

УДК 551.435.1→551.312.3

© 2015 г. А.В. ГУСАРОВ

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СООТНОШЕНИЯ РУСЛОВОЙ И БАСЕЙНОВОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЭРОЗИИ И СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ В РЕЧНЫХ БАСЕЙНАХ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ¹

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия;
avgusarov@mail.ru*

Сток взвешенных наносов рек – один из объективных и достаточно точных показателей активности эрозии в границах их водосборов [1–5 и др.], несмотря на то, что в ряде регионов планеты доля влекомого компонента в общем речном стоке наносов (как интегральной характеристики транзитной механической денудации в бассейнах) может быть весьма существенной [6, 7 и др.] и оценки суммарной эрозионно-денудационной активности только лишь по стоку взвешенных наносов здесь, в этой связи, допускают ощутимые погрешности. Наряду с определением общей интенсивности эрозии в речных бассейнах взвешенные наносы пригодны и для расчета ее структуры – выделение *русловой*² и *бассейновой* (почвенно-овражная эрозия) составляющих, и в ряду альтернативных подходов к оценке эрозионной структуры в речных бассейнах применение взвешенных наносов при региональных и глобальных исследованиях более предпочтительно по целому ряду причин [8].

В настоящей работе изложены лишь основные пространственные закономерности соотношения русловой и бассейновой составляющих эрозионной активности в речных водосборах на примере столь крупного региона планеты как Северная Евразия.

Материал исследования

Исходный материал исследования – результаты многолетних (свыше 10 лет) наблюдений (в основном за 1950–1980-е гг.) на сети гидрологических постов Гидрометеорологической службы СССР за стоком воды (Q) и стоком взвешенных наносов (R) 460 преимущественно малых и средних рек Северной Евразии (в пределах территории бывшего СССР) [9], содержащие сведения о среднемесячных величинах Q и R и характеризующиеся отсутствием в бассейнах этих рек больших водохранилищ. Размещение постов на анализируемых реках региона планеты неравномерное, что отражает общую картину его гидрологической изученности в контексте природных и экономических ее предпосылок (рис. 1).

В одной из крупнейших баз данных по стоку взвешенных наносов рек Земли, составленной А.П. Дедковым и В.И. Мозжериним [1] и содержащей информацию по данному показателю для 3457 речных бассейнов, на территорию бывшего Советского Союза приходится 2119 бассейнов, из которых лишь 48.7% (1032 бассейна) имеют

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 11-05-00605).

² Взвешенные в речных водах продукты горизонтальных и вертикальных русловых деформаций.

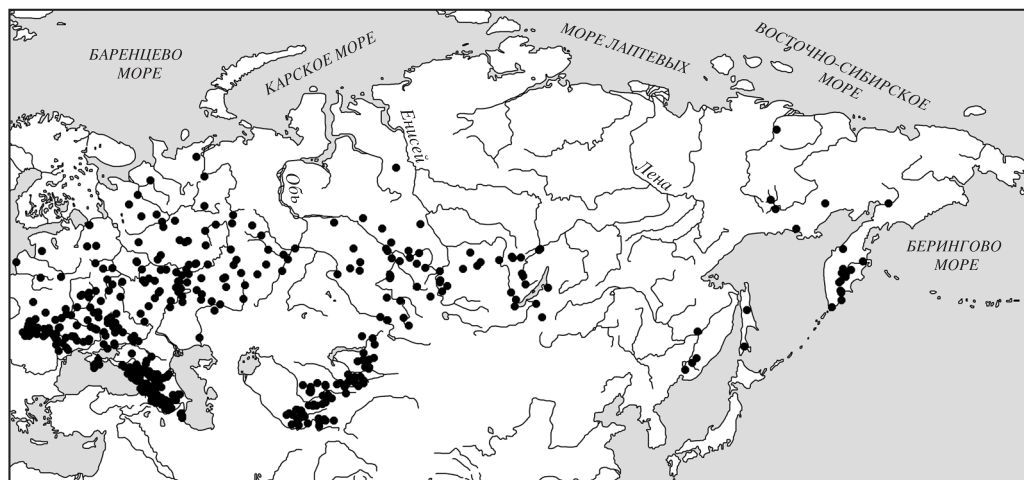


Рис. 1. Карта-схема расположения гидрологических постов на анализируемых реках Северной Евразии

период наблюдения за стоком взвешенных наносов более 10 лет. Следовательно, выбранный нами массив данных для последующего расчленения наносов рек рассматриваемого региона на русловую и бассейновую составляющие является вполне репрезентативным (44.6%), и с учетом суммарной площади анализируемых речных бассейнов (>6.5 млн км²) и их положения почти во всех равнинных ландшафтных зонах и высотных поясах, полученные результаты исследования следует рассматривать представительными и для умеренного климатического пояса северного полушария Земли.

Речные бассейны разделены по трем высотным группам³ – равнинные (со средними абс. высотами, лежащими в интервале от 0 до 500 м), низкогорные (500–2000 м) и среднегорные (2000–3500 м) (табл. 1), имеют разные водолитосборные площади (далее сгруппированы по трем площадным категориям: бассейны малых рек (площадью менее 2000 км², средних рек – от 2000 до 25 000 км², и крупных рек – более 25 000 км²)), их уклоны и уклоны русел, степень хозяйственного преобразования природных ландшафтов и т.д., что нашло отражение в общей интенсивности механической денудации (в т. ч. эрозии) и величинах речного стока наносов в них. Из таблицы 1 видно, что средняя продолжительность периода наблюдений (точнее – имеющихся у нас в распоряжении результатов наблюдений) за стоком наносов мало отличается по высотным группам, что дает основание, в целом, исключить возможное влияние разной продолжительности наблюдений на полученные результаты по этим группам. Распределение речных бассейнов по степени хозяйственного преобразования природных ландшафтов в пределах высотных групп также представлено в таблице 1.

Помимо высотной группировки все речные бассейны были разделены по их широтно-зональной и высотно-поясной ландшафтной принадлежности, в соответствии со схемой, предложенной А.П. Дедковым и В.И. Можжериним [1] (рис. 2). Именно высотные (геоморфологические) и ландшафтно-климатические условия, на наш взгляд, в наибольшей степени отвечают за общий рисунок пространственной дифференциации соотношения русловой и бассейновой составляющих интенсивности эрозии и стока взвешенных наносов в речных бассейнах в пределах столь крупного региона планеты как Северная Евразия. Азональный структурно-литологический фактор и агрикультурная деятельность могут лишь усложнять указанную общую картину на локальном и

³ Бассейны со средними абс. высотами свыше 3500 м (высокогорные) нами не анализировались в силу крайне малого их количества и, как следствие, низкой репрезентативности полученных по ним выводов.

Некоторые характеристики анализируемых речных бассейнов Северной Евразии

Показатели	Речные бассейны		
	равнинные	низкогорные	среднегорные
N , ед.	213 (46.3%)	150 (32.6%)	97 (21.1%)
H , м	209 ± 12	1117 ± 73	2631 ± 97
F , км ²	4976848.6 (23365.5)	1391303.9 (9275.4)	290447.5 (2994.3)
T , кол-во лет	19.1 ± 1.0	22.2 ± 1.5	21.7 ± 1.6
A	2.1	1.6	1.1
I/II/III, %	25.0/37.5/37.5	50.7/35.6/13.7	95.0/5.0/–
$M(Q)_{\text{ср}}$, л/с \times км ²	5.3 ± 0.6	17.7 ± 3.0	18.0 ± 2.3
$C_v(Q)_{\text{ср}}$, %	149 ± 8	102 ± 6	85 ± 4
$M(R)_{\text{ср}}$, т/км ² \times год	95 ± 18	183 ± 54	253 ± 10
$C_v(R)_{\text{ср}}$, %	312 ± 18	257 ± 16	260 ± 17

N – количество речных бассейнов, H – средняя абс. высота речных бассейнов, F – площадь речных бассейнов – суммарная (средняя), T – средняя продолжительность наблюдений за Q и R анализируемых рек, A – средний балл (категория) хозяйственной освоённости ландшафтов речных бассейнов (1 балл (I категория) – малоизмененные бассейны (в лесных зонах остаточная лесистость (L) > 70%, в преимущественно степных зонах распаханность (P) < 30%), 2 балла (II категория) – бассейны со средней степенью изменения природного ландшафта (L лесных зон и P для степных – от 30 до 70%), 3 балла (III категория) – сильно измененные человеком ландшафты бассейнов (L < 30% или P > 70%)), I/II/III – распределение бассейнов по категориям освоённости, $M(Q)_{\text{ср}}$ – средний многолетний модуль стока воды рек, $C_v(Q)_{\text{ср}}$ – средний коэффициент вариации среднемесячных величин стока воды рек за весь период наблюдения, $M(R)_{\text{ср}}$ – средний многолетний модуль стока взвешенных наносов рек, $C_v(R)_{\text{ср}}$ – средний коэффициент вариации среднемесячных величин стока взвешенных наносов рек за весь период наблюдения.

