

- в лесолугово-степном поясе Северного Тянь-Шаня//Тр. Ин-та географии АН СССР. 1959. Вып. 75. С. 26—50.
8. Campbell I. A. Meseurements of erosion on badlands surfaces//Z. Geomorphol. 1974. Bd 21. P. 122—137.
9. Титова З. А. Метод рам при изучении перемещения рыхлого материала на склонах//Докл. Ин-та географ. Сибири и Дальнего Востока. 1974. Вып. 45. С. 49—55.

Институт земной коры СО РАН

Поступила в редакцию
05.08.92

REGIONAL EXOLITHODYNAMICS STUDIES (aspect of methodology)

В. Р. AGAFONOV

Summary

On the basis of long-term studies the author sets forth a sequence of regional investigations of the descending lithodynamic flow and its geomorphic results. He expounds principles on which a network of basic lithodynamic test sites should be created, which would permit to trace the descending lithoflow using instrumental data. New prospects are outlined and importance of such studies (both from theoretical and practical points of view) is discussed, as well as their applicability to solving many pressing problems of geomorphology, geology and ecology.

УДК 551.435.13

© 1993 г. С. К. ХАКИМОВ, Р. С. ЧАЛОВ

КРИТЕРИИ РАЗВИТИЯ ТИПОВ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ И ИХ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЯВЛЕНИЙ НА ГОРНЫХ РЕКАХ

В современной литературе термин «тип русловых процессов» чаще всего отождествляется с характером изменений плановых очертаний русла, его морфологии во времени [1], т. е. с видом горизонтальных русловых деформаций. Последние же представляют собой лишь одно из проявлений совокупности сложных природных процессов, протекающих на границе раздела гидросферы, находящейся в состоянии движения, и литосферы. Если основываться на более полном определении русловых процессов [2, 3], которое, с одной стороны, опирается на исходное, данное еще 50 лет назад М. А. Великановым (взаимодействие потока и русла или грунтов, слагающих русло реки), а с другой — учитывает комплекс явлений, реально включаемых в это понятие (эрозия, транспорт и аккумуляция наносов), то становится очевидным, что типизация русловых процессов должна учитывать различия в механизмах взаимодействия потока и русла, эрозии дна и берегов русла, транспорта (перемещения) наносов и их аккумуляции. Эти различия отражаются в морфологии русла и тех особенностях их переформирования, которые дают общий фон для развития горизонтальных деформаций, образования той или иной формы русла в плане (излучины, разветвления, прямолинейное русло); последние в свою очередь приобретают определенную специфику благодаря этому общему фону.

Различная кинетичность потока (бурный и спокойный), разница в уклонах (доли ‰ или их единицы и десятки), преимущественно песчаный или исключительно галечно-валунный состав аллювия (наносов), грядовая или безгрядовая форма (режим) их перемещения и ряд других особенностей движения потока и

Типы русловых процессов на горных реках и соответствующие им диапазоны уклонов рек, ‰
(в числителе — по Р. С. Чалову, в знаменателе — предлагаемые)

Тип русловых процессов и форма их проявления	Уклоны рек с площадью бассейна, км ²			
	>1000	1000—100	100—10	<10
Полугорный	$\frac{0,3 - 1,5}{< 7}$	$\frac{0,5 - 6}{< 7}$	$\frac{6 - 26}{< 10}$	$\frac{14 - 50}{< 20}$
Горный				
с развитыми аллювиальными формами	$\frac{1,0 - 3,0}{2,5 - 14}$	$\frac{5 - 16}{5 - 17}$	$\frac{25 - 60}{7 - 30}$	$\frac{40 - 80}{15 - 80}$
с неразвитыми аллювиальными формами	$\frac{2,0 - 5,0}{3,5 - 20}$	$\frac{15 - 27}{7 - 40}$	$\frac{55 - 105}{18 - 70}$	$\frac{70 - 125}{25 - 125}$
порожисто-водопад- ный	$\frac{> 4,0 - 5,0}{20}$	$\frac{> 23 - 27}{20}$	$\frac{> 100 - 105}{23}$	$\frac{> 120 - 125}{40}$
селевой	—	15—30	30—100	70
скальный	>1,5—30	>4—40	>20—60	>40

