поднятием, с юга — южным. Между ними находится Сеймско-Свалский прогиб (Кабанова, 1968). В верховьях Сейма располагается Курское неотектоническое поднятие, к которому с запада примыкает Крупейская структурная терраса, занимающая основную площадь бассейна Сейма. По Р. В. Кабановой (1968), для этих неотектонических структур характерна большая глубина преднеогенового и неоген-четвертичного денудационного среза.

Основными рельефообразующими породами являются мергели и опоки верхнего мела. Они перекрыты песками и глинами палеогена и толщами разных по составу и происхождению четвертичных отложений. В соответствии с общим понижением поверхности с востока на запад и юго-запад происходит увеличение мощности неогеновых и четвертичных отложений. По данным исследователей, работавших в этом районе, для него характерна общая унаследованность неотектонических структур от структурно-тектонических планов мезо-кайнозойского чехла платформенных осадков и докембрийского фундамента. Так, долина р. Свалы частично унаследовала доюрскую депрессию, долина р. Тускарь — верхнемеловую и т. п. (Раскатов, 1967). Такая унаследованность, естественно, затрудняет решение задачи по определению денудационного среза по объемам полых форм рельефа, так как мы не можем достаточно точно установить, насколько эти полые формы являются чисто эрозионно-де-

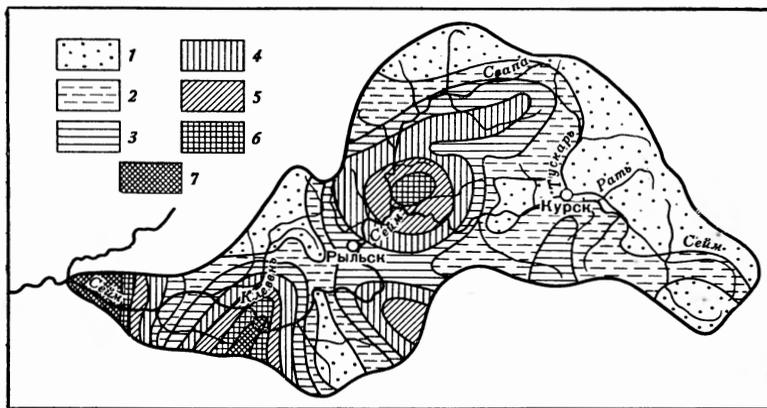
нудационным образованием и какова доля в их становлении эндогенного фактора.

Вычисление объемов денудации проводилось по крупномасштабным картам в несколько этапов. На первом этапе определялась средняя высота современной поверхности. Для этого вся территория бассейна р. Сейм была разделена на квадраты со стороной 1 см. В каждом квадрате определялась средняя высота современной поверхности. Как правило, в квадрат попадали одна-две горизонталы и высота исчислялась как средняя из двух.

Затем определялась также по квадратам высота исходной поверхности. Допускалось, что с этой поверхности не происходил снос. Поскольку исходные поверхности сохранились фрагментами, то их высота в районах отсутствия таких фрагментов определялась методом интерполяции. По разности высот исходной и современной поверхностей мы получали мощностные удаленных денудацией пород в каждом квадрате. Объем вынесенных пород вычислялся как произведение мощности пород на площадь квадрата. Сумма объемов вынесенных денудацией пород дала величину общего денудационного сноса с территории бассейна, которая оказалась равной  $1304,5 \text{ км}^3$ . Вычислялся и полный объем пород, которые могли быть вынесены при данной величине эрозионного расчленения. Вычисление полного объема производилось путем умножения площади на максимально возможную мощность денудирующихся пород (т. е. на величину расчленения современной поверхности). Вычисленный таким способом объем потенциально возможной денудации оказался равен  $2389,2 \text{ км}^3$ . Отношение объема вынесенных пород к полному объему, названное коэффициентом денудации (Бронгулеев, Муратов, 1976), составило 0,54. Эта величина указывает на то, что вынесено немного более половины существующего объема пород, т. е. что рельеф находится в стадии зрелости.