Примечание: здесь и далее границы доверительных интервалов всех средних характеристик установлены с уровнем надежности 95%.

региональном уровне организации бассейновых геосистем. Дальнейшее разделение природных зон по степени антропогенной освоённости ландшафтов в ещё большей мере делает распределение речных бассейнов неравномерным. В этой связи, выводы по природно-ландшафтному и антропогенно-ландшафтному подразделению в каждой высотной группе, малообеспеченным или необеспеченным речными бассейнами, могут считаться непредставительными или вовсе отсутствовать.

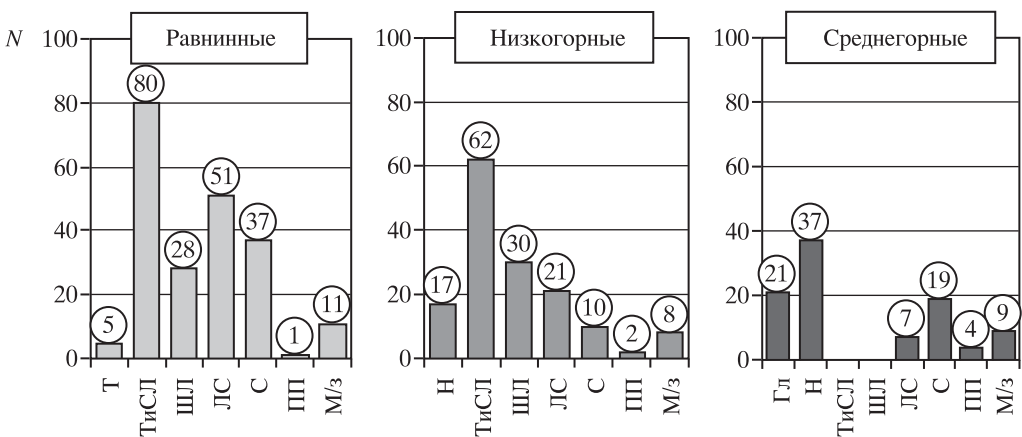


Рис. 2. Распределение анализируемых речных бассейнов Северной Евразии (N , ед.) по природным (ландшафтным) зонам на равнинах и поясам в горах в пределах высотных групп (в кружочках – количество бассейнов)

Гл – гляциальный пояс в горах, Т – тундра (Н – нивальный пояс в горах), TiSL – тайга и смешанный лес, ШЛ – широколиственный лес, ЛС – лесостепь, С – степь, ПП – полупустыня, M/3 – межзональные бассейны

Метод исследования

Количественное разделение общей эрозионной активности в бассейнах рек по их стоку взвешенных наносов на русловую и бассейновую составляющие проводилось по методу, предложенному ранее автором данной статьи. Его детальное изложение представлено в работе [8].

Суть метода заключается в графическом построении, на первом этапе, связи среднемесячных величин Q_i и R_i за весь период наблюдений для каждой анализируемой реки, описываемой уравнением степенного вида:

$$R_i = A_{\text{эп}} I Q_i^m, \quad (1)$$

где R_i – теоретический (регрессионный) среднемесячный сток взвешенных наносов за календарный i -месяц с водностью Q_i , $A_{\text{эп}}$ – 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 $A_{\text{эп}}$ и I могут существенно варьировать от реки к реке в зависимости от геолого-геоморфологического строения их бассейна и русел, а также физико-географических условий на водосборе [7]. Степенной характер уравнения наиболее корректно отражает связь стока наносов со стоком воды, их взаимную временную изменчивость.

В дальнейшем, из графического поля точек связи Q_i и R_i отбираются лишь те, величины стока воды 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 засушливые периоды теплого времени года. Далее, из графического поля точек связи Q_i и R_i , соответствующего зимним меженим или близким к ним летним расходам воды, отбираются самые минимальные значения R_i (до 2–3, как правило), чьи величины, в свою очередь, соответствуют сравнительно “чистой” меженной русловой эрозии. Полученное уравнение связи среднемесячных величин Q_i и R_i , 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 стока наносов на бассейновую и русловую составляющие. Данное уравнение имеет общий вид:

$$r_i = A_{\text{эп}} I Q_i^\mu, \quad (2)$$

где r_i – теоретический (регрессионный) среднемесячный сток наносов руслового происхождения, μ – эмпирический степенной показатель связи меженных Q_i и R_i для данного уравнения (остальные коэффициенты см. уравнение (1)). Вполне вероятно, что формирование продуктов русловой эрозии во время паводков (половодий) будет отличаться от модели по уравнению (2), поскольку на размывающую способность реки в эти фазы водного режима большое влияние оказывают, помимо характеристик ее водности, еще и характер взаимодействия потока с берегами, морфологические и литологические характеристики поймы, особенности прибрежной растительности и т.д.

И наконец, теоретические среднемесячные величины русловых наносов (r_i) осредняются для каждого года ($r_{\text{ср}}(t_j)$) и всего периода наблюдений ($r_{\text{ср}}$) для данной реки, и соотносятся соответственно со средней годовой ($R_{\text{ср}}(t_j)$) и средней многолетней ($R_{\text{ср}}$) величинами ее реального стока наносов. Полученная величина

δr ($\delta r = (r_{\text{cp}}/R_{\text{cp}}) \times 100\%$) характеризует долю русловой составляющей в среднем многолетнем речном стоке наносов. Соответственно бассейновая составляющая стока взвешенных наносов $\delta b = 100\% - \delta r$.

Результаты исследования

Результаты исследования можно представить в виде следующих основных положений:

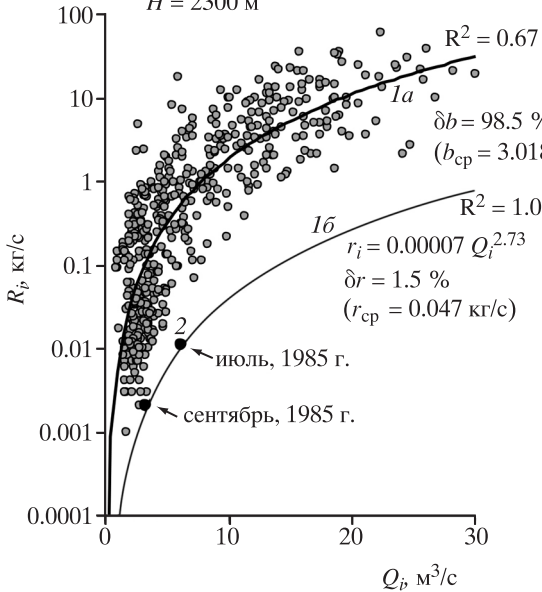
1. Для всех речных бассейнов региона величина русловой составляющей общей интенсивности эрозии по стоку взвешенных наносов (δr) не превышает, в среднем, 15%: по равнинным рекам – $10.4 \pm 1.5\%$, по низкогорным рекам – $4.9 \pm 0.9\%$, по среднегорным рекам – $4.0 \pm 0.8\%$. Средний для Северной Евразии показатель $\delta r = 7.2 \pm 0.8\%$. При общем тренде сокращения русловых наносов (и, следовательно, увеличения наносов бассейновых) от равнинных бассейнов к среднегорным их средние величины, в целом, сравнительно близки между собой.

Интенсивной бассейновой эрозии и значительным величинам бассейновой составляющей стока взвешенных наносов в среднегорных бассейнах благоприятствуют наибольшие уклоны их поверхностей и модули стока воды, что, как следствие, мы отмечаем и в высоких модулях стока наносов (табл. 1). Значительная масса обломочного материала поступает в 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. Этот факт, напротив, должен повышать относительную роль русловой (главным образом глубинной) эрозии в общей интенсивности эрозии в речных бассейнах среднегорий [8]. В то же время руслоформирующий аллювий анализируемых рек является преимущественно валунно-галечным и галечно-валунным [10], дающим относительно размывающего потенциала реки, в целом, небольшую массу взвешенных наносов при русловых деформациях, 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, что обеспечивает стабильность русел в эту фазу водного режима. 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 [7]. Отметим, что отмостка формируется также у рек равнинного типа в горах (реки межгорных котловин и впадин).

