

МЕТОДИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 551.312.3

© 2013 Г. А.В. ГУСАРОВ

ОЦЕНКА РУСЛОВОЙ И БАССЕЙНОВОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЭРОЗИИ
И СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ В РЕЧНЫХ БАССЕЙНАХ¹

Введение

Исходя из особенностей воздействия различных видов атмосферных осадков на осушенную поверхность земной коры и их участия в ее механической денудации (главным образом эрозии), суммарный вынос эрозионных продуктов из речных бассейнов (сток наносов) рационально, в первом приближении, генетически подразделить на *бассейновую* (смыв дождевыми и талыми водами на водосборе) и *русловую* (как следствие вертикальных и горизонтальных русловых деформаций) составляющие. Соотношение этих двух компонентов стока взвешенных наносов (СВН) рек как одного из объективных показателей интенсивности эрозии в речных бассейнах [1–4] позволяет выделить на планете области господства русловой или бассейновой эрозии с различной общей направленностью развития их рельефа по пути, соответственно, долинообразования (точнее – углубления и расширения долин) или планации [1, 5], решить ряд других геоморфологических, а также гидрологических и геоэкологических задач.

Оценка структуры эрозии в речных бассейнах по стоку взвешенных наносов относительна, поскольку помимо последних продуктами эрозии выступают также наносы влекомые. Считается, что расход этих наносов составляет не более 1% от расхода взвешенных наносов (при диаметре частиц менее 0.25 мм), а при более крупных обломках (галечные и галечно-валунные отложения) в активном русле эта доля возрастает до 5–10% [6]. Согласно обобщениям З.Д. Копалиани [7] у равнинных рек влекомый компонент в общем стоке наносов составляет, как правило, 1–3% (реже 10%), и лишь у горных рек он возрастает до 15–70%. Эти оценки часто не совпадают с данными, полученными на основе анализа смещения перекаатов и побочней, занесения русловых карьеров и т.д. Так, к примеру, на востоке Урала доля влекомого материала в суммарном стоке речных наносов превышает 50%, а у некоторых рек региона грядовой перенос песчаных наносов формирует доминирующую (до 90%) часть общего стока наносов [8].

Существующие методы генетического расчленения стока взвешенных наносов (эрозии) в речных бассейнах можно объединить в следующие основные группы – подходы.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 11-05-00605 и № 11-05-00489).

1) *Гидрологический подход*, который основывается на анализе закономерностей связи СВН со стоком воды (СВ) и другими гидрологическими показателями: мутность рек, сток наносов, многофакторная связь стока наносов с климатическими элементами и другими природными факторами и характеристиками (литология пород, рельеф, растительный покров, площадь речного бассейна и т.д.). Один из них – метод, разработанный О.П. Щегловой [9], которая, развивая более ранние идеи Б.В. Полякова [10]², Г.В. Лопатина [11] и др., количественно оценила долю наносов руслового генезиса в годовом СВН рек Средней Азии. О.П. Щеглова отнесла к СВН руслового генезиса прежде всего сток наносов за период межени (без дождевых паводков). Ее метод базируется на построении зависимостей (серии кривых) мутности размыва от удельных расходов воды рек с различной степенью устойчивости их русел. В области малых значений кривые зависимости мутности размыва от удельного расхода воды обосновываются значениями меженной мутности рек; в области больших расходов они дополняются значениями мутности, соответствующими тем периодам паводков (половодий), когда бассейновый смыв в силу ряда причин временно прекращается. Отбор таких периодов (дней) требует тщательного обоснования всесторонней гидрометеорологической информацией. Доступность же такой информации по многим регионам планеты не всегда является удовлетворительной. Методической сложностью здесь остается и определение доли эрозионных продуктов в общем стоке наносов бассейнового происхождения.

2) *Расчленение продуктов эрозии по данным анализа минерального и гранулометрического составов взвешенных наносов, русловых и пойменных отложений* [12–14 и др.]. Особенно эффективное использование методов данной группы ожидается при неодинаковом минеральном составе пород в различных частях речного бассейна. Массового применения они пока не получили из-за отсутствия унифицированных обобщений по составу пород (особенно аллювиальных), слагающих бассейны.

3) *Определение генетической структуры наносов при сопоставлении рек с различными физико-географическими условиями процессов эрозии в пределах их водосборов*. Данный подход, использованный, к примеру, А.П. Дедковым и В.И. Можжериним, дает неплохие результаты при сравнении речных бассейнов-аналогов [1].

4) *Анализ материалов стационарных и прочих исследований на поверхности речных водосборов* (наблюдения за оврагами, почвенной эрозией, аккумуляцией наносов, оползнями, крипом и т.д.), позволяющих выделить долю продуктов бассейнового происхождения при наличии сведений об общем стоке наносов за пределы этих водосборов [15–18 и др.]. В зарубежных исследованиях широко вошли в практику полевых работ разнообразные физико-химические методы определения объемов и источников наносов, в том числе те, что объединяются общим термином “fingerprinting” – химия наносов [19 и др.], определение магнитных свойств минералов [20–23 и др.], радионуклидный анализ [24–28 и др.] и т.д. Точность расчетов в этом случае напрямую зависит от методики и техники исследований, экстраполяции результатов на неизученные участки бассейнов, учета всех составляющих бассейновой механической денудации.

5) *Гидролого-картографический подход*, близкий к предыдущему, позволяет оценить массу наносов бассейнового происхождения на основе анализа карт нарушенно-

² Б.В. Поляков предложил метод расчленения стока наносов на русловую и бассейновую составляющие, основанный на анализе хронологического графика мутности аналогично генетическому расчленению гидрографа водного стока. Одна из главных трудностей применения данного метода состоит в проведении линии срезки во время паводков (половодий): применяемый Б.В. Поляковым вариант соединения прямой линией предпаводковых и послепаводковых значений мутности подразумевает неизменность величины русловых размывов, что вызывает итоговое занижение их оценки.

сти (эрозионной, эоловой, экзарационной и т.д.) земель в бассейне реки, и дальнейшее сопоставление этой массы с суммарным стоком наносов из него. Одна из таких отечественных работ – исследование В.Н. Голосова, который определил генетическую структуру эрозии в бассейне р. Оки по картам эрозионной опасности земель и плотности оврагов европейской части России [29].

Несмотря на все многообразие методов и их положительные стороны, практически все они имеют в настоящее время общее ограничение применения: по их материалам затруднительно провести сколь-нибудь широкое региональное обобщение, главным образом, в силу разной степени информационной обеспеченности (репрезентативности). Одним из методов (гидрологическая группа подходов), приемлемых для региональных обобщений, выступает достаточно простой метод приближенной количественной оценки величины русловой эрозии А.П. Дедкова и В.И. Мозжерина [1, 30], предложенный этими авторами в развитие идей Б.В. Полякова и О.П. Щегловой. Он основан на анализе зависимости СВН от меженных среднемесячных расходов воды в разные по меженной водности годы. По полученному графику связи этих параметров определяется тот расход наносов, который соответствует известному среднегодовому расходу воды и обусловлен лишь эрозией в русле реки. Вычитая средний многолетний расход наносов руслового происхождения из общего среднего многолетнего расхода наносов, находят расход наносов, характеризующий эрозию поверхности бассейна талыми и дождевыми водами. В отличие от расчленения графика мутности данный метод менее трудоемок и не требует большой детальности отбора проб на мутность, что делает его наиболее перспективным в региональных обобщениях. У метода, однако, есть и свой минус: его авторы экстраполируют связь меженных расходов воды и наносов до величины среднемноголетнего среднегодового расхода воды, что нежелательно делать применительно к рекам с высокой внутригодовой неравномерностью стока. Будет точнее, на наш взгляд, экстраполировать эту связь не до среднегодовых (а тем более среднемноголетних), а, как минимум, до среднемесячных величин стока воды каждого анализируемого года, ибо очевидно следующее неравенство:

$$f((Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n)/n)^\mu \neq f((Q_1^\mu + Q_2^\mu + Q_3^\mu + \dots + Q_n^\mu)/n), \quad (1)$$

где $Q_{1(2,3,\dots)}$ – средний расход воды за конкретный календарный месяц, n – количество календарных месяцев в многолетнем ряду наблюдений за стоком воды, μ – эмпирический степенной показатель связи стока воды и стока наносов (см. далее уравнения (2) и (3)). При экстраполяции связи меженного стока воды и наносов до среднемесячных величин стока воды различия с оценками по методу А.П. Дедкова и В.И. Мозжерина будут тем ощутимее, чем выше внутригодовая (межмесячная) неравномерность стока воды реки и чем более показатель μ отклоняется от единицы.