Для проверки полученных данных был использован другой метод подсчета — по бассейнам рек третьего порядка. Объем денудации определялся по квадратам отдельно для каждого бассейна малой реки. Были получены несколько иные величины общего объема вынесенных пород со всей территории бассейна Сейма: объем денудации  $1448 \text{ км}^3$ , полный объем  $2662 \text{ км}^3$ . Изменение величин, видимо, явилось следствием более подробной интерполяции фрагментов исходной поверхности, что дало изменение высот этой поверхности и соответственно увеличило мощность слоя денудации. Однако величина коэффициента денудации осталась прежней — 0,54.

Чтобы проследить пространственную динамику сноса в пределах бассейнов рек третьего порядка были подсчитаны соотношения объемов полых форм и объемов положительных форм (водоразделов). Подсчет производился по формуле  $K = O_d / O_v$ , где  $K$  — коэффициент величин среза,  $O_d$  — объем долин (полых форм),  $O_v$  — объем водоразделов. Полученные величины коэффициентов были нанесены на картосхему и проведены изолинии равных коэффициентов величин среза. Эти изолинии К. В. Курдюков (1962) предложил называть «изотемнами». Картосхема (рисунок) показывает, что наибольший объем удаленных денудацией пород приурочен к среднему и нижнему течению Сейма. Особенно интересен бассейн р. Свапы. Здесь почти до самых верховьев объем вынесенных пород почти в 2 раза превышает объем водоразделов, а коэффициент денудации колеблется от 0,6 до 0,66. Возможно, такая аномалия объясняется отмеченной выше унаследованностью долины Свапы от депрессии в рельефе доюрской поверхности. Сейчас здесь преобладает пониженный рельеф со отдельными островными массивами возвышенностей. В неоген-четвертичное время здесь шла аккумуляция. Интересен также район западнее г. Рыльска. На картосхеме (рисунок) хорошо видна полоса, поперек пересекающая долину Сейма. В ее пределах объемы водо-



Картосхема коэффициентов величин срезов бассейна р. Сейм

Коэффициенты среза: 1 — 0,6—1,0; 2 — 1,0—1,4; 3 — 1,4—1,8; 4 — 1,8—2,2; 5 — 2,2—2,6; 6 — 2,6—3,0; 7 — >3,0

разделов превышают объемы врезов. Отметим, что эта аномальная полоса расположена в области постепенного снижения современной земной поверхности с востока на запад, от верхнего и среднего течения Сейма к его низовьям. В современной гипсометрии она не видна, но по изотемнам выделилась как зона относительно малого расчленения и относительно малой денудации. В этой полосе сохранились от размыва породы палеогена, почти уничтоженные в среднем и верхнем течении Сейма. Далее на запад в нижнем течении Сейма, где известен глубокий размыв пород палеогена, выполненный четвертичными отложениями, происходит закономерное возрастание величин объема денудации, достигающих в приустьевом участке максимальных значений для всего бассейна.

Полученные величины объемов денудированных пород дали возможность подойти к оценке скорости денудации. Однако это оказалось довольно сложным делом. Мы имели вычисленный общий объем вынесенных пород ( $1304,5 \text{ км}^3$ ). Необходимо было определить время, в течение которого осуществлялся вынос этих пород, выявить тот временной рубеж, с которого началось расчленение и денудация, приведшие к созданию наблюдаемых ныне врезов. Иными словами, необходимо было определить возраст эрозионно-денудационной морфоскульптуры бассейна Сейма.