На рис. 3 на примере двух территориально близких рек Кавказа видны крайне высокие величины стока взвешенных наносов, обусловленные весьма слабой русловой эрозией в валунно-галечных руслах этой горной системы. Причем эта картина сохраняется и для русел не только малых, но и более крупных рек. На рис. 4 приводятся результаты расчленения наносов двух рек юга Восточной Сибири – Киренги и Лены (верхнее течение). Бассейны этих рек имеют весьма близкие площади относительно указанных гидрологических постов, ландшафтно-геоморфологические условия и общие темпы механической денудации в них, что нашло отражение в практически равных модулях R рек. Заметные различия у них проявляются лишь в водоносности – она более чем в 3 раза выше у Киренги. Это обстоятельство, отчасти, нашло отражение в несколько больших (в 1.8 раза) скоростях русловой эрозии и величинах русловых наносов у р. Киренга. Несколько более активной русловой эрозии и формированию большей массы русловых наносов Киренги благоприятствует широкопойменность ее долины, заложенной в Предбайкальской впадине, что контрастирует с верхней Леной, русло которой располагается в регионе ограниченного развития русловых деформаций (особенно в пределах Лено-Ангарского плато выше г. Усть-Кут) с преобладанием врезанного типа русла. Относительно верхней Лены отметим и тот

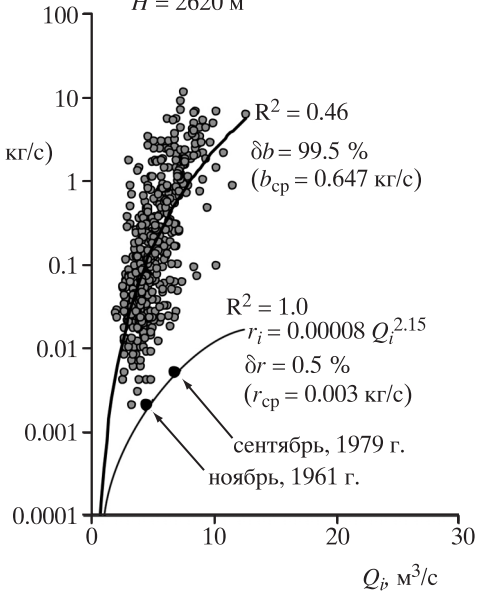
Чёрная Арагви близ устья

$T = 40$ лет
 $M(Q) = 31.5 \text{ л/с} \times \text{км}^2$
 $M(R) = 411.3 \text{ т/год} \times \text{км}^2$
 $C_v(Q) = 80 \%$
 $C_v(R) = 208 \%$
 $F = 235 \text{ км}^2$
 $H = 2300 \text{ м}$



Белая Арагви у с. Млети

$T = 40$ лет
 $M(Q) = 48.9 \text{ л/с} \times \text{км}^2$
 $M(R) = 191.5 \text{ т/год} \times \text{км}^2$
 $C_v(Q) = 33 \%$
 $C_v(R) = 196 \%$
 $F = 107 \text{ км}^2$
 $H = 2620 \text{ м}$



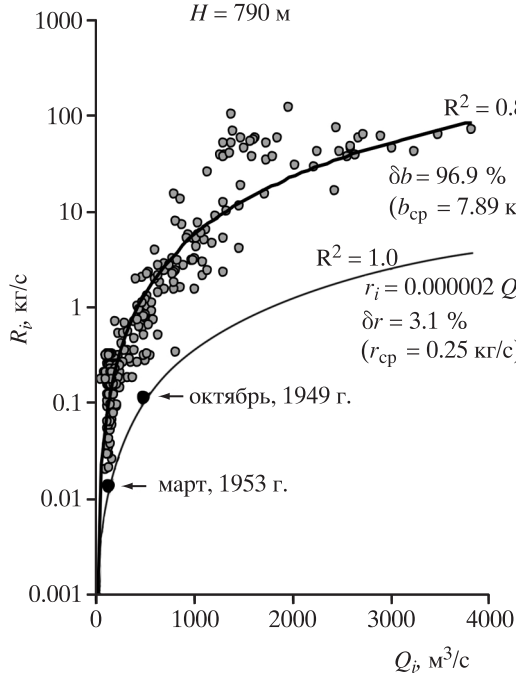
Место соединения галечных русел рек Белая Арагви и Чёрная Арагви

Рис. 3. Соотношение между русловой (δr) и бассейновой (δb) составляющими стока взвешенных наносов рек Чёрная и Белая Арагви (регион Мцхета–Мтианети, Грузия). Фото свободного электронного доступа r_{cp} (b_{cp}) – средний многолетний сток взвешенных наносов руслового (бассейнового) происхождения; *средний месячный расход*: Q_i – воды, R_i – взвешенных наносов; I – линии степенного тренда уравнения (a – (1), b – (2)); R^2 – коэффициент детерминации линии тренда; 2 – парные величины Q_i – R_i , отобранные из всего их массива для построения уравнения (2). Прочие усл. обозн. см. табл. 1

факт, что русловая составляющая δr постепенно сокращается вниз по течению реки: Лена/Качуг ($F = 17\,400 \text{ км}^2$, $M(Q) = 5.1 \text{ л/с} \times \text{км}^2$, $C_v(Q) = 87\%$, $M(R) = 5.3 \text{ т/км}^2 \times \text{год}$, $C_v(R) = 228\%$) – $\delta r = 5.7\%$ ($\mu = 1.9$); Лена/Грузновка ($F = 41\,700 \text{ км}^2$, $M(Q) = 4.8 \text{ л/с} \times \text{км}^2$, $C_v(Q) = 93\%$, $M(R) = 5.6 \text{ т/км}^2 \times \text{год}$, $C_v(R) = 265\%$) – $\delta r = 1.9\%$ ($\mu = 1.5$); Лена/Змеиновка ($F = 140\,000 \text{ км}^2$, $M(Q) = 8.0 \text{ л/с} \times \text{км}^2$, $C_v(Q) = 100\%$, $M(R) = 9.4 \text{ т/км}^2 \times \text{год}$, $C_v(R) = 308\%$) – $\delta r = 0.9\%$ ($\mu = 1.2$). Абсолютная же величина стока наносов руслового происхождения между указанными гидрологическими постами на верхней Лене,

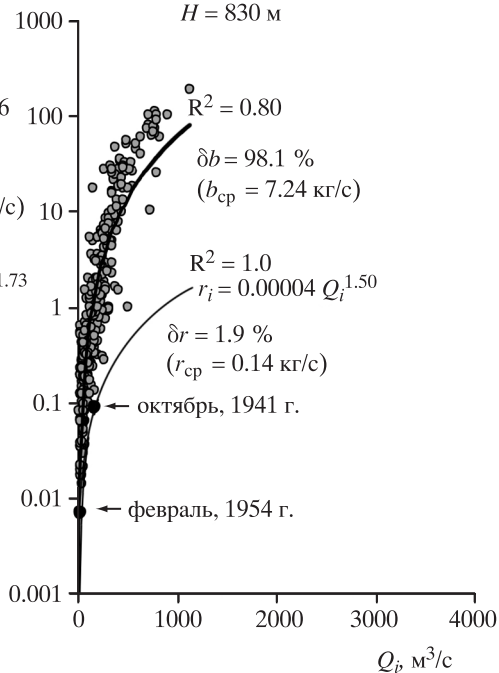
Киренга у д. Шорохова

$T = 22$ года
 $M(Q) = 13.9 \text{ л/с} \times \text{км}^2$
 $M(R) = 5.5 \text{ т/год} \times \text{км}^2$
 $C_v(Q) = 110 \%$
 $C_v(R) = 227 \%$
 $F = 46500 \text{ км}^2$
 $H = 790 \text{ м}$



Лена у г. Грузновка

$T = 31$ год
 $M(Q) = 4.8 \text{ л/с} \times \text{км}^2$
 $M(R) = 5.6 \text{ т/год} \times \text{км}^2$
 $C_v(Q) = 93 \%$
 $C_v(R) = 265 \%$
 $F = 41700 \text{ км}^2$
 $H = 830 \text{ м}$



Преимущественно галечные русла рек Киренга (слева) и Лена (верховье, справа)

Рис. 4. Соотношение между русловой (δr) и бассейновой (δb) составляющими стока взвешенных наносов рек Киренга и Лена (юг Восточной Сибири, Иркутская область России). Фото свободного электронного доступа

Усл. обозн. см. рис. 3 и табл. 1

**Русловая составляющая стока взвешенных наносов (δr) некоторых средних рек
низкогорий юга Восточной Сибири**

Река/пост	Положение реки	F , км ²	H , м	$M(Q)$, л/с × км ²	$M(R)$, т/км ² × год	δr , %
Тутура/Грехова	правый приток Лены	7100	820	4.9	4.2	7.5
Кута/Новоильинка	левый приток Лены	11 200	510	5.8	5.5	3.0
Иркут/Смоленщина	левый приток Ангары	14 800	1370	9.5	41.7	4.3
Илим/Илимск	правый приток Ангары	17 200	580	5.5	7.6	1.7
Белая/Мальта	левый приток Ангары	17 600	1120	10.3	20.3	4.4
Бирюса/Бирюсинск	бассейн Ангары	24 700	860	10.1	7.4	2.9
Ангара/Займка	бассейн Ангары	20 600	1170	13.2	19.2	2.3
Баргузин/Баргузин	впадает в оз. Байкал	19 800	1150	5.9	8.1	10.2
Чикой/Гремячиха	правый приток Селенги	15 600	1300	7.3	8.9	1.8
Абакан/Абаза	левый приток Енисея	14 400	1460	21.3	23.9	3.3
Кан/Ирбейское	правый приток Енисея	8710	812	11.7	10.1	6.1
Сыда/Белоярск	впадает в Красноярское водохранилище	3260	568	8.0	22.7	3.7

Примечание. Условные обозначения см. табл. 1.