специфики русловых процессов обуславливают выделение русел равнинных, полугорных и горных рек. Обоснованию этого посвящен ряд специальных публикаций [4—9], в основу которых были положены идеи, высказанные еще В. М. Родевичем [10] и Н. И. Маккавеевым [11]. Н. И. Маккавеев также впервые предложил использовать критический уклон в качестве критериальной оценки перехода от равнинных рек к горным и установил, в первом приближении, его значения для рек разных размеров. Поскольку выделение трех разновидностей русел опирается на физическую сущность русловых процессов (механизм взаимодействия потока и русла, эрозии, транспорта и аккумуляции наносов), то им должны соответствовать типы русловых процессов. При этом благодаря огромному диапазону уклонов (от первых ‰ до сотен ‰) горные реки по протекающим в них русловым процессам подразделяются на три типа: порожисто-водопадные, с неразвитыми аллювиальными формами и развитыми аллювиальными формами [4, 5]. Аналогичный подход к типизации русловых процессов применил А. Н. Крошкин [7, 12], выделивший высокогорный, горно-предгорный и предгорно-равнинный участки рек, отличающиеся по режиму транспорта наносов (безгрядовые — первые два, безгрядовый — переходный, переходный — грядовый) и развивающиеся в определенном диапазоне уклонов. При этом Р. С. Чалов основывался на материалах по горным рекам Западного Кавказа, а А. Н. Крошкин — Центрального Тянь-Шаня.

В таблице представлена уточненная (благодаря выделению новых типов русел горных рек) классификация русловых процессов на горных реках, в которой даны диапазоны уклонов, соответствующие развитию того или иного их типа. В числителе уклоны даны согласно обоснованиям, выполненным Р. С. Чаловым, в том числе с привлечением дополнительных материалов по Северному Кавказу [13], Заилийскому Алатау [14], Горному Алтаю [15], Центральному Тянь-Шаню [16]. В знаменателе приведена скользящая шкала диапазонов уклонов для рек разной водоносности (с разной площадью бассейна). Она установлена на основании детальных исследований русловых процессов на реках Западного Тянь-Шаня, проведенных авторами в 1989—1991 гг., а также критического анализа материалов и рекогносцировочных данных по рекам Карпат, Восточного Закавказья, Приморья, Памиро-Алая и других горных регионов.

Величина критического уклона, определяющего переход от одного типа горного русла к другому, устанавливается исходя из условий, характеризующих кинематическую структуру потока (число Фруда $Fr \geq 1$), его скоростной режим (уравнение Шези $V = C \sqrt{hI}$, где h — глубина, I — уклон русла, C — коэффициент, зависящий от шероховатости рукава) и зависимость шероховатости n от крупности

наносов на реках с галечно-валунным аллювием (по Чангу-Штриклеру, $n = kd^{1/6}$, где d — средний диаметр частиц аллювия, k — коэффициент). Совместное решение соответствующих уравнений приводит к выражению [2, 5]

$$I_{кр} = \frac{kgd^{1/3}}{\alpha h^{1/3}},$$

где α — корректив скорости. Из уравнения неразрывности потока $Q = \omega V$ следует, если принять $\omega = bh^{2/3}$, что

$$h = \frac{Q^{2/3}}{b^{3/2} V^{3/2}}.$$

Заменяя в формуле критического уклона значение глубины полученным выражением и проводя необходимые преобразования, получаем