Анализ данных по истории геолого-геоморфологического развития района (Кабанова, 1968, 1971; Раскатов, 1967; Раскатов и др., 1970; Холмовой, 1970; Галицкий, Антипова, 1971; Ромашов, 1971; Геология..., 1972; Раскатов, Холмовой, 1973; Поверхности выравнивания..., 1974; Равнины..., 1974) показал: 1) унаследованности основных крупных форм рельефа с мезозоя, хотя в континентальный этап развития территория вступила в конце олигоцена; 2) наличие нескольких поверхностей выравнивания (олигоцен-миоценовой, миоценовой и плиоценовой), каждая из которых могла быть принята за исходную; 3) свидетельства нескольких эпох поднятия и усиления процессов врезания рек и расчленения территории (в позднем олигоцене — раннем миоцене, позднем миоцене — раннем плиоцене, позднем плиоцене, раннем — среднем плейстоцене, верхнем плейстоцене и голоцене). Очевидно, что во время всех этих этапов дифференцированных и общих движений земной коры и вызванных ими денудационных процессов происходила разработка полых форм рельефа, постепенное уничтожение исходных поверхностей. Ныне мы видим суммарный результат этих неотектонических движений и неоген-четвертичной денудации. В этот суммарный результат входит и какая-то неопре-

делимая доля, образованная за счет унаследованного развития морфоструктур и рельефа в целом с более ранних (допалеогеновых) эпох. Но эту долю подсчитать невозможно, или почти невозможно (такая попытка была нами сделана, о чем будет сказано ниже), и приходится ею пренебрегать в наших расчетах.

Ясно, что в зависимости от выбранного в качестве временного репера той или иной исходной поверхности будет изменяться значение вычисленной скорости денудации.

Как было сказано, последний континентальный этап развития территории бассейна Сейма начался с конца палеогена после отступления палеогенового моря. На обнажившейся морской первичной равнине с начала миоцена на фоне дифференцированных и общих движений земной коры разного знака идут процессы субаэральная денудации и аккумуляции. Одним из главных временных рубежей возраста наблюдаемых ныне полых форм является время ухода моря, т. е. конец олигоцена — начало миоцена (22 млн. лет), когда была выработана исходная водораздельная поверхность выравнивания олигоцен-миоценового возраста. Разделив вычисленный объем общей денудации ( $1304,5 \text{ км}^3$ ) на 22 млн. лет, мы получили среднюю скорость денудации за неоген-четвертичное время, равную  $0,028 \text{ мм/год}$ . Для проверки была сделана попытка сравнить палеогеновый рельеф с современным. По палеогипсометрической карте палеогенового рельефа, помещенной в монографии «Геология, гидрогеология и железные руды КМА» (1972), тем же методом, что и для современного рельефа, был подсчитан объем палеогенового рельефа. Эта величина составила  $3288 \text{ км}^3$ . Объем современного рельефа, потенциально способного денудироваться (объем водоразделов), равен  $2099 \text{ км}^3$ . Значит за неоген-четвертичное время было снесено  $1189 \text{ км}^3$  материала, что составляет в среднем снова ту же величину  $0,028 \text{ мм/год}$ . Укажем, что расчеты по палеогеновому рельефу и его сравнение с современным произвелись не для всей площади бассейна Сейма, а только для его верхнего и среднего течения, где имеются останцы олигоцен-миоценовой поверхности выравнивания.

Совсем иные величины мы получим, если за начало периода денудации примем эпоху первых врезов в миоценовую поверхность выравнивания, т. е. отсчет будем вести с конца миоцена — начала плиоцена (10—12 млн. лет). Тогда средняя скорость денудации будет равна примерно  $0,05 \text{ мм/год}$ . Приняв за точку отсчета время начала расчленения плиоценовой поверхности выравнивания (2—3 млн. лет), получим величину  $0,25 \text{ мм/год}$ . Для сравнения укажем, что средние скорости денудации горных стран, вычисленные подобным способом, дают величины  $0,02—0,07 \text{ мм/год}$  (Курдюков, 1962; Бронгулеев, Муратов, 1976).

Сравнение результатов этих расчетов с твердым стоком р. Сейм показало следующее. Средний расход взвешенных наносов реки равен  $3,18 \text{ кг/сек}$ . За год река выносит  $100\,284,5 \text{ т}$  твердого материала. В пересчете на слой годового смыва с единицы площади это составляет приблизительно  $0,026 \text{ мм/год}$ . Как видим, эта величина почти равна вычисленной нами средней скорости денудации за неоген-четвертичное время ( $0,028 \text{ мм/год}$ ). Подобная сходимость и радует истораживает.