Настоящая работа ставит целью усовершенствовать метод А.П. Дедкова и В.И. Мозжерина, в том числе, показав границы точности его применения, и подготовить более корректную методическую основу последующих крупнорегиональных исследований в данном направлении флювиальной геоморфологии и в гидрологических работах.

Материал апробации метода

Исходный материал апробации метода – результаты многолетних (не менее 10 лет) режимных наблюдений Гидрометслужбы бывшего СССР [31] за среднемесячными величинами СВ и СВН на 124 преимущественно малых и средних реках Восточно-Европейской равнины, Урала, Восточных Карпат, Предкавказья и Кавказа, гор Средней Азии (рис. 1), характеризующихся отсутствием в бассейнах крупных водохранилищ. Выбор конкретных рек в среднеазиатском секторе продиктован возможностью

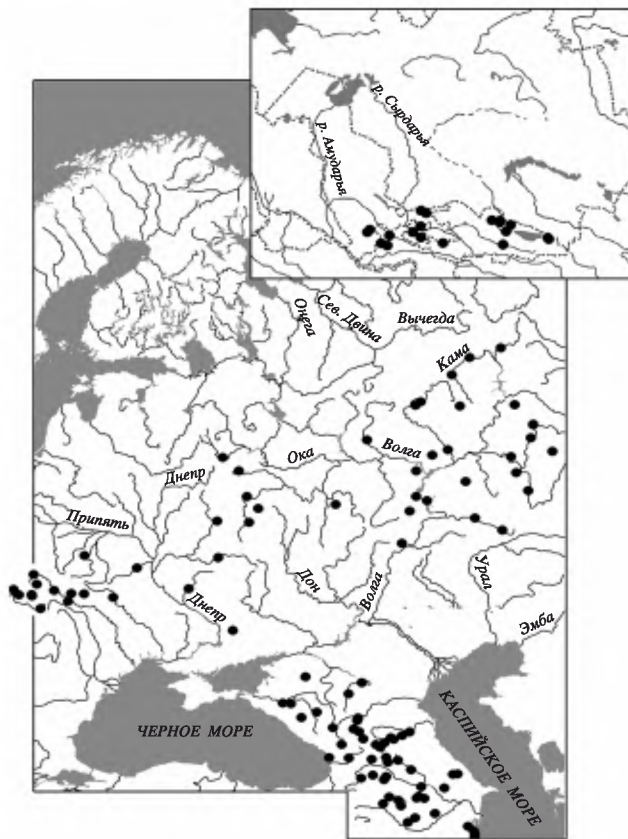


Рис. 1. Карты расположения гидрологических постов анализируемых рек

зии) и величинах речного стока наносов в них (табл. 1). Литологический фактор на данном этапе работ не учитывался.

Метод исследования

Разделение речного стока взвешенных наносов и, как его основной причины, эрозии (шире – механической денудации) на русловую и бассейновую составляющие проводилось в несколько этапов.

1. Графическое построение (здесь и далее с использованием электронного пакета прикладных программ Microsoft Excel 2007) связи среднемесячных величин СВ (Q_i) и СВН (R_i) за весь период наблюдений для каждой анализируемой реки. Эта связь описывается уравнением степенного вида:

$$\check{R}_i = A_{эп} I Q_i^m, \quad (2)$$

где $\check{R}_i$ – теоретический (регрессионный) среднемесячный сток взвешенных наносов за календарный i -месяц с водностью Q_i , $A_{эп}$ – эмпирический комплексный эрозионный коэффициент, зависящий от неравномерности стока воды, характера пород, слагающих русло и водосбор, количества и крупности наносов, поставляемых при размыве самого русла выше по течению притоками и с водосбора, I – уклон речного потока выше гидрологического поста, m – эмпирический степенной показатель связи Q_i и R_i . Величины $A_{эп}$ и I могут существенно варьировать от реки к реке в зависимости от

сопоставления полученных в ходе анализа результатов с результатами О.П. Щегловой, ранее опубликованными по тем же рекам [9].

Для удобства апробации и представления ее результатов речные бассейны были разделены по трем высотным группам – равнинные (со средними абс. высотами, лежащими в интервале от 0 до 500 м), низкорельефные (500–2000 м) и среднегорные (2000–3500 м). Указанное деление бассейнов условно, поскольку структура эрозии в их границах связана с куда большим набором факторов, весьма изменчивых даже в одной высотной группе. Это касается, в частности, и русловых процессов.

Бассейны рек имеют разные водолитосборные площади, их уклоны и уклоны русел, степень хозяйственного преобразования природных ландшафтов, что нашло отражение в общей интенсивности механической денудации (в т. ч. эрозии)

Некоторые характеристики анализируемых речных бассейнов

Характеристики	Высотные группы речных бассейнов			
	равнинные	низкогорные	среднегорные	
			Кавказ	Средняя Азия
N	40/5	35/8	28/21	21/20
T	$18.2 \pm 2.0^{(1)}$	19.5 ± 3.6	18.6 ± 2.4	20.6 ± 2.6
F	17477 ± 8443	3387 ± 1840	901 ± 375	2262 ± 1113
H	228 ± 23	1130 ± 160	2303 ± 101	2782 ± 173
α	$34.7 \pm 15.1^{(2)}$	$282.7 \pm 47.6^{(3)}$	$336.2 \pm 57.2^{(4)}$	$410.0 \pm 79.0^{(5)}$
I	0.56 ± 0.33	20.4 ± 8.2	36.2 ± 10.2	31.0 ± 7.4
$\alpha : I^{(6)}$	$17.5 : 1.0$	$9.3 : 1.0$	$7.9 : 1.0$	$10.9 : 1.0$
$\tilde{A}$	2.2 ± 0.2	2.1 ± 0.2	1.3 ± 0.2	1.05 ± 0.09
M	5.1 ± 1.0	14.1 ± 3.0	26.3 ± 7.5	16.5 ± 3.9
R	31 ± 14	294 ± 113	291 ± 124	228 ± 81

Примечания: N – количество речных бассейнов (в числителе – общее, в знаменателе – в т. ч. со слабой степенью хозяйственной освоенности (I категория, см. ниже)). Среднее: T – продолжительность наблюдений за СВ и СВН анализируемых рек (кол-во лет), F – площадь речных бассейнов (км²), H – абс. высота речных бассейнов (м), α – уклон речных бассейнов (‰), I – уклон русел главных рек бассейнов (‰), $\tilde{A}$ – балл (категория) хозяйственной освоенности речных бассейнов. Бассейны: 1 балл (I категория) – малоизмененные (в лесных зонах остаточная лесистость (L) > 70%, в преимущественно степных зонах распаханность (P) < 30%, 2 балла (II категория) – со средней степенью изменения природного ландшафта (L для лесных зон и P для степных составляют от 30 до 70%), 3 балла (III категория) – сильно измененные человеком (L < 30% или P > 70%). Средний многолетний модуль: M – СВ (л/с×км²), R – СВН (т/км²×год).

¹⁾ – здесь и далее доверительные границы всех средних характеристик установлены с вероятностью 0.95 (5%-й уровень значимости); ²⁾ – по 5 бассейнам из 40; ³⁾ – по 18 бассейнам из 35; ⁴⁾ – по 20 бассейнам из 28; ⁵⁾ – по 8 бассейнам из 21; ⁶⁾ – соотношение рассчитано лишь для бассейнов, по которым имеются парные сведения об α и I .

геолого-геоморфологического строения их бассейна и русел, а также физико-географических условий на водосборе [8].