в целом, закономерно увеличивается – 5257, 4437 и 11844 т/год соответственно. В то же время сравнительно небольшие величины руслового компонента δr в целом для двух рек (<5%) связаны, как и ожидалось, со сложением их русел преимущественно валунно-галечным и галечным материалом, который образован, в том числе, и при размыве ледниковых седиментов (р. Киренга) [10], что делает их русла весьма устойчивыми к вертикальным и горизонтальным деформациям. В качестве дополнительных примеров, подтверждающих низкие величины русловой составляющей R в бассейнах горных территорий, приведем другие реки юга Восточной Сибири (табл. 2).

Для равнинных рек характерны иные условия формирования взвешенных наносов. Как мы писали ранее [8], сравнительно высокая величина соотношения между уклонами поверхности бассейнов и русел рек здесь снижается, при прочих равных условиях, роль русловой эрозии (и величины δr) в общей интенсивности эрозии в бассейнах. Но сложение русел и пойм рек равнин (особенно низменных) Северной Евразии преимущественно песчаным, песчано-илистым, илистым и илисто-органическим аллювием [10, 11] – обстоятельство, которое, напротив, благоприятствует интенсивной русловой (главным образом боковой) эрозии и повышает величину δr (рис. 5). Увеличение средних показателей δr равнинных рек в 2–2.5 раза по отношению к рекам горным – наглядное тому подтверждение. Реки с песчано-илистым аллювием характеризуются абсолютным преобладанием в отложениях взвешенной составляющей, оседающей при спаде паводков в межень [7].

Еще одной причиной некоторого завышения δr равнинных рек можно назвать большую среднюю площадь их бассейнов (и, следовательно, длину рек) в сравнение с низкогорными и среднегорными бассейнами (табл. 1). Как ранее показал А.П. Дедков [12], основная масса наносов бассейнового происхождения поступает, прежде всего, в верхние звенья флювиальной сети (малые реки), все более осаждаясь по мере продвижения к крупным водотокам бассейна. Следовательно, величины δr , при прочих равных условиях, будут возрастать в том же направлении. Кроме того, в процессе перемещения наносов происходит уменьшение размеров составляющих их частиц и дифференциация по длине реки в зависимости от крупности и формы частиц, петрографического и минерального составов и т.п. [7]. С увеличением длины реки возрастает вероятность дальнейшей мобилизации утонченного материала русловой эрозией, переход его во взвешенную форму транспортировки и, следовательно, увеличения δr .

$$T = 23 \text{ года}$$

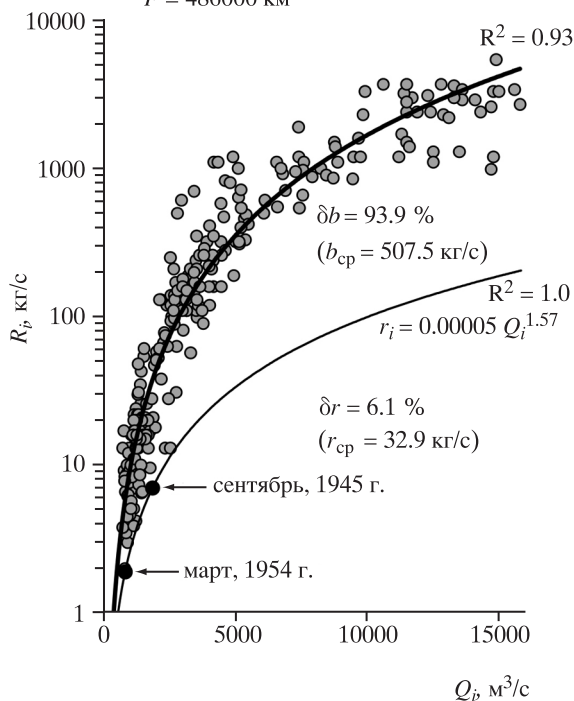
$$M(Q) = 8.7 \text{ л/с} \times \text{км}^2$$

$$M(R) = 35.0 \text{ т/год} \times \text{км}^2$$

$$C_v(Q) = 93 \%$$

$$C_v(R) = 173 \%$$

$$F = 486000 \text{ км}^2$$



Размываемый песчаный берег р. Обь у г. Колпашево (фото А.С. Завадского)

Рис. 5. Соотношение между русловой (δr) и бассейновой (δb) составляющими стока взвешенных наносов р. Обь/Колпашево (Западная Сибирь)
Усл. обозн. см. рис. 3 и табл. 1

Это характерно, главным образом, для рек, пойменно-русловые комплексы которых сложены сравнительно тонким рыхлым аллювием. Для рек, сложенных преимущественно валунно-галечными и галечными наносами (и, тем более, в условиях слабой агрикультурной освоенности их бассейнов), это явление либо слабо выражено, либо вовсе не характерно (см. выше пример р. Лена). Указанная закономерность часто нарушается геоморфологической и литологической неоднородностью бассейнов, особенно при переходе от низменностей к возвышенностям на равнинах, а также в горных регионах, где имеет место чередование прорезанных реками хребтов с галечно-валунными руслами и межгорных котловин и впадин с заметным присутствием в аллювии более тонкого материала, размыв мощных горно-моренных, пролювиальных и коллювиальных отложений и т.д. [8]. Определенную роль играет и впадение притоков с иным составом и количеством наносов.

Влияние площадного фактора хорошо прослеживается и внутри самих высотных групп, при этом наиболее отчетливую тенденцию увеличения доли русловых наносов с ростом водосборных площадей мы отмечаем, в целом, для низкогорных и равнинных бассейнов (табл. 3).

Все указанные изменения генетической структуры стока взвешенных наносов рек при переходе от равнин к горам отражаются в изменениях параметров уравнения русловых взвешенных наносов – $r_i = A_{sp} I Q_i^m$ (табл. 4).

Средние показатели доли русловых наносов (%) в общем стоке взвешенных наносов разновеликих рек Северной Евразии по высотным группам

Высотные группы	Речные бассейны (км ²)		
	<2000	2000–25000	>25000
Равнинные	8.18±2.01 (59)	10.91±2.15 (113)	12.08±4.16 (41)
Низкогорные	4.07±0.94 (82)	5.71±1.72 (58)	7.11±3.68 (10)
Среднегорные	3.95±0.86 (68)	4.17±1.67 (28)	3.62±0.00 (1)
Весь регион	5.19±0.76 (209)	8.50±1.39 (199)	11.02±3.63 (52)

Примечание. В скобках – количество речных бассейнов в группах.

Изменения характеристик уравнения русловых взвешенных наносов (см. уравнение 2) по высотным группам речных бассейнов Северной Евразии

Высотные группы		Речные бассейны, км ²			
		<2000	2000–25000	>25000	все бассейны
Равнинные	$A_{эп}I$	0.0074±0.0031	0.0018±0.0009	0.0030±0.0027	0.0035±0.0011
	μ	1.81±0.20	1.55±0.09	1.49±0.15	1.60±0.08
Низкогорные	$A_{эп}I$	0.0022±0.0009	0.0014±0.0009	0.0002±0.0003	0.0017±0.0006
	μ	2.00±0.20	1.78±0.16	1.86±0.41	1.90±0.12
Среднегорные	$A_{эп}I$	0.0009±0.0004	0.0008±0.0010	0.00001±0.00	0.0008±0.0004
	μ	2.28±0.19	2.34±0.30	3.62±0.00	2.30±0.16
Весь регион	$A_{эп}I$	0.0032±0.0010	0.0015±0.0030	0.0022±0.0007	0.0024±0.0006
	μ	2.02±0.11	1.72±0.09	1.57±0.14	1.85±0.07

Примечание. Количество речных бассейнов в группах см. табл. 3.

2. Соотношение руслового и бассейнового компонентов речного R ландшафтно-климатически обусловлено, что в наибольшей степени касается широтной зональности на равнинах, но в меньшей – высотной поясности в горах (особенно среднегорьях).