Сейчас мы еще не располагаем сколько-нибудь убедительными и точными методами расчета соотношений между твердым стоком рек и интенсивностью общей денудации на территории их бассейнов, о соотношении между интенсивностью местной, транзитной и тотальной денудации. По имеющимся данным, реки выносят от 3—5 до 25—50% объема материала, перемещаемого процессами денудации по склонам, водоразделам и по системе малых эрозионных форм (Дедков и др., 1977). Для равнинных рек умеренного пояса величина твердого стока составляет лишь 10—15% величины общей денудации (Маккавеев, 1974; Старостина, 1974). Основная часть материала, вовлекаемого в денудацион-

ное перемещение, на неопределенное время остается в пределах бассейна реки, образуя плащи покровных отложений, делювиальные шлейфы, толщи балочного и овражного аллювия и т. д.

Если это так, то интенсивность общей денудации в бассейне р. Сейм должна быть  $0,026 \cdot 10 = 0,26$  мм/год. Эта цифра близка к полученной нами величине скорости денудации, вычисленной для верхнеплиоцен-четвертичного времени.

Обращает на себя внимание близость значений средней скорости денудации за неоген-четвертичное время (0,028 мм/год) и современного твердого стока (0,026 мм/год). Такая сходимости величин, полученных разными способами, приводит к некоторым размышлениям. Трудно допустить, чтобы, во-первых, твердый сток рек полностью отражал интенсивность денудации на территории бассейна. Во-вторых, едва ли интенсивность денудации не менялась на протяжении 22 миллионов лет столь богатой событиями неоген-четвертичной истории геоморфологической жизни. Тем не менее такая сходимости имеется. Видимо, мы встречаемся здесь со счастливым случаем, когда современный твердый сток оказался близким по величине к средним значениям сноса за длительный промежуток времени. Любопытно, что, если мы примем величину 0,026—0,028 мм/год за наиболее близкую к истинной средней скорости денудации, то она будет иметь тот же порядок, что и величины скорости денудации в горах (0,02—0,07 мм/год). Это обстоятельство требует своего объяснения.

Несомненно, что для получения более точных данных необходимо проводить дифференцированные расчеты величин денудации за отдельные отрезки геоморфологической истории, необходимо составление палеогипсометрических схем на основные возрастные срезы. Пока такими данными мы не располагаем и вынуждены оперировать средними величинами, которые, однако, тоже представляют известный интерес.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Бронгулеев В. В., Муратов В. М. Опыт определения объема денудации в горах морфометрическим способом. «Геоморфология», № 1, 1976.
- Галицкий В. И., Антипова Р. В. Важнейшие черты палеорельефа западных склонов Среднерусской возвышенности. В сб. «Геоморфология центр. части Русской равнины». М., 1971.
- Геология, гидрогеология и железные руды КМА. М., «Недра», 1972.
- Дедков А. П., Мозжерин В. И., Ступишин А. В., Трофимов А. М. Климатическая геоморфология денудационных равнин. Изд-во Казанск. ун-та, 1977.
- Кабанова Р. В. О связи новейших тектонических движений со структурным планом центральной части территории КМА. В сб. «Проблемы тектонич. движений и новейших структур земной коры». М., «Наука», 1968.
- Кабанова Р. В. Основные этапы формирования рельефа территории Курской области. В сб. «Геоморфология центр. части Русской равнины». М., 1971.
- Курдюков К. В. Неотектоническая карта Джунгарского Алатау и принципы ее составления. «Бюл. Комис. по изучению четвертич. периода», № 27, 1962.
- Маккавеев Н. И. Эрозионные процессы на Русской равнине. В сб. «Эрозия почв и русловые процессы». вып. 4. Изд-во МГУ, 1974.
- Поверхности выравнивания и коры выветривания на территории СССР. М., «Недра», 1974.
- Равнины Европейской части СССР. Геоморфология СССР. М., «Наука», 1974.
- Раскатов Г. И. Неотектоническая структура территории Воронежской антеклизы. В сб. «Тектонич. движения и новейшие структуры земной коры». М., «Недра», 1967.
- Раскатов Г. И., Лукьянов В. Ф., Шишов В. В., Старухин А. А. Связь рельефа основных поверхностей несогласия со структурой осадочного чехла и рельефом земной поверхности на примере северо-западной части Воронежской антеклизы. В сб. «Проблемы палеогеоморфологии». М., «Наука», 1970.
- Раскатов Г. И., Холмовой Г. В. Поверхности выравнивания в рельефе ЦЧО, их дешифровочные признаки и значение для структурного анализа. В сб. «Применение аэро-геол. и морфометрич. методов для изучения неотектоники и глубинного строения Русской платформы». Воронеж, 1973.
- Ромашов В. А. Основные этапы развития рельефа юго-западных склонов Среднерусской возвышенности. В сб. «Геоморфология центр. части Русской равнины». М., 1971.