2. Из графического поля точек связи Q_i и R_i для дальнейшего анализа отбираются лишь те, величины СВ которых соответствуют, прежде всего, зимней межени в разные по меженной водности годы. Именно эти расходы воды в первую очередь определяют на большей площади территории исследования русловую эрозию, при которой в величинах R_i отмечается почти полное отсутствие наносов бассейнового происхождения – в т. ч. продуктов плоскостного смыва и линейной бассейновой эрозии (промоины, овраги и пр.) на междуречьях, когда их поверхность “законсервирована” снежным покровом. Подобные месяцы гораздо реже наблюдаются и в теплое время года. Прекрасным примером тому служит аномально жаркое и сухое лето 2010 г., на протяжении большей части которого сток наносов рек Восточно-Европейской равнины, к примеру, мог складываться практически полностью из русловой составляющей. Парные величины Q_i – R_i летних месяцев с наименьшими расходами наносов также отбирались для анализа. Расходы воды и наносов, отсекаемые на этом этапе, соответствуют месяцам с половодным (паводочным) режимом, и бассейновый сток наносов в них, как правило, уже значителен.

3. Из графического поля точек связи СВ и СВН, соответствующего зимним меженным или близким к ним летним расходам СВ, отбираются лишь принадлежащие некоторой, весьма узкой, области минимальных значений R_i , чьи величины, в свою очередь, соответствуют сравнительно “чистой” меженной русловой эрозии. Выбор для анализа этой области, а не только наиболее низких значений СВН, обусловлен двумя причинами. Во-первых, при одних и тех же среднемесячных величинах стока воды различный объем выносимых рекой наносов может быть связан с неравномер-

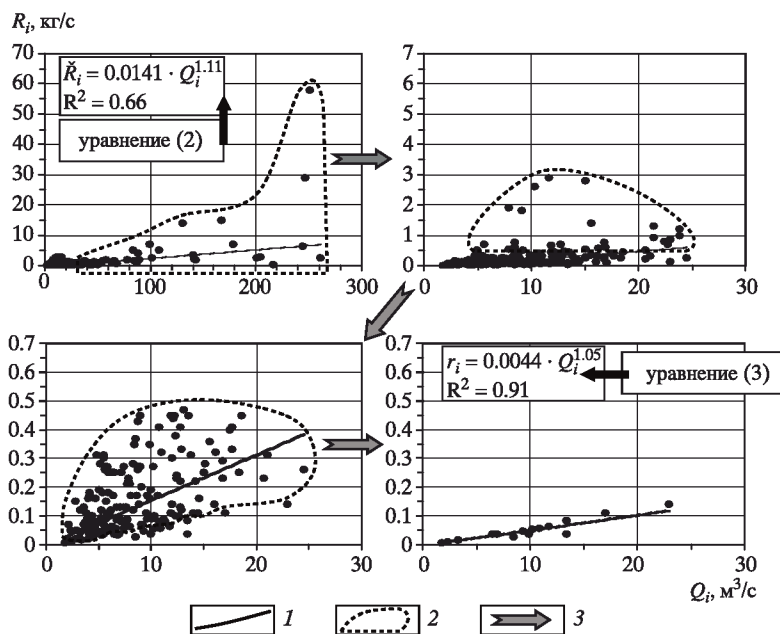


Рис. 2. Схема поэтапного отбора коррелируемых среднемесячных величин СВ (Q_i) и СВН (R_i) для построения степенного уравнения их связи (уравнение (3)) на примере р. Тетерев/Макалевичи (правый приток Днестра, Украина; $F = 7890 \text{ км}^2$)

1 – линия степенного тренда, 2 – графическая область отсеивания коррелируемых среднемесячных величин СВ и СВН, 3 – последовательность этапов отбора, R^2 – коэффициент детерминации степенного тренда

ным распределением стока воды по суткам в пределах этих месяцев. Во-вторых, неоднородность литологического строения русел и пойм участков реки обуславливает, в известной мере, отличия темпов русловых переформирований по годам, что находит отражение и в различных объемах наносов при равной или близкой водности. Последнее обстоятельство особо актуально для равнинных рек, чьи русло-пойменные и террасовые комплексы сложены весьма пестрым спектром пород, в неравной степени насыщающих водоток наносами при их размыве и меняющих соотношение в нем взвешенной и влекомой составляющих в меженный период. Изложенная схема поэтапного отбора коррелируемых величин СВ и СВН представлена на рис. 2.

4. Полученное уравнение связи среднемесячных величин СВ и СВН, условно соответствующее модели “чистой” русловой эрозии меженного периода в системе “сток воды реки → русловая эрозия → сток взвешенных наносов руслового происхождения”, является основой для расчленения годовых величин СВН на бассейновую и русловую составляющие. Данное уравнение имеет следующий общий вид:

$$r_i = A_{эп} I Q_i^\mu, \quad (3)$$

где r_i – теоретический (регрессионный) среднемесячный сток наносов руслового происхождения (остальные коэффициенты смотрите в уравнениях (1) и (2)). Степенной характер уравнения наиболее корректно отражает взаимосвязь стока воды и наносов, их взаимную временную изменчивость. Отметим, что изначально пригодными для анализа признавались лишь уравнения связи с величиной аппроксимации линий степенных трендов (коэффициенты детерминации) – R^2 – более 0.7 (в подавляющем большинстве случаев – не ниже 0.8). Такой отбор повышает надежность результатов работы.

На рис. 3 представлены графики соотношения показателей степени m уравнения (2) и μ уравнения (3). Для подавляющего большинства анализируемых равнинных

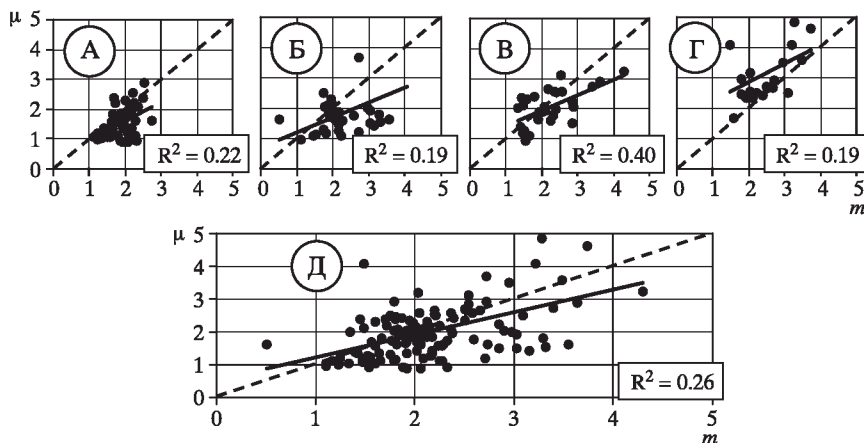


Рис. 3. Соотношения показателей степени m уравнения (2) и μ уравнения (3), рассчитанные для рек различных высотных групп

Анализируемые реки: А – равнинные, Б – низкогорные, В – среднегорные Кавказа, Г – среднегорные Средней Азии, Д – все реки; R^2 – коэффициент детерминации линейного тренда

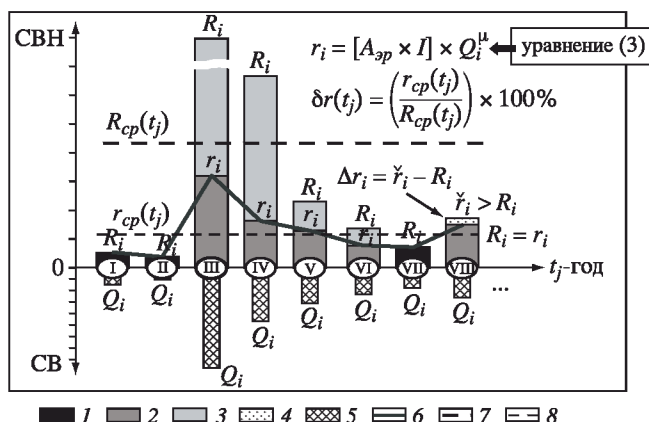


Рис. 4. Принципиальная схема выделения русловой составляющей в стоке взвешенных наносов рек
Среднемесячные величины СВН: 1 – нерасчетные, отобранные для построения уравнения связи (3), 2 – теоретические (расчетные) руслового происхождения, 3 – бассейновая составляющая; 4 – разница между расчетными (руслового происхождения) и реальными среднемесячными величинами СВН при условии $r_i > R_i$; 5 – среднемесячный сток воды (Q_i) календарного t_j -года; 6 – ряд величин r_i ; усредненный СВН: 7 – за t_j -год реальный – $R_{cp}(t_j)$, 8 – за t_j -год теоретический руслового происхождения – $r_{cp}(t_j)$; I, II, III ... – календарные месяцы t_j -года.