На равнинах Северной Евразии наибольшая средняя доля русловой составляющей приходится на зону тундры, тайги и смешанных лесов – свыше 15–16%: зона тундры – $15.0 \pm 9.6\%$ (5 бассейнов), зоны тайги и смешанных лесов – $16.6 \pm 3.1\%$ (80 бассейнов). Это связано как с природными (хорошая защита почвогрунтов от плоскостной и линейной эрозии либо густым мохово-лишайниковым покровом, либо хвойным или хвойно-лиственным опадом, образующим мощную лесную подстилку), так и антропогенными (слабая, в целом, агрикультурная освоенность данных природных зон) причинами (рис. 6). В более аридных ландшафтах эта величина, в среднем, не превышает 5% (зона степи – $4.5 \pm 1.3\%$ (37 бассейнов), зона полупустыни – $0.8 \pm 0.0\%$ (один бассейн)). Промежуточные природные зоны имеют показатель доли русловой эрозии (δr) от 5 до 10% (зона широколиственных лесов – $8.9 \pm 2.0\%$ (28 бассейнов), зона лесостепи – $5.2 \pm 1.6\%$ (81 бассейн)). Отметим здесь и то обстоятельство, что по мере усиления аридности климата и иссушения ландшафта разброс показателей δr (судя по величинам доверительного интервала средних показателей δr) сокращается, что обусловлено, главным образом, уменьшением влияния агрикультурной деятельности в этом же направлении.

Значительные (>40–50%) величины русловой составляющей стока наносов встречаются среди проанализированных рек крайне редко, чему способствует бла-

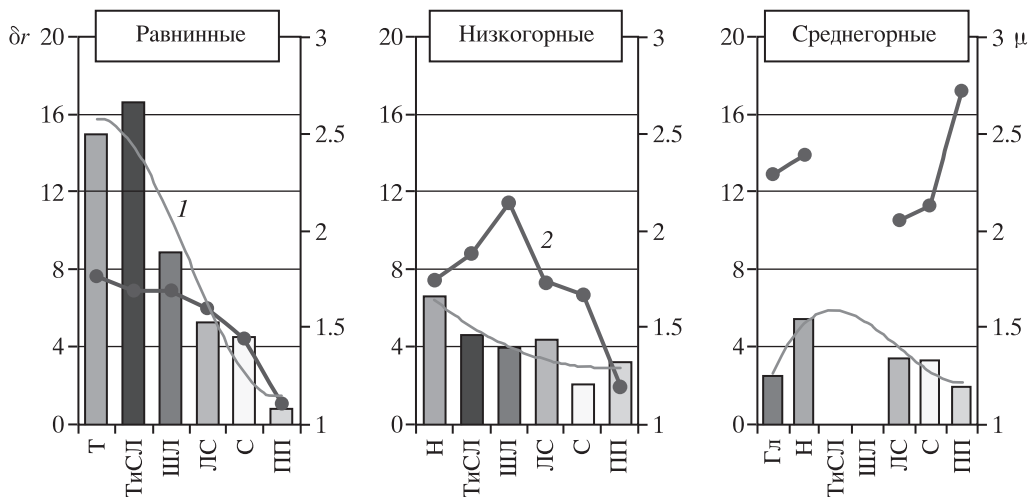


Рис. 6. Распределение доли русловой составляющей стока взвешенных наносов (δr (%), столбчатая диаграмма) и степенного показателя (μ) уравнения (2) рек Северной Евразии по природным (ландшафтным) зонам на равнинах и поясах в горах в пределах высотных групп
 1 – полиномиальный тренд третьей степени изменения показателя δr , 2 – показатель μ (усл. обозн. см. рис. 2)

гоприятное сочетание природно-антропогенных факторов (главным образом высокая лесистость бассейнов). Приведем лишь некоторые примеры таких рек: Ница/Ирбит ($F = 17300 \text{ км}^2$) – $\delta r = 53.7\%$, Кострома/Буй ($F = 8870 \text{ км}^2$) – $\delta r = 53.5\%$, Кама/Волосническое ($F = 9750 \text{ км}^2$) – $\delta r = 48.2\%$, Чичка-Юл/Франца ($F = 5210 \text{ км}^2$) – $\delta r = 45.7\%$, Большой Юган/Угут ($F = 22\ 100 \text{ км}^2$) – $\delta r = 43.7\%$, Сым/Сым ($F = 22\ 800 \text{ км}^2$) – $\delta r = 43.7\%$, Керженец/Хахалы ($F = 3630 \text{ км}^2$) – $\delta r =$ около 40% и др.

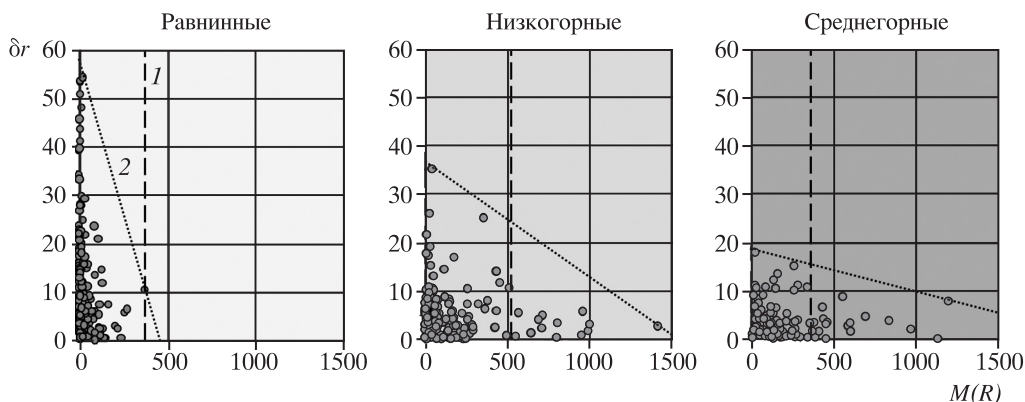
Сходная тенденция – в низкогорьях Северной Евразии, однако здесь она проявляется не так контрастно, как на смежных равнинах. При этом относительный максимум (по имеющимся материалам) – в нивальном низкогорном поясе (рис. 6). В горах же средневысотных эта тенденция еще более “затухает” на фоне и так относительно невысоких средних величин δr . Очевидно, что в этом высотном поясе существенную роль в формировании стока наносов руслового происхождения играет геоморфологический фактор. Именно здесь высокие уклоны поверхности бассейнов, интенсивная общая бассейновая денудация как поставщик большого количества ее продуктов с водосбора, грубый валунно-галечный аллювий русел рек ограничивают повсеместно в этой горной группе сколь-либо заметное участие русловых наносов в формировании общего стока взвешенных наносов рек.

3. Преобразование природных ландшафтов хозяйственной деятельностью – один из важных факторов, контролирующих соотношение русловой и бассейновой составляющих эрозии и стока наносов в речных бассейнах.

Выявить надежно влияние антропогенного фактора на генетическую структуру наносов рек при сопоставлении их бассейнов с разной степенью хозяйственного преобразования ландшафтов сложно, поскольку для этого необходимо соблюдение принципа “при прочих равных условиях”, т.е. сохранение тождественности морфометрических характеристик бассейна (в т.ч. его площади) и других геолого-геоморфологических и ландшафтно-климатических характеристик. Эта сложность усиливается недостатком данных по бассейнам с разной категорией хозяйственного их преобразования. По мере роста агрикультурной освоенности и, как одно из следствий, сокращения лесопокрытой площади в бассейнах рек таежно-равнинного Вятско-Камского региона, к примеру, русловая составляющая взвешенных наносов резко уменьшается: Сытва/Подкаменное ($L = 57\%$, $F = 19700 \text{ км}^2$) – $\delta r = 9.6\%$, Чепца/Глазов ($L = 40\%$,

А

По высотным группам речных бассейнов



По площадным группам речных бассейнов равнин

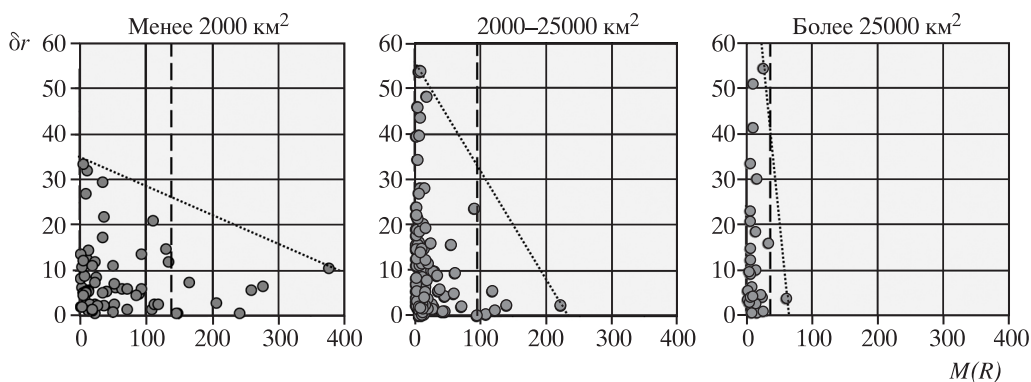


Рис. 7. Связь между модульными величинами общего стока взвешенных наносов ($M(R)$, т/км² × год) и долей в нем наносов руслового происхождения (δr , %) в речных бассейнах Северной Евразии: А – по высотным группам всех речных бассейнов и площадным группам речных бассейнов равнин региона,

$F = 9750$ км²) – $\delta r = 2.1\%$, Быстрица/Шипецино ($L = 28\%$, $F = 3540$ км²) – $\delta r = 2.5\%$. Более того, с ростом водосборных площадей в данном регионе русловая составляющая может увеличиваться даже в условиях ощутимой агрикультурной освоенности бассейновых ландшафтов: Вятка/Киров – $\delta r = 41.2\%$ ($L = 52\%$, $F = 48\,300$ км²), Вятка/Вятские поляны – $\delta r = 54.3\%$ ($L \leq 50\%$, $F = 124\,000$ км²).

