

estimate the gullies formation dynamics and to describe some special features of the erosion in the area. The gullies development appeared to change considerably in the course of time. At present the gullies' density tends to increase due to inception of new gullies and reactivation of old ones.

УДК 551.435(235.216)

КУРБАТОВА Л. С., ПЕРЕСЛЕГИНА Р. Е.

ИНТЕНСИВНОСТЬ СОВРЕМЕННОЙ ДЕНУДАЦИИ СЕВЕРНОГО СКЛОНА АЛАЙСКОГО ХРЕБТА

В настоящей статье авторы приводят результаты расчета интенсивности современной денудации северного склона Алайского хребта, полученные по данным о твердом стоке рек, а также методом подсчета объема осадконакопления в горном озере. Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки, но они дополняют друг друга и вследствие этого мы можем получить относительно объективное представление об интенсивности денудации в данном районе.

Ранее К. В. Курдюков [1] подсчитал интенсивность денудации северного склона Алайского хребта, составляющую 0,10 мм/год. Расчет был сделан по твердому стоку рек без учета влекомых наносов и химической денудации. Мы в своих расчетах попытались восполнить эти недостающие данные.

Интенсивность денудации определяется следующими факторами: 1) количеством осадков и интенсивностью поступления дождевых, талых, снеговых и ледниковых вод на поверхность водосбора; 2) устойчивостью горных пород по отношению к размыву и смыву, что в свою очередь определяется главным образом составом этих пород и воздействием на них климатических факторов (осадков, температуры и пр.); 3) степенью залесенности и задернованности водосборных бассейнов; 4) крутизной и экспозицией склонов хребтов, а также уклоном русла реки; 5) деятельностью человека, которая может уменьшить или увеличить эрозию и твердый сток рек в зависимости от характера и системы землепользования. Так, например, распашка склонов и выпас скота способствуют развитию эрозии почв.

Как было сказано ранее, твердый сток складывается из взвешенных, влекомых и ионных составляющих. Подсчет твердого стока дает суммарную денудацию, состоящую из механической и химической денудации. Механическую денудацию характеризуют взвешенные и влекомые наносы, а химическую — ионный сток. В твердом стоке рек основную долю составляют взвешенные наносы. Для рек северного склона Алайского хребта характерно ледниковое питание в верхней части водосбора и снеговое и дождевое в средней и нижней частях. Для таких рек О. П. Щегловой [2] была установлена следующая зависимость. Количество взвешенных наносов рек в годовом стоке зависит от высоты водосбора, а следовательно, от источников питания. В верхней части водосбора со средними высотами 3300 м река имеет ледниково-снеговое питание и соответственно ледниковый смыв (количество взвешенных наносов здесь составляет 70—80%). В средней части водосбора доля ледникового смыва уменьшается, а доля снегового и дождевого увеличивается. Причем удельный вес талого снегового смыва по водосбору распределяется неравномерно: его наибольшая величина — в среднегорье, а наименьшая в самых высоких частях водосбора и в самых низких. Удельный вес дождевого смыва имеет наибольшее значение в низкорье, где питание рек дождевое. Русловой размыв в формировании стока взвешенных наносов составляет не более 15,9% нормы.

С северного склона Алайского хребта стекает множество рек. Наи-

более крупные из них: Акбура, Араван, Исфайрам, Шахимардан, Сох. Эти реки являются левыми притоками рек Карадарьи и Сырдарьи, фактически не доходят до них, а по выходе из гор оканчиваются на своих конусах выносов или сухих дельтах. В высокогорной зоне бассейны этих рек прорезаны густой, сильно разветвленной сетью притоков, многие из которых имеют в истоках ледники и протекают сначала в типичных корытообразных долинах с небольшим продольным уклоном, а также часто в узких и глубоких ущельях. В области же предгорий, с высот порядка 1500 м, реки почти не принимают постоянно действующих притоков.

Водность рек, как известно, зависит от количества выпадающих в их бассейнах атмосферных осадков. Южное Приферганское горное обрамление находится под влиянием циклонических систем, при которых господствует западный перенос. Распределение осадков зависит главным образом от экспозиции склонов по отношению к господствующим ветрам. На северном склоне Алайского хребта, в средней и высокогорной зонах, осадков выпадает до 600—800 и редко 900 мм, а в затененных от осадков местах, закрытых со всех сторон глубоких долинах, 300—400 мм.