$$I_{кр} = \frac{kgd^{1/3} b^{1/2} V^{1/2}}{\alpha Q^{1/2}}.$$

Если принять [11] $Q = aF^m$, где F — площадь бассейна, коэффициент $m = 1$ при $F < 50$ км²; $m = 0,84$ при $F = 50—100$ км²; $m = 0,75$ при $F = 100—1000$ км² и $m = 0,56$ при $F > 1000$ км², то

$$I_{кр} = \frac{kgd^{1/3} b^{1/2} V^{1/2}}{\alpha F^{m/3}}.$$

или, принимая среднее значение $m = 2/3$,

$$I_{кр} = \frac{kgd^{1/3} b^{1/2} V^{1/2}}{\alpha F^{1/3}}.$$

Близкий результат получен А. Н. Крошкиным [12] на основе анализа гидроморфологических характеристик горных рек:

$$I = k \left(\frac{d_{ср}}{h} \right)^* \left(\frac{\rho_n - \rho}{1,65\rho} \right)^*,$$

где ρ_n и ρ — соответственно плотности наносов и наносонесущего потока.

Таким образом, чем больше площадь бассейна, тем меньше величина критического уклона, определяющего переход от одного типа горного русла к другому. Это соответствует известной схеме Н. И. Маккавеева [11], согласно которой критический уклон, разделяющий равнинные и горные реки, повышается с увеличением размеров реки, а также выводам В. П. Чарномского [17] о сохранении спокойного течения на малых реках при больших уклонах. Это определяет разделение классификационной таблицы на вертикальные графы. С другой стороны, увеличение крупности наносов обуславливает повышение критических уклонов. В тех случаях, когда по длине рек и в связи с изменением уклонов происходит изменение крупности аллювия, подчиняющееся закономерностям, выраженным зависимостями А. Штернберга $d_x = d_0 e^{-ax}$ (изменение диаметра частиц на расстоянии x от места поступления в поток с учетом их петрографического состава a), С. Т. Алтунина — $d = 4,5I^{0,9}$,

А. Н. Крошкина [7] — $d = 1,6I^{0,9} \left(\frac{Q_\Phi}{\sqrt{g}} \right)^{0,4}$, Р. В. Лодиной [18] — $d_{ср} = AIL$ (крупность аллювия как функция уклона реки I и водности потока, косвенная мера которого — длина реки от потока L), граничные значения уклонов строго определены. В условиях интенсивной селевой деятельности на притоках, когда на состав аллювия решающее влияние оказывают выносы из них огромного количества разнородного по составу несортированного материала, а также интенсивное развитие склоновых процессов (обвалы, осыпи) и лавинной деятельности, эти закономерности нарушаются или вообще не проявляются. К. Л. Кузнецов [19] подобные отклонения обнаружил на реках Заилийского Алатау и горных районов Северного Забайкалья; Р. В. Лодина и С. К. Хакимов [20] на реках Западного Тянь-Шаня (Угам, Пскем, Майдантал, Ойганинг, Чаткал, Акбулак, Ахангаран) выявили отсутствие связей между средней круп-

ностью аллювия d_{cr} и определяющими факторами — уклоном, длиной реки, ее водностью, что объясняется селевым характером практически всех их притоков. Кроме того, на реках, у которых источником питания стока наносов являются сели, отсутствует связь между крупностью аллювиальной отмостки и толщи, залегающей под ней. По мнению К. Л. Кузнецова, это важный признак, определяющий роль селей в формировании аллювия главных рек, не являющихся по своему режиму селевыми.

От крупности наносов зависят шероховатость русла и кинематический режим потоков. Еще В. И. Чарномский [17] установил, что при большой шероховатости (т. е. высокой крупности наносов) и малой по отношению к выступам шероховатости глубине потоки могут сохранять спокойное течение при очень больших уклонах. В результате при одном и том же уклоне реки одного размера (т. е. при одинаковых характеристиках водности) будут иметь потоки с разной степенью бурности в зависимости от крупности наносов (галечный, мелко- или крупновалунный, валунно-глыбовый аллювий). Соответственно морфологические выражения типа русловых процессов могут быть различными, что и определяет скользящий диапазон уклонов как по каждой вертикальной графе таблицы, так и между ними.