Примечание. В месяцы I, II и VII, в которые сток воды и сток наносов взяты для построения уравнения (3), $r_i = R_i$

(85%) и низкогорных (около 72%) рек m превышает μ , для среднегорий Кавказа это превышение отмечено лишь для $2/3$ рек. Иная картина в среднегорном поясе Средней Азии, где в подавляющем большинстве анализируемых бассейнов (около 90%) $m < \mu$. Величины μ возрастают с увеличением меженных расходов воды рек и уклонов их русел, с увеличением крупности руслообразующих наносов, имея для каждого региона свои пределы изменения.

5. Опираясь на уравнение (3), восстанавливаются вероятные величины наносов руслового происхождения для каждого месяца (r_i) каждого анализируемого года (t_j) (рис. 4). В те нечастые месяцы, когда теоретическая (расчетная) величина стока нано-

сов превосходит реальные среднесесячные его объемы (R_i) (т. е. $r_i > R_i$) на величину Δr_i , принимается, что итоговый восстановленный русловой сток наносов приравнен ("опускается" до) этому среднесесячному объему ($r_i = R_i$). Отобранные для построения уравнения (3) среднесесячные величины СВН не подвергаются расчленению на русловую и бассейновую составляющие, поскольку изначально предполагается, что для них $r_i = R_i$. Выстраиваются, таким образом, два ряда среднесесячных русловых наносов:

1) ряд, построенный без учета превышений r_i относительно реального стока наносов R_i : все величины r_i обозначаются как $\check{r}_i$ (ряд величин $\check{r}_i$);

2) ряд, в котором учитываются превышения r_i относительно реального стока наносов R_i , когда r_i приравнивается к R_i при условии $r_i > R_i$ (ряд собственно величин r_i).

Именно последний ряд собственно величин r_i и был использован в анализе. В этой связи оценка средней многолетней величины наносов руслового происхождения оказывается заниженной на величину $dr_{cp} = (\Sigma r_i / \Sigma \check{r}_i) \cdot 100\%$. Однако это занижение невелико: dr_{cp} для всех 124 рек не превышает, в среднем, 1.1% (для равнинных – 1.0%, для низкорослых – 1.6%, для среднегорных Кавказа – 0.5%, Средней Азии – 1.2%). К тому же указанное занижение компенсируется завышением меженного стока наносов, который связывается нами с русловым размывом, по причине возможного включения в него наносов бассейнового происхождения в отдельные дни анализируемых месяцев при вполне вероятных оттепелях и дождях.

6. Теоретические среднесесячные величины русловых наносов (r_i) усредняются для каждого года ($r_{cp}(t_j)$) и за весь период наблюдений (r_{cp}) для данной реки, и соотносятся соответственно со средней годовой ($R_{cp}(t_j)$) и средней многолетней (R_{cp}) величинами ее реального стока наносов (рис. 4). Полученная величина δr ($\delta r = (r_{cp}/R_{cp}) \cdot 100\%$) характеризует долю русловой составляющей в среднем многолетнем речном стоке наносов.

Недостатки метода

Указанный метод оценки русловой и бассейновой долей взвешенных наносов имеет три главных недостатка. Во-первых, даже с учетом степенного характера связи СВ и СВН (см. уравнение 3) пока невозможно надежно определить размывающую способность водотока в период паводков (половодий), поскольку допущается, что установленная меженная связь действует и в эти фазы гидрологического режима реки. Однако очевидно, что существенно меняется от межени к паводкам (половодьям) эрозионный коэффициент A_{ep} , зависящий, в том числе, от массы и крупности поступающих в реку наносов. Как известно, наносы бассейнового происхождения, характер которых (количество, крупность и удельная масса обломочных частиц и пр.) определяется рядом геолого-географических факторов в пределах водосбора, в целом автономны от функционирования системы "сток воды реки → русловая эрозия → сток взвешенных наносов руслового происхождения". Очевидным исключением здесь выступает денудационный материал, поступающий в водотоки в ходе склоново-гравитационных процессов на активно подмываемых речных берегах. Влияние на размывающую способность водотока оказывает также смена от межени к паводкам его гидродинамики, характера взаимодействия с берегами (в т. ч. поймой) и донной растительностью, боковая приточность и т.д. Именно при прохождении больших расходов воды происходят наиболее сильная русловая эрозия и интенсивное переформирование русел.

Во-вторых, минимальные среднесесячные величины СВН, отобранные для построения уравнения (3), не являются однозначно на 100% состоящими из продуктов русловых размывов, поскольку всегда есть вероятность разбавления их бассейновыми наносами в период зимних оттепелей и более частых летних дождей, что, разумеется, никак не фиксируется в их среднесесячной срезке. За пределами любого анализируемого ряда наблюдений могут быть отмечены при одной и той же водности Q_i и более низкие величины R_i , максимально отражающие интенсивность меженной русловой

эрозии. Однако в дальнейший анализ включаются лишь имеющиеся результаты режимных наблюдений на гидрологических постах. Это обстоятельство также заставляет характеризовать получаемые выводы как в той или иной мере вероятностные.

В-третьих, рассчитанная генетическая структура стока наносов, проходящих через гидрологический пост, не отражает точно соотношение наносов, поступивших в реку с водосбора (как результирующая эрозии и аккумуляции продуктов бассейновой эрозии (денудации)), и наносов, образованных при русловых размывах выше створа. Это обусловлено отсутствием учета аккумуляции этих двух групп наносов вдоль русла реки при их транспортировке. Следовательно, генетическая структура СВН – величина изменчивая по длине реки, жестко привязанная к данному гидрологическому посту и условная для экстраполяции на весь речной бассейн выше него.

Апробация метода и обсуждение результатов

Предварительные оценки показывают, что по всему массиву анализируемых речных бассейнов равнинных и горных рек доля русловой эрозии и связанного с ней СВН (δr) не превышает в среднем $8.8 \pm 1.6\%$ с относительным минимумом ($6.3 \pm 2.3\%$) в низкогорной группе речных бассейнов (табл. 2). Примечательно, что величины δr по бассейнам с ландшафтами, более или менее приближенными к природным и слабо преобразованными хозяйственной деятельностью (I категория освоенности (табл. 1)), превышают средние величины δr по всем бассейнам соответствующих высотных групп (табл. 2). Особо ощутимо это превышение (более чем двукратное) в бассейнах равнинных рек.

В чем же причина столь близких между собой величин δr в столь разных по своим морфометрическим характеристикам речных бассейнах, объединенных в три вышеуказанные высотные группы (табл. 2)? Рассмотрим вопрос на примере двух крайних групп – среднегорных и равнинных рек. С одной стороны, интенсивной бассейновой эрозии и значительным величинам бассейновой составляющей СВН в среднегорных бассейнах благоприятствуют наибольшие уклоны их поверхностей и модули СВ, что, как следствие, мы отмечаем и в высоких модулях СВН. Значительная масса наносов поставляет реки благодаря также гравитационным процессам на крутых и высоких склонах их долин. Особенно увеличивают мутность воды оползневые массы, сходящие в русла многих горных рек во влажные годы. С другой стороны, для данной группы бассейнов характерны и наибольшие уклоны русел, а также малое соотношение между уклонами поверхности бассейнов и русел рек (табл. 1). Это обстоятельство, напротив, должно повышать относительную роль русловой (главным образом глубинной) эрозии в общей интенсивности эрозии в речных бассейнах среднегорий. В то же время, руслоформирующий аллювий анализируемых рек является преимущественно валунно-галечным и галечно-валунным, дающим относительно размывающего потенциала реки, в целом, небольшую массу взвешенных наносов при русловых деформациях,

Таблица 2

Некоторые расчетные средние характеристики руслового стока взвешенных наносов анализируемых рек

Характеристики	Высотные группы речных бассейнов			
	равнинные	низкогорные	среднегорные	
			Кавказ	Средняя Азия
μ	1.56 (1.54)	1.83 (1.55)	2.04 (2.12)	3.11 (3.01)
$\delta r, \%$	11.8 ± 3.9 (24.8 ± 16.1)	6.3 ± 2.3 (10.8 ± 7.3)	7.6 ± 1.8 (8.7 ± 2.1)	8.6 ± 2.3 (8.8 ± 2.4)

Примечание. В скобках – по бассейнам I категории хозяйственной освоенности (табл. 1).