Только в самой западной части этого хребта, в бассейне р. Сох, количество осадков в верхней зоне увеличивается до 1000—1200 мм.

Основным источником питания рек описываемого района являются талые воды ледников, сезонных снегов и подземные воды. Для таких рек, как Акбура, Исфайрам, Шахимардан, доля подземного питания составляет более 50% от общего годового стока. Это объясняется весьма значительным распространением в их водосборах сильнотрещиноватых, легко водопроницаемых горных пород — известняков и сланцев, поглощающих значительную часть поверхностного стока, вследствие чего сток сильно зарегулирован. Максимальные расходы воды и наносов рек приходится на июль — август.

Под влиянием климатических факторов горные породы подвергаются физическому выветриванию. В данном районе преобладают скальные (интрузивные, эффузивные, терригенно-осадочные, представленные гранитами, сланцами, известняками), скальные с пластичными (мезозойские осадочные, терригенно-карбонатные, представленные известняками, мергелями, песчаниками, конгломератами, алевролитами) и полускальные породы. Все эти породы обладают высокой прочностью и довольно устойчивы против выветривания и разрушения. Эти породы пополняют реки в основном грубообломочным материалом в среднегорной зоне и тонкообломочным — в высокогорной.

Растительный покров водосборных бассейнов рек северного склона Алайского хребта весьма беден. Он представлен в виде небольших пятен травяного покрова, куртин леса и кустарников, занимающих от 7 до 38% общей площади водосбора. Это способствует смыву материала со склонов талыми и дождевыми водами.

Для определения интенсивности денудации мы использовали данные из гидрологических ежегодников за 1973—1983 гг. [3—5]. При расчете механической денудации в работе в качестве основного расчетного периода принят год, а за единицу измерения твердого стока — тонна, при этом среднегодовой сток взвешенных наносов (R , т/год) и среднегодовой их расход (R_1 , кг/с) связаны соотношением:

$$R = 31,5 \cdot 10^3 R_1.$$

Сток влекомых наносов к настоящему времени изучен недостаточно. По данным К. Г. Садыкова [6], в истоках ледниковых рек, характеризующихся интенсивным выносом моренных отложений, доля влекомых наносов в общем стоке велика, достигает в среднем 65% от объема взвешенных. Но в отличие от взвешенных наносов, которые, как правило, нарастают по длине реки, влекомые наносы постепенно убывают. Основным источником влекомых наносов являются сели. Реки северного склона Алайского хребта имеют селевой режим. По степени и коэффициенту

селеопасности [7] среди бассейнов рек Алайского хребта можно выделить среднеселеопасные (Акбура, Аравансай, Абширсай, Киргизата), сильноселеопасные (Сох), исключительно селеопасные (Июфайрам, Шахимардан). Для вычисления расхода влекомых наносов, транспортируемых селевым паводком, мы использовали формулу, предложенную П. К. Карповым [7]:

$$R_{\text{вл.н}} = 0,125 I^{1/2} \left[0,40 \frac{V_{\text{ср}}^2}{\rho' g \bar{d}} - 1 \right],$$

где $R_{\text{вл.н}}$ — расход влекомых наносов, кг/с; I — уклон водной поверхности; V — скорость течения, м/с; ρ' — плотность твердого материала влекомых наносов ($2,5 \text{ г/см}^3$); g — ускорение силы тяжести, м/с²; $\bar{d}$ — средневзвешенный диаметр движущихся в придонном слое частиц наносов, м; 0,125; 0,40 — численные значения коэффициентов.

Сток растворенных минеральных веществ в истоках рек за период абляции ледников составляет не более 25% от стока взвешенных наносов. Но по мере продвижения вниз в результате подпитывания сильно-минерализованными грунтовыми водами объем растворенных веществ в общем стоке реки резко увеличивается и может быть равен количеству взвешенных наносов.