Проведенные ранее В.И. Мозжериним [13] расчеты показывают, что роль русловой эрозии в формировании общего стока взвешенных наносов рек лесных зон очень велика: при лесистости 100% с материалом русловых размывов будет связано (теоретически) в среднем 95% переносимых рекой взвешенных наносов, и лишь около 5% будет иметь бассейновое происхождение. При лесистости 70–90% русловые наносы составят уже 65–85%, а при лесистости менее 5% – 2–5% взвеси. Полученные нами оценки отличаются от этих выводов: при лесистости бассейнов 70–90% доля бассейновых наносов всегда значительна, поскольку даже небольшие ареалы эрозионно-активных площадей могут резко повысить общий сток взвешенных наносов за счет тонкого материала, в то время как размываемый руслом аллювий (зачастую песчаный на равнинах) дает более грубый материал, существенная доля которого перемещается в грядово-донной форме. Более того, в сильно лесистых бассейнах неравномерность стока воды в руслах в течение года заметно ниже, чем в обезлесенных, что существенно снижает интенсивность русловых деформаций и формирование русловых наносов.

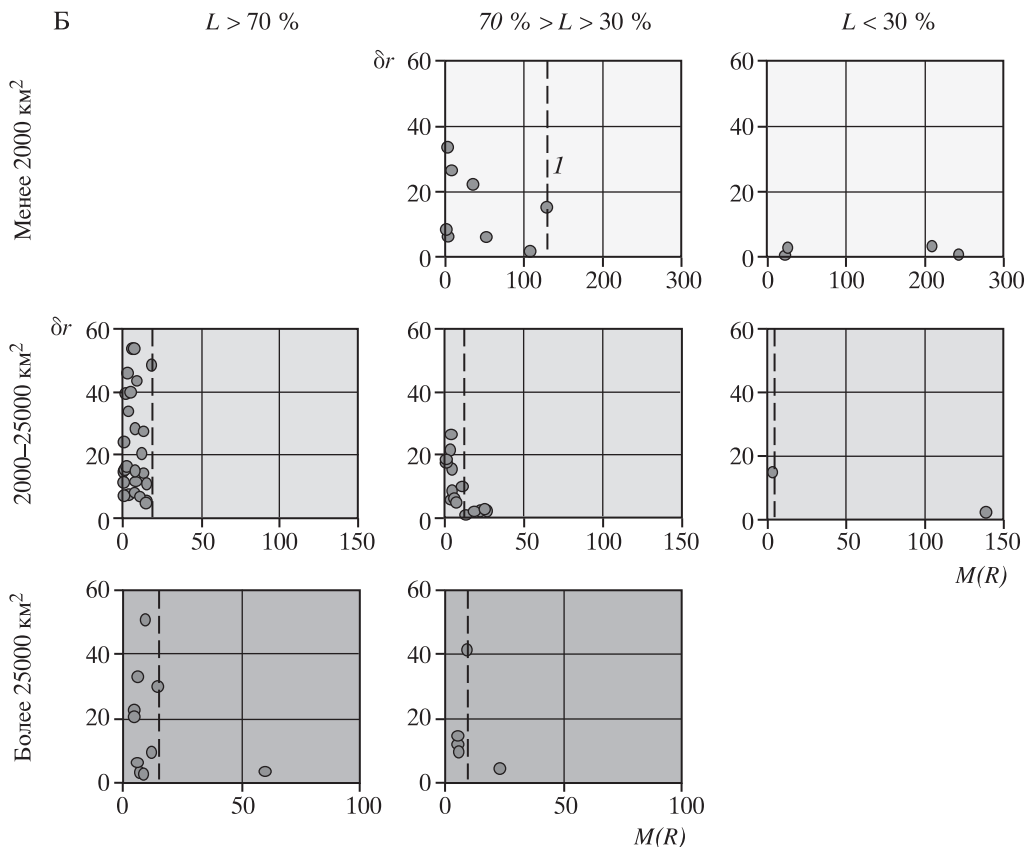


Рис. 7. Б – по площадным группам речных бассейнов зоны тайги и смешанных лесов равнин региона с разной степенью агрикультурной освоенности (лесистости L (см. табл. 1))
 1 – критическая величина $M(R)$, выше которой δr не превышает 10–11%, 2 – условная линейная граница максимально допустимых величин δr при данных значениях $M(R)$

4. Отмечается обратная гиперболическая зависимость между суммарной массой взвешенных наносов рек и долей русловых наносов в ней. Эта зависимость особенно эффектно проявляется на равнинах Северной Евразии, и с увеличением высот речных водосборов (в низкорьях и, тем более, среднегорьях) степень ее выраженности уменьшается (рис. 7А).

Так, на равнинах региона при $M(R) < 40\text{--}50 \text{ т/км}^2 \times \text{год}$ (в горах – $< 100 \text{ т/км}^2 \times \text{год}$) доля русловых наносов может варьировать в очень большом диапазоне – от долей процента⁴ до 50–55% (по В.И. Мозжерину [13] – до 90–95%), а в горах не более 20–35%.

⁴ Наряду с гидрологическими и ландшафтными особенностями речных бассейнов причиной малых величин руслового компонента R может быть их геоморфологическое расположение – пересечение реками возвышенных участков равнин, что обеспечивает более грубый (песчано-галечный и галечный) состав руслообразующих наносов, сдерживающий активные русловые деформации (особенно горизонтальные). Следует отметить здесь и широко распространенные моренные валунные суглинки областей четвертичных покровных оледенений даже в пределах низменных равнин: по мере смыва тонкодисперсных фракций поверхностный слой морен все более относительно насыщается крупнообломочным материалом, который создает препятствия для развития русловых деформаций [14]. В некоторых случаях естественная зарегулированность стока рек равнин озерами и болотами накладывает дополнительные ограничения на развитие русловых деформаций и формированию наносов руслового генезиса.

Однако при $M(R)$ свыше 140–150 т/км² × год (в горах – свыше 500 т/км² × год) она уже не превосходит 10–11% от общей массы взвешенных наносов. Следовательно, увеличение последней (по природным или антропогенным причинам) происходит главным образом за счет увеличения в реке продуктов бассейновой механической денудации. Эта закономерность четко выражена у равнинных рек, но хуже – у рек горных, одной из причин чему является лучшая и более разнообразная агрикультурная освоенность именно равнинных (в меньшей степени низкогорных) бассейновых природных ландшафтов.

Свои коррективы в эту общую закономерность вносит целый ряд иных факторов, одним из которых является размер реки (точнее – площадь ее бассейна). Влияние площадного фактора особенно четко прослеживается у рек равнинных территорий (рис. 7А). Здесь, по мере увеличения площади бассейна реки отмечается уменьшение той критической величины общего стока взвешенных наносов (их модульные выражения), более которой русловые наносы уже не превышают 10–11% ($\delta r < 10\text{--}11\%$). Для малых рек эта критическая величина составляет около 140–150 т/км² × год, для средних рек – немногим менее 100 т/км² × год, для крупных рек – около 35–40 т/км² × год.

Агрикультурная деятельность (сведение лесов, распашка, выпас и пр.) в речных бассейнах делает эту зависимость еще более конкретной. На примере речных бассейнов зоны тайги и смешанных лесов равнин Северной Евразии видно, что указанная выше критическая величина стока взвешенных наносов в целом тем меньше, чем выше агрикультурная освоенность самого бассейна (рис. 7Б).

Внутригодовая неравномерность стока воды ($C_v(G)$) – еще один важный фактор пространственной дифференциации соотношения русловой и бассейновой составляющих эрозии и стока наносов в речных бассейнах. При переходе с равнин к горным территориям отмечается уменьшение этой неравномерности, а также, но в меньшей степени, вызванной ею внутригодовой неравномерности R (табл. 1). При этом в этом же направлении происходит и сокращение диапазона абсолютного разброса показателей этой неравномерности для стока воды.

Анализ рисунка 8 позволяет выявить следующие основные закономерности:

А) При величинах внутригодовой неравномерности стока воды ($C_v(Q)$) как равнинных, так и низко- и среднегорных рек, не превышающих 30–40%, не отмечается присутствие наносов руслового происхождения в общем стоке взвешенных наносов (“мертвая зона” формирования русловых взвешенных наносов). Если и существуют в природе реки с такой внутригодовой неравномерностью водного стока, то живая сила их потока (главным образом в периоды паводков (половодий)) будет, скорее всего, явно недостаточной для заметных русловых деформаций, приводящих, в т.ч., и к формированию взвешенных наносов руслового генезиса ($\delta r = 0\%$). Имеющийся в водах потока взвешенный материал – почти нацело продукты бассейновой денудации ($\delta b \rightarrow 100\%$).