Рис. 5. Фрагмент галечно-валунного русла с неразвитыми аллювиальными формами и прибрежной отмосткой р. Черек Балкарский (Северный Кавказ, Кабардино-Балкарский высокогорный заповедник. Фото автора, 2009 г.)

и при таком составе взвешенные наносы практически не участвуют в его сложении. Кроме того, галечно-валунные наносы горных рек в межень формируют отмостку из наиболее крупного материала, которая обеспечивает стабилизацию русел в эту фазу водного режима (рис. 5). Однако в паводки, когда слагающие отмостку обломки приходят в движение, в поток вовлекается большое количество гравийно-песчаного материала, лежащего под отмосткой, и его мутность многократно возрастает [8]. Отметим, что отмостка формируется также у рек равнинного типа в горах (реки межгорных котловин и впадин).

В пределах самих высотных групп величины δr варьируют заметно больше, находясь в зависимости от общей интенсивности денудации и годовых величин СВН, состава руслоформирующего аллювия, степени хозяйственного преобразования природных ландшафтов в речных бассейнах и ряда других причин. На рис. 6 на примере хозяйственно слабо освоенных бассейнов рек среднегорной группы Кавказа показано увеличение доли русловой составляющей СВН на фоне уменьшения его годовых показателей.

У равнинных рек картина иная. Сравнительно высокая величина соотношения между уклонами поверхности бассейнов и русел рек здесь при прочих равных условиях снижает роль русловой эрозии (и величины δr) в общей интенсивности эрозии в бассейнах (табл. 1). Сложение же русел (пойм) рек Восточно-Европейской равнины преимущественно песчаным, песчано-илистым, илистым и илисто-органическим аллювием [32] – обстоятельство, которое, напротив, благоприятствует интенсивной русловой (главным образом боковой) эрозии и повышает величину δr . Реки с песчано-илистым аллювием характеризуются абсолютным преобладанием в отложениях взвешенной составляющей, оседающей при спаде паводков в межень [8].

Дополнительной причиной некоторого завышения δr анализируемых равнинных рек можно назвать большую среднюю площадь их бассейнов (и, следовательно, длину рек) в сравнение со среднегорными бассейнами (табл. 1). Известно, во-первых, что основная масса наносов бассейнового происхождения поступает, прежде всего, в верхние звенья флювиальной сети (в малые реки), все более осаждающаяся по мере продвижения к крупным водотокам бассейна [1, 33]. Следовательно, величины δr , при прочих равных условиях, будут возрастать в том же направлении. Во-вторых, в процессе перемещения наносов уменьшаются размеры составляющих их частиц и происходит дифференциация по длине реки в зависимости от крупности и формы частиц петрографического и минерального составов и т.п. [8]. С увеличением длины реки возрастает вероятность дальнейшей мобилизации утонченного материала русловой эрозией, переход его во взвешенную форму транспортировки и, следовательно, увеличения δr , что отмечается, к примеру, в бассейне р. Амур [34]. Указанная закономерность часто нарушается геоморфолого-литологической неоднородностью бассейнов, контрастной как на равнинах при переходе от низменных к возвышенным морфоструктурам, так и в горных

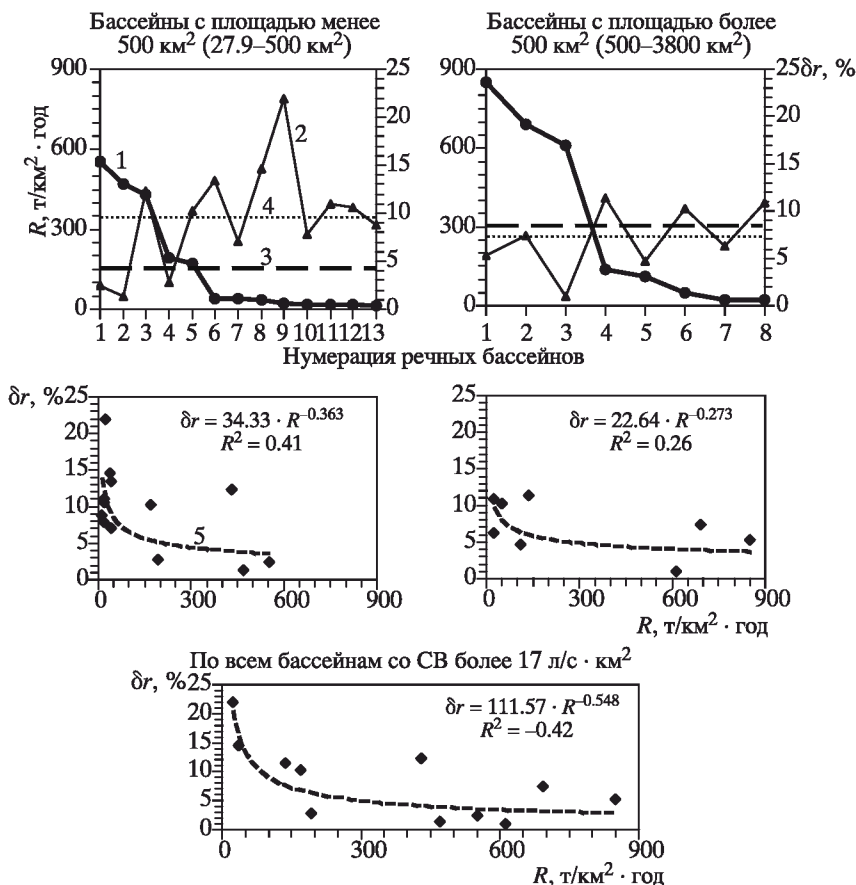


Рис. 6. Увеличение русловой составляющей стока взвешенных наносов (δr) на фоне уменьшения его средних многолетних величин (R , т/км²·год) среднегорных рек Кавказа, характеризующихся слабой антропогенной трансформацией природных ландшафтов в их бассейнах (бассейны I категории хозяйственной освоенности – см. табл. 1)

Сток взвешенных наносов: 1 – R , 2 – русловая составляющая (δr), 3 – многолетний модуль, усредненный по всем бассейнам данной категории, 4 – русловая составляющая, усредненная по всем бассейнам данной категории; 5 – линия степенного тренда; R^2 – коэффициент детерминации степенного тренда.

Речные бассейны с площадью менее 500 км²: 1 – Гизель-Дон/Даргавс, 2 – Черная Арагви/устье, 3 – Кусарчай/Кузун, 4 – Белая Арагви/Млети, 5 – Бзыбь/выше устья р. Решавы, 6 – Дастафюрчай/Карагуллар, 7 – Гянджачай/Зурнабад, 8 – Мартуни/Теховит, 9 – Зивланчай/Кядамыш, 10 – Мармарик/Агавнадзор, 11 – Гаварагет/Норадуз, 12 – Геранчай/Юхары Агджакенд, 13 – Аргичи/Геташен Верин; речные бассейны с площадью более 500 км²: 1 – Черек Балкарский/Бабугент, 2 – Ардон/Таминск, 3 – Б. Лиахви/Кехви, 4 – Кубань/им. Коста Хетагурова, 5 – Малка/Каменный мост, 6 – Кция-Храми/Эддикалиса, 7 – Воротан/Ангехакот, 8 – Паравани/Хертвис

регионах, где чередуются хребты, прорезанные реками с галечно-валунными руслами и межгорные котловины (впадины) с заметным присутствием в аллювии более тонкого материала. Немалую роль играют размыв мощных горно-моренных, пролювиальных и коллювиальных отложений [35] и впадение притоков с иным составом и количеством наносов.