Вода рек исследуемого района принадлежит к гидрокарбонатному классу. Минерализация воды средняя, в течение года изменяется незначительно. Для определения истинной химической денудации данной территории следует из химического стока рек вычесть количество атмосферных компонентов (химические элементы, поступающие на сушу вместе с атмосферными осадками). Как считает Г. К. Gabrielyan [8], значительная часть речных вод забирается на орошение и поэтому огромное количество химических элементов, которые проходили бы в естественной обстановке через замыкающий створ, поступает на поля. В общем итоге количество атмосферных компонентов и химических элементов, забираемых на орошение, почти уравнивают друг друга, и поэтому за неимением истинного химического стока рек берем ионный сток. Для подсчета стока растворенных веществ мы использовали формулу

$$R_{\text{рв}} = 0,001 q \cdot 31,54 \cdot 10^6 \text{ т/год},$$

где 0,001 — переводной множитель из килограммов в тонны; $31,54 \cdot 10^6$ — число секунд в году; q среднее годовое значение расхода растворенных веществ, кг/с. Расход растворенных веществ рассчитывается по формуле

$$q = \frac{aQ}{10^3},$$

где q — расход растворенных веществ, кг/с; a — минерализация, мг/л; Q — расход воды, м³/с. Скорость суммарной денудации была рассчитана по формуле

$$V = \frac{KR}{1000 \cdot S \cdot \rho'},$$

где V — скорость денудации, мм/год; R — арифметическая сумма расчетных значений химической и механической денудации, т/год; S — площадь водосбора, км²; K — коэффициент озерной зарегулированности; ρ' — средняя плотность отложений (принята $2,5 \text{ г/см}^3$).

В бассейнах рек Исфайрам, Шахимардан, Абширсай имеются озера, которые образовались в руслах рек и имеют плотины разных размеров и различного происхождения, перегораживающие речные долины. Сток воды из таких озер осуществляется различными способами. В одних случаях вода из озер фильтруется сквозь толщину рыхлого обломочного материала, образующего плотину (р. Исфайрам, Абширсай). В бассейне р. Шахимардан вода вытекает путем фильтрации не только сквозь завал, но и по трещинам в коренных породах склонов долины. Наличие русловых озер в бассейне реки вызывает заметное сглаживание годового

Денудация, рассчитанная по твердому стоку рек

Река	Площадь водосбора, км²	Сток взвешенных наносов, тыс. т/год	Сток влекомых наносов, тыс. т/год	Скорость механической денудации, мм/год	Сток растворенных веществ, тыс. т/год	Общее количество выносимого материала, тыс. т/год	Скорость суммарной денудации, мм/год
Акбура	2260	119 700	267 780	0,06	193 410	580 860	0,10
Аравансай	1680	88 200	406 350	0,12	—	—	0,12
Исфайрам	2220	103 960	447 300	0,10	159 075	710 325	0,13
Шахимардан	1300	75 600	567 000	0,20	122 850	765 450	0,23
Сох	2480	2 497 950	563 850	0,49	428 400	3 490 200	0,56
						Среднее	0,22

вого хода расходов воды и уменьшение их амплитуды. И. А. Ильин [9] рассчитал коэффициенты озерной зарегулированности: для р. Шахимардан он оказался равным 43, для р. Абширсай — 37, для р. Исфайрам — 15, для р. Киргизата — 7,4, для р. Акбура — 1,3, для р. Сох — 1,3. Эти коэффициенты были учтены при расчете годового стока наносов (K).

Полученные данные приведены в таблице, из которой видно, что наибольшая скорость денудации (0,56 мм/год) в бассейне р. Сох. Объяснить такую большую скорость денудации можно тем, что эта река является наиболее водоносной и ее бассейн — один из селеопасных районов. По данным А. О. Кеммериха [10], бассейн р. Сох характеризуется высокой интенсивностью смыва — 546 т/км². Средняя скорость денудации северного склона Алайского хребта, подсчитанная нами, равна 0,22 мм/год, и она существенно отличается от данных К. В. Курдюкова [11] — 0,10 мм/год за счет того, что мы в расчетах учитывали химическую денудацию и сток влекомых наносов.

Для определения интенсивности современной денудации авторы применили также метод подсчета объема аккумуляции в естественном водоеме. При использовании этого метода необходимо знать: 1) площадь, с которой получены наносы; 2) объем наносов, отложившихся в водоеме; 3) продолжительность осадконакопления.