Особое место в таблице занимают селевые и скальные русла. К селевым относятся те, по которым проходят селевые потоки, причем периодичность селей такова, что в межселевой период русловый поток не успевает переработать селевые отложения и сформировать нормальное русло. Согласно К. Л. Кузнецову [19], период полной русловой релаксации после прохождения селя на относительно крупных реках составляет 120—150 лет; при меньших сроках поток создает аллювиальную отмостку, не затрагивая полностью залегающую под ней толщу. При прохождении селей ежегодно или с периодичностью раз в несколько лет реки пассивно приспособляют свои русла к нагромождениям селевых отложений и не приобретают нормального облика. На самых больших горных реках ($F > 1000 \text{ км}^2$) селевые русла не развиваются. На реках меньших размеров они могут заменить собой последовательно порожисто-водопадные и отчасти горные русла с неразвитыми аллювиальными формами, практически все типы горных русел (на самых малых реках) вплоть до полугорных включительно, выходя в пределы предгорий.

Скальные русла обычно рассматриваются как разновидность порожисто-водопадных русел в верховьях горных рек [20, 21]. Однако, учитывая практически полное отсутствие аллювия в них, огромную роль тангенциальной составляющей силы тяжести в транспорте наносов, слабую выраженность при очень больших уклонах, близких к уклону склона, самого русла и, наконец, структурную предопределенность его положения и формы, эти русла следует выделить в особый тип. Исследования на Западном Тянь-Шане и в Горном Алтае позволили выявить значительно более широкий диапазон условий, в которых возможно формирование скальных русел вплоть до крупнейших горных рек в их низовьях (по отношению к горной стране) — Катунь, Пскема, Чаткала и др., где они встречаются на участках протяженностью в десятки километров. Скальные русла образуются при сравнительно небольших уклонах, соответствующих горным руслам с развитыми аллювиальными формами или верхним пределам развития полугорных русел. Они занимают все дно узкой V-образной долины либо дно каньона с вертикальными бортами, вложенного в широкое плоское днище древней долины, поднятое над современным руслом от первых десятков до 100 м и более. Первая разновидность характерна для Чаткала и Акбулака на Западном Тянь-Шане, вторая — для Пскема в нижнем течении (Западный Тянь-Шань) и Катунь (на Алтае, выше створа проектируемой ГЭС), а также для верхнего участка русла Алабуги (Центральный Тянь-Шань, приток Нарына), где были установлены катастрофические скорости вертикальных деформаций [16]. Во всех случаях скальные русла сформировались в условиях интенсивного врезания в очень прочные по отношению к размыву скальные или скально-пластичные породы.