Хозяйственное преобразование природных ландшафтов – еще один важный фактор, влияющий на соотношение русловой и бассейновой составляющих эрозии и стока наносов в речных бассейнах [1, 30]. Сравним, для примера, генетическую структуру СВН двух равновеликих (относительно их гидропостов) рек лесной полосы Восточно-Европейской равнины с различной остаточной бассейновой лесистостью (L) –

Камы/Волосническое ($L = 77\%$, $F = 9750 \text{ км}^2$, $H = 233 \text{ м}$, $I = 0.3\%$, $M = 7.2 \text{ л/с} \times \text{км}^2$, $R = 18.1 \text{ т/км}^2 \times \text{год}$) и Упы/Орлово ($L = 8\%$, $F = 8210 \text{ км}^2$, $H = 220 \text{ м}$, $I = 0.21\%$, $M = 5.1 \text{ л/с} \times \text{км}^2$, $R = 18.5 \text{ т/км}^2 \times \text{год}$ (обозначения см. табл. 1)). В случае Камы с притоками относительно высокая доля русловой составляющей ($\delta r = 39.5\%$, для гидропоста Гайны на этой реке ($L = 81\%$, $F = 27400 \text{ км}^2$) $\delta r = 49\%$) обусловлена небольшим распространением в ее бассейне эрозионно опасных земель (в т.ч. пашни), поставляющих большую массу денудированного (эродированного) материала в речную сеть с тальми и дождевыми водами. Указанная величина δr могла быть заметно выше, если бы не сложение русла верхней Камы и ее притоков преимущественно песчаными руслоформирующими наносами [32], значительная часть которых, в силу своей крупности, перемещается во влекомой форме (грядово-песчаный перенос). По мере роста агрикультурной освоенности и, как одно из следствий, сокращения лесопокрытой площади в бассейнах рек таежно-равнинного Вятско-Камского региона, русловая составляющая взвешенных наносов уменьшается: Сытва/Подкаменное ($L = 57\%$, $F = 19700 \text{ км}^2$) – $\delta r = 23\%$, Чепца/Глазов ($L = 40\%$, $F = 9750 \text{ км}^2$) – $\delta r = 22\%$, Быстрица/Щипецино ($L = 28\%$, $F = 3540 \text{ км}^2$) – $\delta r = 17\%$. Вполне вероятно, что с ростом водосборных площадей в данном регионе русловая составляющая может увеличиваться даже в условиях ошутимой агрикультурной освоенности бассейновых ландшафтов: Вятка/Киров – $\delta r = 41\%$ ($L = 52\%$, $F = 48300 \text{ км}^2$), Вятка/Вятские поляны – $\delta r = 48.5\%$ (L не более 50% , $F = 124000 \text{ км}^2$).

Что же касается р. Упы с притоками, то ошутимое (почти на порядок величины) по сравнению с Камой снижение доли русловой составляющей ($\delta r = 4.0\%$) обусловлено, главным образом, значительным увеличением в реке бассейновых наносов при резком расширении площадей эрозионно опасных земель в ее бассейне (распаханность – 55%).

Сопоставление оценок

1. Оценки русловой составляющей речного СВН (δr), полученные по предложенному выше методу, и ее оценки, полученные по методу А.П. Дедкова и В.И. Мозжерина [1, 30], расходятся тем значительнее, чем больше показатели степени μ в уравнении (3) отличаются от единицы.

Обозначим среднюю многолетнюю долю СВН руслового происхождения по методу А.П. Дедкова и В.И. Мозжерина как λr , которая рассчитывается для каждой реки по уравнениям (5)³ и (6):

$$r = A_{\text{эп}} I Q_{\text{ср}}^{\mu}, \quad (5)$$

$$\lambda r = (r/R_{\text{ср}}) \times 100\%, \quad (6)$$

где r – средний многолетний СВН руслового происхождения по методу А.П. Дедкова и В.И. Мозжерина, $Q_{\text{ср}}$ – средний многолетний расход воды реки, $R_{\text{ср}}$ – средний многолетний СВН реки (остальные коэффициенты смотрите в уравнениях (2) и (3)).

Соотношение величин λr и δr ($\eta = (\lambda r/\delta r) \cdot 100\%$) показывает границы точности применение метода А.П. Дедкова и В.И. Мозжерина при высоких степенных показателях μ . Как видно из рис. 7, для двух этих родственных методов наибольшие расхождения оценок η , приходящиеся на единицу изменения степени μ , характерны для равнинных рек, наименьшие – для низкогорных. При $\mu > 2$ ожидается более чем двукратное расхождение оценок по всему массиву анализируемых рек (рис. 7Д). Вполне очевидно,

³ В своем методе А.П. Дедков и В.И. Мозжерин предложили более упрощенную модель этой связи – линейное уравнение, применение которого приводит к занижению оценки русловых наносов при экстраполяции его на фазы паводков (половодий). Дистанцируясь от этого упрощения, для сопоставления результатов методов мы взяли лишь рациональную основу метода – экстраполяцию связи меженных расходов воды и наносов до величины среднемноголетнего среднегодового расхода воды, но используя при этом уравнение степенного вида.

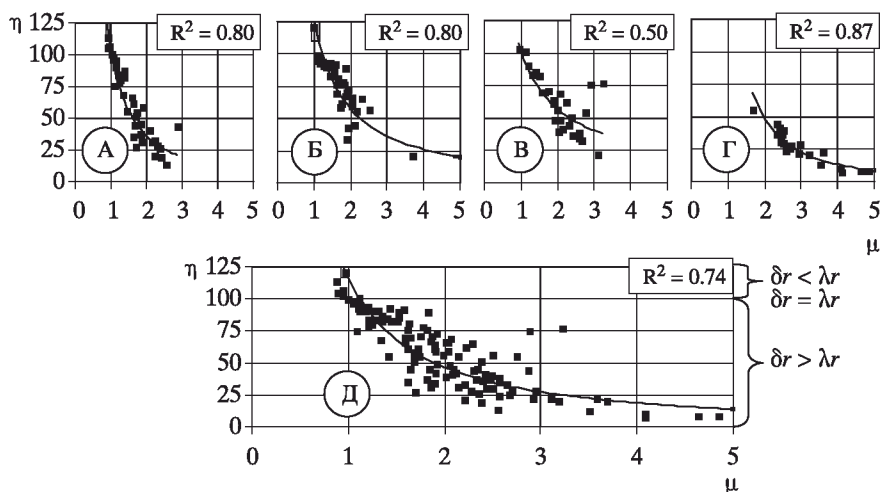


Рис. 7. Соотношения оценок русловой составляющей стока взвешенных наносов, рассчитанных по методу А.П. Дедкова и В.И. Мозжерина (λr) и предлагаемому методу (δr) ($\eta = (\lambda r / \delta r) \cdot 100\%$), в зависимости от изменения степенного показателя μ уравнения (3) по высотным группам (А–Д – см. рис. 3)
 R^2 – коэффициент детерминации степенного тренда

что наименьшие расхождения выявлены у крайне немногочисленных рек, для которых $\mu \approx 1$. Приемлемое (до $\pm 25\%$) расхождение между оценками δr и λr обеспечивается в целом по 124 рекам при $\mu \approx 0.94 \div 1.40$ (для равнинных рек $\mu \approx 0.88 \div 1.23$, для низкогорных рек – $1.00 \div 1.58$, для среднегорных рек Кавказа – $0.78 \div 1.44$, для среднегорных рек Средней Азии – $\mu \approx 1.21 \div 1.60$).

Из всех выделенных высотных групп наименьшее расхождение оценок (η) отмечается в группе низкогорных бассейнов: равнинные – 47.5%, низкогорные – 81.0%, среднегорные Кавказа – 60.5%, среднегорные Средней Азии – 25.6%. Характерно, что именно для низкогорной группы рек присущи наименьшие средние величины δr и наибольшие средние показатели годового стока наносов (табл. 1, 2). Различия в оценках велики также для рек равнинных областей с семиаридным и аридным климатом, где отмечается наиболее высокая внутригодовая неравномерность стока воды и наносов.

2. Сопоставление оценок структуры СВН 21 реки среднегорного пояса Средней Азии, рассчитанных по предлагаемому методу и методу О.П. Щегловой [9], показывает их сравнительно хорошую, в целом, корреляцию. Рис. 8 демонстрирует сопоставление по величине руслового компонента СВН этих рек. На рисунке четко оформляются две группы речных бассейнов: если в первой группе (I) коэффициент линейной корреляции величин δr и ξr составляет 0.93, то во второй (группа II) – 0.19. Обособление второй, слабо коррелируемой группы бассейнов можно предположительно связать с относительно низким средним показателем степени μ уравнения (3), рассчитанным для этой группы рек, так и с тем обстоятельством, что преобладающими группами пород, слагающими бассейны с поверхности, являются терригенно-рыхлые, смешанные (рыхло-скальные) и магматические образования, в то время как бассейны первой группы сложены с поверхности преимущественно (в $\frac{3}{4}$ случаев) глинистыми породами. Влияние иных природных (морфометрических и ландшафтно-климатических) факторов и условий на это обособление вероятно, на наш взгляд, в меньшей степени (рис. 8).