Нами проводились наблюдения в долине р. Абширсай на горном озере с 1980 по 1986 гг. Долина р. Абширсай находится в восточной части северного склона Алайского хребта. Истоки этой реки заложены на отрогах хр. Кичик-Алай. Высота гребней гор в верховьях реки Абширсай составляет 3200—4000 м. Река в основном дренирует область средневысотных гор. Несмотря на это, верхняя часть водосбора реки представляет собой систему глубоких долин и ущелий с крутыми скалистыми склонами. Днища долин завалены щебнисто-каменистыми осыпями так, что по их тальвегам поверхностных водотоков не имеется и вода фильтруется сквозь толщи наносов. В середине ущелья в гряде Юрунтуз, в 2 км выше устья р. Маляран, долина реки на протяжении 1,5 км завалена обвалом, выше которого в сентябре 1944 г. образовалось озеро [9]. Первоначально озеро имело размеры 0,1×0,1 км, но в период паводков и селей уровень воды в нем повышается до 10 м и длина увеличивается до 0,5 км. Во второй половине лета вода из озера уходит и обнажается дно. Это позволило проводить наблюдения на дне осушенного озера по определению объема аккумуляции материала в озерной котловине и подсчитать интенсивность сноса материала с водосбора.

Площадь водосбора р. Абширсай составляет 93,2 км². Детальное изучение района позволило определить следующее распределение пород вверх по течению реки. Борта озерной котловины и участок на протяжении 4,5 км вверх по течению реки сложены массивными кальцитизированными известняками, наиболее устойчивыми к физическому выветриванию. Разрушаясь, они обычно дают крупнообломочные осыпи и очень мало мелкозема. Выше, на протяжении 2,5 км вскрываются известняковые брекчии и гравелиты, тоже довольно устойчивые к выветриванию. Для верхней части бассейна характерно переслаивание черных углистых сланцев, алевролитов и коричневых кварцитовидных песчаников, кото-

рые более подвержены физическому выветриванию, а разрушаясь, они дают осыпи и легко смываемый мелкоземистый материал. В самом верховье реки и в боковых притоках выходят граниты, кварциты, кремнистые породы. Граниты по сопротивляемости к выветриванию занимают промежуточное положение между известняками и сланцами, а разрушаясь, они дают большое количество дресвы и песка. Больше половины склонов долины задерновано. Было проведено определение пород и степени окатанности гальки на террасах озера. В отложениях озерных террас в основном присутствует кальцитовидный песчаник (58%) хорошей окатанности, который выходит на поверхность в 6 км от озера вверх по течению реки. Лишь 28% составляют плохо окатанные известняки, составляющие борта озерной котловины. Хорошо окатанная галька гранита, гранодиорита, сланца, кремния, алевrolита встречается в единичных случаях. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что галька и мелкозем, поступающие в озеро, в основном принесены рекой с площади водосбора, а не с бортовых склонов озерной котловины. Это дает нам право рассчитывать аккумуляцию материала в озере со всего бассейна реки выше озера.

Как было сказано ранее, нами проводились наблюдения на днище озера на протяжении 6 лет. В период минимального заполнения озера водой, в сентябре 1980 г. была проведена тахеометрическая съемка, а в 1986 г. — повторная съемка и определено плановое положение озерных террас, русла, днища и контурная часть озера, замерен максимальный уровень заполнения озера водой. Общая площадь днища озера с двумя террасами в 1980 г. составляла 6,2 га. В результате ежегодного снижения уровня озера при прежней площади на части днища к 1986 г. образовалось еще две террасы и дельта, покрытые с поверхности галькой и мелкоземом. Современное днище озера, вышедшее из-под воды, покрыто только мелкоземом и илистыми отложениями. Ежегодно сохраняется небольшой мертвый объем воды озера. На бортах озерной котловины четко видна максимальная граница уровня озера, поднимающаяся на высоту 4,6 м от его современного уровня. В результате ежегодного заполнения озера, переотложения материала русло реки меняет свое положение, смещаясь то к левому, то к правому борту. В месте контакта озера с обвалом вода уходит под него довольно широким и мощным потоком.