Старостина И. В. О возможности предсказания стока наносов на примере р. Медвянки. В сб. «Природн. ресурсы Москвы и Подмосковья». М., 1974.

Холмовай Г. В. О неогеновых поверхностях выравнивания на юго-востоке Среднерусской возвышенности. В сб. «Матер. по геологии и полезн. ископаемым центр. районов Европейской части СССР», вып. 6. М., 1970.

Институт географии АН СССР

Поступила в редакцию  
26.XII.1977

## AN ATTEMPT OF DENUDATIONAL VOLUME AND RATE ESTIMATION UNDER FOREST-STEPPE AT THE RUSSIAN PLAIN

D. A. TIMOFEEV, V. M. FIRSENKOVA

### Summary

The total erosion at the Seim River basin (Middle Russian Elevation) has been estimated by calculation of the volume of concave erosional landforms. Coefficient of denudation, i. e. volume of eroded rocks to total volume of valley and interfluves ratio is equal to 0,54, which indicates the maturity of the relief under consideration. Erosion rate calculated for Neogene and Quaternary appeared to be 0,028 mm per year, the value being close to the contemporary solid discharge of the Seim River (0,026 mm per year).

УДК 551.435.1

Н. В. ХМЕЛЕВА, Б. Ф. ШЕВЧЕНКО

## РАЗВИТИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ВРЕМЕННЫХ ВОДОТОКОВ В УСЛОВИЯХ ГОРНЫХ МАССИВОВ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ АБХАЗИИ (ПО МНОГОЛЕТНИМ НАБЛЮДЕНИЯМ)

Особенности развития низших звеньев горных водотоков и форм, ими создаваемых, до сих пор слабо изучены. Результаты стационарных исследований таких форм, впервые начатых на Тянь-Шане М. И. Ивероновой (1963) и наших по Кавказу (Хмелева и др., 1974а), публиковались за короткие ряды лет. В настоящей статье подводятся итоги наблюдений за развитием эрозионных форм, которые регулярно проводятся с помощью фототеодолитных и теодолитных съемок начиная с 1963 г. и до настоящего времени с годовым и реже полугодовыми интервалами. Сроки и этапы наблюдений указаны в табл. 1.

Наблюдения проводятся на небольших по длине участках четырех эрозионных форм, представляющих единый ряд, включающий промоину, овраг, балку (Чигирипш) и малую реку Анахомсту. В трех из них водотоки появляются эпизодически за счет жидких осадков преимущественно с июня по сентябрь. Река Анахомста представляет переходный тип, в ней в течение большей части года наблюдается постоянный водоток, но в засушливые годы он нередко летом пересыхает.

Располагаясь параллельно на расстоянии 3—5 км друг от друга, эти формы пересекают Гагринский известняковый массив между Гантиади и Гагрой. Морфология этих форм и проявление в них эрозион-