3. Сопоставление наших оценок с результатами В.Н. Голосова [29] по ряду рек бассейна Оки обнаруживает весьма хорошую их сходимость (табл. 3). В то же время, на примере указанных в таблице рек не вполне ясно отражение различий в ландшафтных условиях в генетической структуре стока взвешенных наносов этих водотоков:

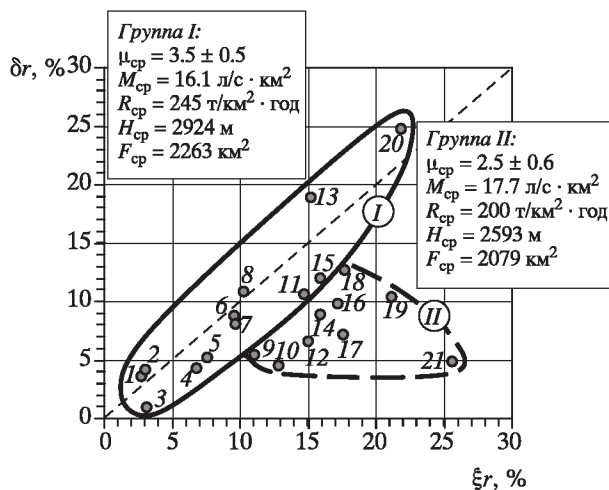


Рис. 8. Сопоставление оценок русловой составляющей стока взвешенных наносов, рассчитанных по методу О.П. Щегловой (ξr) [9] и по предлагаемому методу (δr), по среднегорным рекам Средней Азии

Реки: 1 – Тюп/Сартаглой, 2 – Зеравшан/устье р. Фандарья, 3 – Каратаг/Каратаг, 4 – Иссыката/Юрьевское, 5 – Аксу/Хазарнау, 6 – Нарын/Нарын, 7 – Алаарча/устье р. Кашкасу, 8 – Чон-Кемин/устье, 9 – Тентяксай/Чарвак, 10 – Джирлаган/Советское, 11 – Исфайрамсай/Эч Курган, 12 – Ангрен/Турк (выше плотины), 13 – Ходжабакирган/Андархон, 14 – Кассансай/Урюкты, 15 – Яккабагдарья/Татар, 16 – Чаткал/Чарвак, 17 – Угам/Ходжикент, 18 – Исфара/Таш Курган, 19 – Варзоб/Дагана, 20 – Пскем/Чарвак, 21 – Чу/Кочкорка

так, реки Москва/Барсуки и Зуша/Мценск при заметно отличающейся лесистости их бассейнов имеют примерно равную долю русловой составляющей СВН (табл. 3). В другом случае, рассчитанная доля русловых наносов Оки выше Калуги (4.4–4.6%) вполне может быть завышена по причине массовой разработки русловых месторождений песчано-гравийного материала во второй половине XX столетия. Так, по данным К.М. Берковича и др., на 100 км русла верхнего течения Оки разрабатывалось около 100 таких месторождений, что вызвало значительное углубление русла, просадки уровня реки и мобилизацию руслового тонко-песчаного материала во взвешенную форму миграции [36]. Все эти обстоятельства призывают нас более тщательно учитывать местные природные и хозяйственные условия при оценке развития различных видов эрозии в каждом конкретном речном бассейне.

Таблица 3

Сопоставление оценок русловой составляющей стока взвешенных наносов (СВН) некоторых рек бассейна Оки

Река/Пост	F	L	P	M	R	G	Русловой СВН, %	
							δr	по [29]
Москва/?	500	46	25	?	?	12	–	2.3
Москва/Барсуки	755	?	?	6.9	11.6	?	4.7	–
Вад/Авдалово	1930	37	35	3.6	8.4	37	5.9	5.1
Зуша/Мценск	6000	7	37	4.8	57.2	68	4.9	11.7
Упа/Орлово	8210	8	55	4.9	19.7	60	4.0	4.4
Ока/Калуга	54900	23	55	4.9	19.6	46	4.6	4.4

Примечание. F – площадь речного бассейна (км^2), L – остаточная лесистость бассейна (%), P – распаханность бассейна (%), M – средний многолетний модуль СВ ($\text{л/с} \cdot \text{км}^2$), R – средний многолетний модуль СВН ($\text{т/км}^2 \cdot \text{год}$), G – плотность оврагов в бассейне (шт/км^2).

Заключение

Несмотря на отмеченные выше недостатки и очевидную относительность, предлагаемый метод может быть успешно применен для приближенной оценки генетической структуры эрозии и речного стока взвешенных наносов в пределах крупных регионов планеты, сравнительно хорошо обеспеченных соответствующей гидрологической информацией (к примеру, Северная Евразия в границах бывшего СССР). Это позволило бы районировать их территории не только по соотношению русловой и бассейновой составляющих этих явлений, но также по их внутрибассейновой интенсивности, выраженной как в площадных (для бассейновой эрозии, $\text{т/км}^2 \times \text{год}$), так и в линейных (для русловой эрозии, $\text{т/км} \times \text{год}$) модульных величинах, а также провести географический анализ факторной обусловленности их пространственной изменчивости, что позволило бы решать ряд фундаментальных и прикладных задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дедков А.П., Мозжерин В.И. Эрозия и сток наносов на Земле. Казань: Изд-во КазГУ, 1984. 264 с.
2. Львович М.И., Карасик Г.Я., Братцева Н.П. и др. Современная интенсивность внутриконтинентальной эрозии суши земного шара // Результаты исслед. по междунар. геофизич. проектам. М.: Изд. Межвед. геофизич. комитет, 1991. 336 с.
3. Бобровицкая Н.Н. Водная эрозия на склонах и сток наносов: Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. СПб.: ГГИ, 1995. 59 с.
4. Walling D.E. Erosion and sediment yield in the changeable environment // Study of erosion, river bed deformation and sediment transport in river basins as related to natural and man-made changes / Int. Hydr. Programme. Paris: UNESCO, 1997. V. 5. № 10.
5. Дедков А.П., Гусаров А.В., Мозжерин В.В. Две системы эрозии в речных бассейнах равнин Земли и их взаимная трансформация (часть I) // Геоморфология. 2008. № 4. С. 3–16.
6. Карасёв И.Ф. Русловые процессы при переброске стока. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 288 с.
7. Копалиани З.Д. О соотношении расходов донных и взвешенных наносов в реках // Гидрофизические процессы в реках и водохранилищах. М.: Наука, 1985. С. 143–147.
8. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 1: Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.
9. Щеглова О.П. Генетический анализ и картографирование стока взвешенных наносов рек Средней Азии. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 127 с.
10. Поляков Б.В. Гидрологический анализ и расчеты. Л.: Гидрометеиздат, 1946. 480 с.
11. Лопатин Г.В. Наносы рек СССР // Зап. ГО. 1952. Т. 14. 366 с.
12. Кабанова К.С. Генетический анализ режима стока взвешенных наносов рек Средней Азии // Уч. зап. ЛГУ. Сер. геогр. 1952. Вып. 3. № 152. С. 107–158.
13. Grimshaw D.L., Lewin J. Source identification for suspended sediments // Journ. Hydrology. 1980. № 47. P. 151–162.
14. Garrad P.N., Hay R.D. Sources of suspended and deposited sediment in the Broadland river // Earth Surface Processes and Landforms. 1989. № 14. P. 41–62.
15. Ковальчук И.П., Штойко П.И. Речные системы Западного Подолья: методика выявления масштаба и причин многолетних изменений их структуры и экологического состояния // Геоморфология. 1989. № 4. С. 27–34.
16. Прыткова М.Я. Сток наносов // Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 8. Л.: Гидрометеиздат, 1973. С. 217–258.
17. Мозжерин В.И. Новые результаты стационарного изучения крипа в Среднем Поволжье // Экзогенные процессы и эволюция рельефа. Казань: Изд-во КазГУ, 1989. С. 124–138.
18. Hasholt B., Mernild S.H. Glacial erosion and sediment transport in Mittivakkat Glacier catchment, Ammassalik Island, southeast Greenland // Sediment Dynamics and the Hydromorphology of Fluvial Systems / Proc. of Dundee Int. Symp. (July, 2006). Wallingford (UK): IAHS Press. IAHS Publ. 306, 2006. P. 45–55.