Относительно связи внутригодовой неравномерности стока взвешенных наносов с долей руслового компонента наносов рек имеем следующее: для равнинных рек при величинах $C_v(R)$ в диапазоне $<75\%$, для низкогорных рек – $<100\%$, и для среднегорных рек – $<150\%$ также не отмечается наносов руслового происхождения в общем R (“мертвая зона” формирования русловых взвешенных наносов).

Б) В направлении от равнин к горам уменьшаются те критические величины внутригодовой неравномерности как стока воды, так и взвешенных наносов ($C_v(Q)$ и $C_v(R)$), выше которых объемы русловых наносов δr не превышают 10–11%. По показателям $C_v(Q)$ эти критические величины составляют: для равнинных бассейнов – 265%, для низкогорных бассейнов – 180%, для среднегорных бассейнов – 130%; по показателям $C_v(R)$: для равнинных бассейнов – 400%, для низкогорных бассейнов – 330%, для среднегорных бассейнов – 255%.

В) В направлении от равнин к горам сокращается диапазон разброса показателей внутригодовой неравномерности как стока воды, так и взвешенных наносов ($C_v(Q)$ и $C_v(R)$), в котором объемы наносов руслового происхождения меняются существенно, в т.ч. и присутствуют те, что играют значительную роль в формировании общего стока

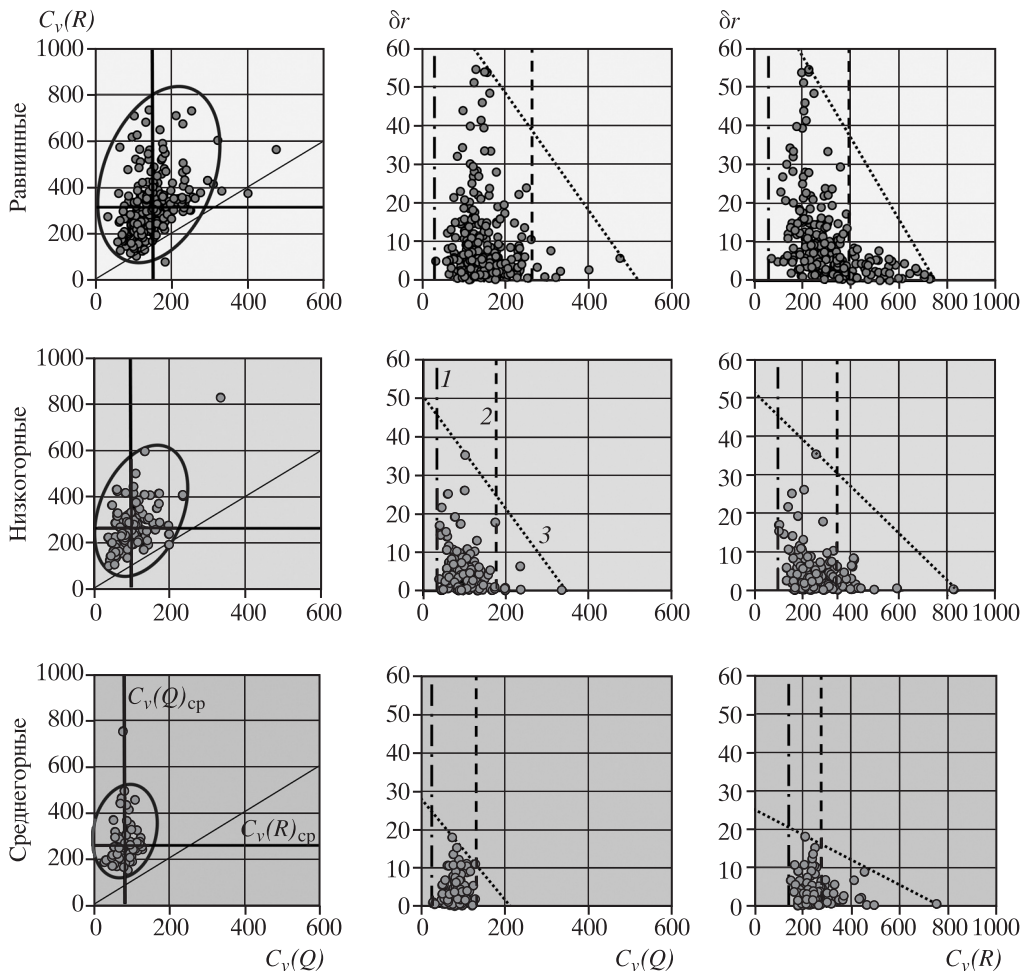


Рис. 8. Связь между показателями внутригодовой неравномерности (коэффициентами вариации) стока воды ($C_v(Q)$, %), стока взвешенных наносов ($C_v(R)$, %) и долей в нем русловых наносов (δr , %) в различных высотных группах речных бассейнов Северной Евразии

1 – критические величины $C_v(Q)$ и $C_v(R)$, ниже которых не отмечены взвешенные продукты русловой эрозии со стороны низких значений этих показателей, 2 – критические величины $C_v(Q)$ и $C_v(R)$, выше которых δr не превышает 10–11%, 3 – условная линейная граница максимально допустимых величин δr при данных значениях $C_v(Q)$ (или $C_v(R)$); $C_v(Q)_{cp}$ и $C_v(R)_{cp}$ – линии средних величин $C_v(Q)$ и $C_v(R)$ для высотной группы

взвешенных наносов рек – от т. н. “мертвой зоны” формирования наносов до критических величин $C_v(Q)$ и $C_v(R)$, выше которых δr не превышает 10–11%. По показателям $C_v(Q)$: для равнинных рек – от 35 до 265% (ширина окна – 230%), для низкогорных рек – от 40 до 180% (ширина окна – 140%), для среднегорных рек – от 30 до 130% (ширина окна – 100%). По показателям $C_v(R)$: для равнинных рек – от 75 до 400% (ширина окна – 325%), для низкогорных рек – от 100 до 330% (ширина окна – 230%), для среднегорных рек – от 150 до 255% (ширина окна – 105%). Именно в указанных диапазонах $C_v(Q)$ и $C_v(R)$ русловая составляющая общей интенсивности эрозии и стока взвешенных наносов изменяется весьма заметно: для равнинных рек – от долей процента до 50–55%, для низкогорных рек – от долей процента до 30–35%, для среднегорных рек – от долей процента до 20%.

Г) На рисунке 8 видно, что прямые, фиксирующие условные границы максимально возможных величин δr при тех или иных показателях $C_v(Q)$ в направлении от равнин

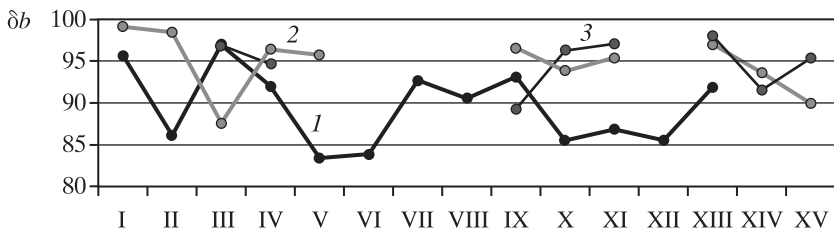


Рис. 9. Усредненная бассейновая составляющая (δb , %) стока взвешенных наносов анализируемых рек Северной Евразии по литологическим группам пород, с поверхности слагающих их бассейны (литологические группы выделены в соответствии с работой [1])

Речные бассейны: 1 – равнинные, 2 – низкогорные, 3 – среднегорные.

Литологические группы пород: I – лёссы и лёссовидные суглинки, II – пески и галечники, III – песчано-конгломератные, IV – песчано-сланцевые, V – терригенные рыхлые, VI – суглинки, VII – глины, VIII – терригенные скальные, IX – хемогенно-органогенные, X – осадочные нерасчлененные, XI – смешанные (осадочно-кристаллические), XII – метаморфические, XIII – кристаллические, XIV – эффузивные, XV – магматические.

Примечание: на графике показаны величины δb лишь в тех группах, в которых количество анализируемых речных бассейнов было не менее трех

к среднегорьям мало изменяются в наклоне, хотя и сравнительно параллельно смещаются в сторону более низких значений $C_v(Q)$. Иными словами имеет место более или менее пропорциональное сокращение русловых наносов при изменениях неравномерности стока воды в руслах от равнин к горам. Что касается прямых связей условно максимально возможных величин δr и $C_v(R)$, то здесь отмечается тенденция уменьшения их наклона по тому же направлению. Объяснить это можно тем, что в формировании показателей $C_v(R)$ существенную роль играют наносы бассейнового происхождения, результирующие собой сочетание куда более сложных физико-географических условий их образования на водосборах и не зависящие от русловых процессов (за исключением обвалов, осыпей и пр. на подмываемых береговых склонах).