Для определения интенсивности современной денудации необходимо было подсчитать объем материала, накопленного в озере за 42 года, и для сравнения результатов — за 6 лет наших наблюдений. Объем отложенного в озерной котловине материала за длительный период времени с площади водосбора выше озера был определен по картографическим данным. По топографической карте м-ба 1 : 50 000 с увеличением до м-ба 1 : 500 был восстановлен профиль реки, существовавший до возникновения озера. На этом профиле определено точное местоположение озера. По данным нашей топографической съемки днища озера и части реки выше озера был построен еще один профиль. При наложении этих двух профилей получилась разница, которую можно трактовать как результат накопления отложений в озере. Полученные по профилям данные мощности отложений были перенесены на крупный план озера (1 : 200) и по поперечным профилям методом трапеций подсчитан суммарный объем накопившихся осадков по всей площади озера за период с 1944 по 1986 гг. Рассчитанная интенсивность денудации с водосбора составила 0,11 мм/год. Для определения объема аккумуляции за 6 лет проводилось повторное профилирование днища озерной котловины: построено два поперечных и один продольный профиль, сделано два шурфа для определения мощности накопления материала. Объем наносов, отложившихся в озере, был вычислен по формуле, предложенной Карповым П. К. [7]:

$$W_n = \bar{\omega}_n h_n, \text{ м}^3; \quad \bar{\omega}_n = \frac{1}{2} (\bar{\omega}_1 + \bar{\omega}_2),$$

где $\bar{\omega}_n$ — средняя площадь слоя отложений наносов, м^2 ; $\bar{\omega}_1$ — средняя

площадь поверхности отложений наносов за время t , m^2 ; $\bar{\omega}_2$ — площадь дна бассейна, m^2 ; h_n — средняя толщина отложений, м. В пересчете на площадь водосбора интенсивность современной денудации составила 0,09 мм/год, а средняя 0,10 мм/год (таблица).

Полученные двумя методами данные вполне сопоставимы. Река Абширсай по своему местоположению находится между реками Аравансай и Иофайрам. К сожалению, мы не смогли рассчитать интенсивность денудации по твердому стоку р. Абширсай, так как в гидрологических ежегодниках отсутствуют данные по взвешенным наносам. Но мы предполагаем, что интенсивность суммарной денудации для бассейна р. Абширсай была бы того же порядка или близкой к той, что получена методом определения наносов, отложенных в озере. Вместе с тем можно сделать вывод, что метод определения интенсивности денудации по скорости накопления осадков в естественном водоеме может дополнить, а иногда и заменить метод определения по твердому стоку.

Из полученных данных видно, что восточная и средняя части северного склона Алайского хребта характеризуются меньшей интенсивностью денудации, чем западная.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курдюков К. В. Некоторые вопросы палеогеографии Ферганской котловины и скорость современных процессов эрозии и аккумуляции в ее пределах//Изв. АН СССР. Сер. геол. 1950. № 5. С. 136—142.
2. Щеглова О. П. Формирование стока взвешенных наносов и смыв с горной части Средней Азии//Тр. САНИГМИ. Л., 1973. Вып. 60 (75). 267 с.
3. Гидрологический ежегодник. Т. 5. Вып. 3. Ташкент: УГМС УзССР, 1973—1977.
4. Государственный водный кадастр. Т. 5. Вып. 3. Ташкент, 1980—1981.
5. Государственный водный кадастр. Т. XI. Фрунзе, 1984—1985.
6. Садыков К. Г. Баланс морен, твердый сток и рельефообразующая деятельность современных ледников Средней Азии: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 1973. 40 с.
7. Карпов П. К., Пушкаренко В. П., Умаров А. Ю., Ходжаев М. К. Селевые явления в Узбекистане. Ташкент: Фан, 1976. 133 с.
8. Габриелян Г. К. Интенсивность денудации на Кавказе//Геоморфология. 1971. № 1. С. 22—47.
9. Ильин И. А. Водные ресурсы Ферганской долины. Л.: Гидрометеиздат, 1959. 247 с.
10. Кеммерих А. О. Гидрология Памира и Памиро-Алая. М.: Мысль, 1978. 263 с.

Институт географии АН СССР

Поступила в редакцию
2.VI.1987

PRESENT-DAY EROSION RATE AT THE NORTHERN SLOPE OF THE ALAI RIDGE

KURBATOVA L. S., PERESLEGINA R. E.

Summary

The present-day erosion rate has been estimated within mountain area of the northern slope of the Alai Ridge using two methods: 1) based on solid runoff data, and 2) based on sediments volume in the Abshirsai Lake. Total rate of erosion on the Alai Ridge slope amounts to 0,22 mm per year. The value calculated from the volume of the lake deposits is in reasonable agreement with data obtained by solid runoff measurements in the rivers near the lake.