19. *Peart M.R., Walling D.E.* Fingerprinting sediment sources: the example of a small drainage basin in Devon, UK / *Drainage Basin Sediment Delivery* (ed. by R.F. Hadley). Wallingford (UK): IAHS Press. IAHS Publ. 159, 1986. P. 41–55.
20. *Oldfield F., Rummery T.A., Thompson R., Walling D.E.* Identification of suspended sediment sources by means of magnetic measurements: some preliminary results // *Water resources research*. 1979. № 15. P. 211–218.
21. *Stott A.P.* Sediment tracing in a reservoir catchment system using a magnetic mixing model // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 1986. № 42. P. 105–112.
22. *Foster I.D.L., Grew R., Dearing J.A.* Magnitude and frequency of sediment transport in agricultural catchments: a paired lake-catchment study in Midland England // *Soil Erosion on Agricultural Lands*. Chichester: Wiley, 1990. P. 153–171.
23. *Slattery M.C., Burt T.P., Walden J.* The application of mineral magnetic measurements to quantify within-storm variations in suspended sediment sources // *Tracers Technologies for Hydrological Systems* / *Proc. of Boulder Int. Symp.* (July, 1995). Wallingford (UK): IAHS Press. IAHS Publ. 229, 1995. P. 143–151.
24. *Peart M.R.* Using sediment properties as natural tracers for sediment source: two case studies from Hong Kong // *Tracers in Hydrology* / *Proc. of the Yokohama Int. Symp.* (July, 1993). Wallingford (UK): IAHS Press. IAHS Publ. 215, 1993. P. 313–318.
25. *Wasson R.J.* Sediment budgets, dynamics and variability: new approaches and techniques // *The Structure, Function and Management Implications of Fluvial Sedimentary Systems* / *Proc. of Alice Springs Int. Symp.* (September, 2002). Wallingford (UK): IAHS Press. IAHS Publ. 276, 2002. P. 471–478.
26. *Collins A.L., Walling D.E., Leeks G.J.L.* Sediment sources in the Upper Severn catchment: a fingerprinting approach // *Hydrology and Earth System Sciences*. 1997. V. 1 (3). P. 509–521.
27. *Zhang X., Wen Z., Feng M. et al.* Application of ^{137}Cs fingerprinting technique to interpreting sediment production records from reservoir deposits in a small catchment of Hilly Loess Plateau, China // *Science in China. Series D: Earth Sciences*. 2007. V. 50. № 2. P. 254–260.
28. *Jeong J., McDowell S.D.* Characterization and Transport of Contaminated Sediments in the Southern Central Lake Superior // *Journ. of Minerals and Materials Characterization and Engineering*. 2003. V. 2. № 2. P. 111–135.
29. *Голосов В.Н.* Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин. М.: ГЕОС, 2006. 296 с.
30. *Мозжерин В.И., Курбанова С.Г.* Деятельность человека и эрозионно-русловые системы Среднего Поволжья. Казань: Арт Дизайн, 2004. 128 с.
31. Государственный водный кадастр СССР (до 1978 года под названием Ресурсы поверхностных вод СССР). Л.: Гидрометеониздат, Т. 6, 8–12, 14.
32. *Чернов А.В.* Влияние геолого-геоморфологических условий на формирование и распределение руслообразующих наносов на реках Восточной Европы // *Геоморфология*. 2010. № 2. С. 115–120.
33. *Dedkov A.P.* The relationship between sediment yield and drainage basin area // *Sediment Transfer through the Fluvial Systems* / *Proc. of Moscow Int. Symp.* (August, 2004). Wallingford (UK): IAHS Press. IAHS Publ. 288, 2004. P. 197–204.
34. *Борщевский Е.В., Завадский А.С., Иванов В.В. и др.* Условия формирования русел в бассейне р. Амур и их морфодинамические типы // *Эрозия почв и русловые процессы*. М.: Изд-во МГУ, 2010. Вып. 17. С. 129–150.
35. *Виноградова Н.Н., Крыленко И.В., Сурков В.В., Тарбеева А.М.* Ледниковые реки Приэльбрусья – условия руслоформирования и взаимосвязь морфодинамики долин и русел // *Эрозия почв и русловые процессы*. М.: Изд-во МГУ, 2010. Вып. 17. С. 96–115.
36. *Беркович К.М., Злотина Л.В., Турыкин Л.А.* Современные изменения русла Оки // *Маккавеевские чтения – 2009*. М.: Изд-во МГУ, 2010. С. 4–12.

Казанский (Приволжский)
федеральный университет

Поступила в редакцию
15.12.2011

RIVERBED AND BASIN COMPONENTS OF EROSION AND SUSPENDED SEDIMENTS RUNOFF WITHIN RIVER BASINS: A NEW METHOD OF ASSESSMENT

A.V. GUSAROV

Summary

Sheet, rivulet, and gully erosion form the basin runoff. A new hydrological method of basin and riverbed components of erosion assessment is proposed. The method is based on functional dependence: $r_i = A_{sp} I Q^\mu$, where r_i and Q – monthly averages water suspended sediments (SS) runoff, A_{sp} – empirical complex erosion coefficient, I – slope of riverbed, μ – power coefficient. This dependence was obtained for drought periods in different years with different low water runoff and was extrapolated on other phases of hydrological regime. This extrapolation allows calculating riverbed and basin components of SS runoff in its bulk multiyear average. Data of more than ten years observation on 124 small and average rivers of East European Plain, the Urals, East Carpathian, Cis-Caucasus, mountains of Middle Asia were used. The average share of riverbed erosion and SS runoff was shown to be $8.8 \pm 1.6\%$ with minimum of $6.3 \pm 2.3\%$ in the low mountain rivers and maximum of $11.8 \pm 3.9\%$ in the plain river basins.

УДК 551.4.911.3:551.4(084.3)(479.24)

© 2013 г. М.М. МЕХБАЛИЕВ

СОЗДАНИЕ КАРТ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО СКЛОНА БОЛЬШОГО КАВКАЗА В ПРЕДЕЛАХ РЕСПУБЛИКИ АЗЕРБАЙДЖАН)

Одним из основных природных объектов туризма является рельеф, который определяет весь облик пейзажа, эстетичность, комфортность и др. рекреационные свойства всего ландшафта [1].

Рельеф – основной фактор при рекреационном районировании и составная часть территориальной рекреационной системы. Основными специфическими рекреационно-туристическими свойствами рельефа являются: 1) привлекательность (аттрактивность) – делает рельеф туристическим объектом; 2) уникальность (степень встречаемости и неповторимости) – вызывает интерес людей; 3) познавательность – после ознакомления с рельефом турист изучает и в определенной степени познает его; 4) экзотичность – степень контрастности и необычности для туристов; 5) выразительность – степень выраженности отдельных форм рельефа на земной поверхности в целом; 6) сохранность (подготовленность) к приему туристов; 7) доступность – возможность просмотра уникальных форм рельефа на близком расстоянии и т.д.

Рельеф, особенно его морфометрические показатели (экспозиция, крутизна, средняя высота, густота и глубина расчленения), определяют возможность использования территории для того или иного вида туристической деятельности. От них зависят проходимость (или доступность) территории, транспортировка отдыхающих и обслуживающего персонала, размещение объектов сервиса и инфраструктуры, обзорность (с ней тесно связаны познавательные и эмоционально-психологические эффекты), разнообразие (определяет силуэт местности, привлекательность) и др. особенности рельефа [2, 3].

На наш взгляд, одним из основных видов туризма является геоморфологический туризм (геотуризм), который успешно конкурирует с остальными видами туризма, некоторыми своими свойствами даже превосходя все остальные.

Рельеф оказывает как положительное, так и отрицательное воздействие на туристическую деятельность. Достопримечательные объекты горной среды (типичные