Стеснение русла скальными неразмываемыми берегами проявляется в уменьшении его ширины в 2—3 раза по сравнению с выше- и нижерасположенными участками. В соответствии с уравнением неразрывности $V = Q/\omega$ это обуславливает резкий рост скорости потока и обеспечивает транзит поступающего сверху галечно-валунного материала. В результате на самом участке со скальным руслом создается дефицит наносов, и непосредственный контакт потока, имеющего повышение скорости, со скальным ложем создает предпосылки для активизации процессов врезания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондратьев Н. Е., Попов И. В., Сущенко Б. Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. Л.: Гидрометеолздат, 1982. 272 с.
2. Маккавеев Н. И., Чалов Р. С. Русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1986. 264 с.
3. Чалов Р. С. Основные понятия русловых процессов // Четвертое координационное совещание по проблеме «Исследование русловых процессов на реках и в устьях рек и разработка методов их учета для различных отраслей народного хозяйства». Луцк, 1989. С. 58—60.
4. Чалов Р. С. Некоторые особенности руслового режима горных рек // Метеорология и гидрология. 1968. № 4. С. 70—74.
5. Чалов Р. С. Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 1979. 232 с.
6. Работа водных потоков. М.: Изд-во МГУ, 1987. 196 с.
7. Талмаза В. Ф., Крошкин А. Н. Гидроморфометрические характеристики горных рек. Фрунзе: Кыргызстан, 1968. 204 с.
8. Артамонов К. Ф., Крошкин А. Н., Талмаза В. Ф. Стабилизация русловых форм и течений на участках горного водозабора // Тр. V Всесоюз. Гидрол. съезда. Т. 10. Русловые процессы и наносы. Л.: Гидрометеолздат, 1988. Кн. 1. С. 238—243.
9. Филончиков А. В. Проектирование автоматизированных водозаборных узлов на горных реках. Фрунзе: Кыргызстан, 1990. 276 с.
10. Родевич В. М. К вопросу о классификации рек // Изв. Гос. гидрол. ин-та. 1932. № 35. С. 25—39.
11. Маккавеев Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 348 с.
12. Крошкин А. Н. К определению гидроморфометрических характеристик и средней весовой концентрации влекомого наносов на горных реках // Движение наносов в открытых руслах. М.: Наука, 1970. С. 111—119.
13. Лодина Р. В., Рашутин Д. В., Сидорчук А. Ю., Чалов Р. С. Изменения морфологии русла и руслообразующих наносов от истока до устья (на примере р. Терек) // Геоморфология. 1987. № 1. С. 86—94.
14. Кузнецов К. Л., Чалов Р. С. Русловые процессы и морфология русел горных рек в условиях активной селевой деятельности (на примере рек северного склона Заилийского Алатау) // Геоморфология. 1988. № 2. С. 71—78.
15. Демин А. Г., Лодина Р. В., Рулева С. Н., Чалов Р. С. Роль геоморфологических факторов в изменении типов русла и состава руслообразующего аллювия на больших горных реках (на примере Катунь и Чуи) // Геоморфология. 1991. № 4. С. 73—81.
16. Панин А. В., Сидорчук А. Ю., Чалов Р. С. Катастрофические скорости формирования флювиального рельефа // Геоморфология. 1990. № 2. С. 3—11.
17. Чарномский В. П. О лотках и каналах прямоугольного сечения усиленной шероховатости в применении к рыбоходам, быстротам и к взводному судоходству // Материалы по исследованию р. Волхов и его бассейна. Л., 1924. Вып. 2. С. 9—25.
18. Лодина Р. В. Сортировка аллювия в реках Западной Грузии // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1974. Вып. 4. С. 143—148.
19. Кузнецов К. Л. Русловые процессы горных рек Заилийского Алатау и зоны БАМ: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1987. 20 с.
20. Лодина Р. В., Хакимов С. К. Исследование руслообразующих наносов горных рек и их динамики (на примере Западного Тянь-Шаня) // 6-е Межвуз. совещ. по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Ташкент, 1991. С. 53—54.
21. Борсук О. А., Добровольская Н. Г., Лодина Р. В., Чалов Р. С. Морфология русел и современной русловой аллювий на горных реках Западного Тянь-Шаня // Геоморфология. 1981. № 4. С. 60—67.
22. Хмелева Н. В., Виноградова Н. Н., Самойлова А. А., Шевченко Б. Ф. Стационарные исследования механизма формирования аллювия в горах // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1983. Вып. 9. С. 53—57.

**CRITERIA OF DEVELOPMENT OF CHANNEL PROCESSES
AND OF THEIR IMPACT ON CHANNEL MORPHOLOGY OF MOUNTAIN RIVERS**

S. K. KHAKIMOV, R. S. CHALOV

S u m m a r y

A new scale of channel slopes is introduced which directly corresponds to types of channel processes on mountain rivers. Two specific types of mountain channels are distinguished, namely mudflow and rocky types, each of them developing within a certain range of slopes.