5. Роль литологического фактора в формировании структуры взвешенных наносов рек не проявляется так очевидно: в разных литологических группах пород, слагающих с поверхности речные водосборы, величины бассейновой составляющей R всюду, в целом, высоки с относительно небольшими колебаниями (рис. 9). Состав горных пород, безусловно, влияет на темпы их эрозионной денудации как на поверхности самих водосборов, так и в руслах. И это влияние хорошо прослеживается, если эти темпы оценивать в модульных величинах (к примеру, в $\text{т/км}^2 \times \text{год}$ и $\text{т/км} \times \text{год}$ соответственно). Но когда вопрос касается соотношения продуктов этих двух составляющих в общем R , то выводы здесь не столь однозначны. Так, например, бассейны, сложенные с поверхности суглинками, при благоприятном сочетании физико-географических условий поставляют в реки большую массу продуктов их эрозии. Но здесь же, с другой стороны, поймы этих рек, являющиеся транзитными “коридорами” для наносов при их миграции к устьям рек в паводки, также в значительной степени слагаются суглинистыми отложениями – перетолженными бассейновыми суглинками, легко размываемыми при боковой эрозии рек. Как следствие – высокие темпы русловых деформаций в них и также значительный сток взвешенных наносов руслового генезиса, поскольку реки с песчано-илистым аллювием характеризуются преобладанием в отложениях взвешенной составляющей, оседающей при спаде паводков в межень [7].

Заключение

Таким образом, анализ информации по всем речным бассейнам показывает, что русловая составляющая эрозии и стока взвешенных наносов (δr) в бассейнах рек не превышает, в среднем, 15%: по равнинным рекам – около 10%, по низкогорным и среднегорным рекам – <5%. Соотношение русловой и бассейновой составляющих имеет вполне выраженную ландшафтно-климатическую обусловленность. Отмечается обрат-

ная гиперболическая зависимость между долей наносов руслового происхождения и общей величиной стока взвешенных наносов рек. Эта зависимость особенно отчетливо проявляется на равнинах Северной Евразии, и с увеличением высот речных водосборов (в низкогорьях и, тем более, среднегорьях) степень ее выраженности уменьшается.

Полученные сравнительно низкие для всей Северной Евразии величины русловой составляющей R (в среднем около 7%), казалось бы, вступают в противоречие с потенциальным разделением этого региона на области с преобладанием в них русловых или бассейновых систем эрозии, где, в первом случае, общей тенденцией экзогенного развития рельефа является его расчленение (и долинное расширение), а во втором – планация [15]. Однако это противоречие легко устраняется, если оценивать ту или иную систему эрозии в речных бассейнах не только соотношением масс продуктов русловой или бассейновой эрозионной денудации, а отношением этих масс к тем площадям, откуда собственно и происходило их удаление. Так, при относительно малых долях русловых наносов в общем R рек площадь их формирования (суммарная площадь русел в бассейне) оказывается еще меньшей, чем площадь внерусловой части бассейна. Следовательно, эрозионная нагрузка на единицу площади в руслах рек при их деформациях может многократно, в среднем, превосходить таковую на водосборах, что позволяет говорить о преобладающей тенденции руслового расчленения (шире – долинного формирования) рельефа в этих бассейнах – установление русловых систем эрозии. Именно при таком подходе оценка литологического фактора будет более уместной и информативной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дедков А.П., Мозжерин В.И. Эрозия и сток наносов на Земле. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1984. 264 с.
2. Львович М.И., Карасик Г.Я., Братцева Н.Л. и др. Современная интенсивность внутриконтинентальной эрозии суши земного шара // Результаты исследований по междунар. геофизическим проектам. М.: Межвед. геофиз. комитет, 1991. 336 с.
3. Бобровицкая Н.Н. Эмпирический метод расчета смыва со склонов // Сток наносов, его изучение и географическое распределение. Л.: Гидрометеиздат, 1977. С. 202–211.
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. P. 4–42.
5. Щеглова О.П. Генетический анализ и картографирование стока взвешенных наносов рек Средней Азии. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 127 с.
6. Копалиани З.Д. О соотношении расходов донных и взвешенных наносов в реках // Гидрофизические процессы в реках и водохранилищах. М.: Наука, 1985. С. 143–147.
7. 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.
8. Гусаров А.В. Оценка русловой и бассейновой составляющих эрозии и стока взвешенных наносов в речных бассейнах // Геоморфология. 2013. № 2. С. 23–39.
9. Государственный водный кадастр (до 1978 г. под названием “Ресурсы поверхностных вод СССР”). Л.: Гидрометеиздат, Т. 1–20.
10. Русловой режим рек Северной Евразии (в пределах бывшего СССР) / Р.С. Чалов. М.: МГУ, 1994. 336 с.
11. Чернов А.В. Влияние геолого-геоморфологических условий на формирование и распределение руслообразующих наносов на реках Восточной Европы // Геоморфология. 2010. № 2. С. 115–120.
12. Dedkov A.P. The relationship between sediment yield and drainage basin area // Sediment Transfer through the Fluvial Systems (ed. by V. Golosov, V. Belyaev & D. Walling) / Proceed. of Moscow Int. Symp. (August, 2004). Wallingford (UK): IAHS Press. IAHS Publ. 288. 2004. P. 197–204.
13. Мозжерин В.И., Курбанова С.Г. Деятельность человека и эрозионно-русловые системы Среднего Поволжья. Казань: Арт Дизайн, 2004. 128 с.
14. Эрозионные процессы (Географическая наука практике) / Н.И. Маккавеев и Р.С. Чалов. М.: Мысль, 1984. 256 с.

THE MAIN REGULARITIES OF THE RATIO BETWEEN RIVERBED AND BASIN COMPONENTS OF EROSION AND SUSPENDED SEDIMENT FLUX IN THE NORTHERN EURASIA'S RIVER BASINS

A.V. GUSAROV

Summary

Suspended sediment flux is one of the objective and sufficiently accurate measures of the erosion activity in river basins. Using the database for mean monthly values of water and suspended sediments runoff created for 460 rivers of the territory of the former USSR, the ratio of channel and basin components of erosion was analyzed. For this purpose the author proposed the special hydrological method (published early). For all analyzed river basins the share of riverbed erosion (δr) calculated by suspended sediment fluxes doesn't exceed 15%. It amounts to $10.4 \pm 1.5\%$ for the plain (lowland) rivers, to $4.9 \pm 0.9\%$ for the low-altitude mountain rivers, and to $4.0 \pm 0.8\%$ for the middle-altitude mountain rivers. The average δr for the whole Northern Eurasia is $7.2 \pm 0.8\%$.

The ratio of channel and basin (δb) components depends distinctly on the landscape-climatic conditions, especially on latitudinal zoning. Thus, within the plains of Northern Eurasia the biggest δr occurs in the zones of tundra, taiga and mixed forests – more than 15–16% ($15.0 \pm 9.6\%$ in the tundra zone, $16.6 \pm 3.1\%$ in the zone of taiga and mixed forests). In arid zones this value on the average does not exceed 5% ($4.5 \pm 1.3\%$ in the steppes, 0.8% in the semi-deserts). Intermediate areas have a share of channel products of 5 to 10% ($8.9 \pm 2.0\%$ in the zone of broad-leaf forests, $5.2 \pm 1.6\%$ in the forest-steppe zone). The same trend is observed in the low mountains but less distinctly than in the plains. There is a hyperbolic relationship between a total suspended sediment flux and its riverbed component. This dependence is clearly pronounced in the plains of the Northern Eurasia, but diminishes with increasing elevation of river basins. It's shown also that the lithological factor (surface rocks' composition) doesn't play a significant role in the spatial variability of the $\delta b/\delta r$ ratio.

Keywords: erosion, suspended sediment flux, river, riverbed, riverbed erosion, river basin, structure of erosion, Northern Eurasia.

doi:10.15356/0435-4281-2015-4-3-20

УДК 551.435.13

© 2015 г. Р.С. ЧАЛОВ

О ПРОГНОЗАХ РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ¹

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
географический факультет, Россия; rschalov@mail.ru*

Введение

Исследования русловых процессов своей конечной целью, наряду с выявлением определяющих факторов, механизмов, закономерностей, форм проявления и решения практических (инженерных) задач, имеют обоснование прогнозов развития, изменения русел, пойм, берегов, перекатов, получение количественных и качественных оце-

¹ Выполнено частично при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-05-03752) и РНФ (проект № 14-17-00155), в рамках программы Президента РФ для поддержки ведущих научных школ (проект № 14-17-00155) и научных тем кафедры гидрологии суши и научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова.