

Методика научных исследований

УДК 551.312.3

© 2017 г. А.В. ГУСАРОВ

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ РЯДА
НАБЛЮДЕНИЙ ЗА СТОКОМ ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ РЕК С
ЦЕЛЬЮ КОРРЕКТНОЙ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ
ИЗМЕНЧИВОСТИ ИНТЕНСИВНОСТИ ЭРОЗИИ В ИХ БАССЕЙНАХ**

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия
e-mail: avgusarov@mail.ru*

Сток взвешенных наносов рек (R) — один из объективных показателей активности эрозии (шире — механической денудации) в их бассейнах, характеристики которого могут сильно варьировать не только в пространстве, но и во времени. К настоящему времени сформирован ряд крупных баз R -данных, использование которых позволило выявить (или детализировать) региональные и глобальные закономерности пространственной изменчивости эрозии в речных бассейнах. Одним из самых серьезных недостатков всех этих баз является большой процент сравнительно коротких (несколько лет) рядов наблюдений, что сильно влияет на качество полученных по ним пространственных моделей эрозии. Это обстоятельство заставляет искать ту минимальную величину (t) продолжительности мониторинга за R , выше которой выводы по его как пространственной, так и временной изменчивости могут считаться репрезентативными, корректными для эрозионного картографирования, теоретических обобщений. По предложенному автором методу, на основе анализа многолетних рядов наблюдений на 84 гидрологических постах на реках преимущественно территории бывшего СССР, по всем анализируемым бассейнам определена средняя величина t : в 9.1 ± 1.2 лет для оценки пространственной изменчивости R и 7.6 ± 1.2 лет — для оценки его временной изменчивости. При дифференцированном подходе по высотным группам бассейнов к оценке пространственной изменчивости R рекомендуются следующие величины t : для равнинных бассейнов малых рек — не менее 10 лет; для среднегорных малых бассейнов достаточно принять рубеж в 6–7 лет. По бассейнам условно средних и крупных равнинных рек — 5 и 10 лет соответственно. Учитывая вышеуказанный разброс средних величин t по высотным группам бассейнов и то обстоятельство, что наибольшая часть гидрологических постов планеты расположена на равнинах и низкогорьях, для крупнорегиональных и глобальных гидролого-геоморфологических исследований нами рекомендуется в качестве единой величина минимальной продолжительности рядов наблюдений за стоком взвешенных наносов рек в 10–11 лет.

Ключевые слова: река, речной бассейн, сток взвешенных наносов, эрозия, продолжительность наблюдений.

Постановка проблемы

В любом речном бассейне, за очень редким исключением, не происходит аккумуляция всех продуктов эрозионного разрушения горных пород, слагающих его поверхность. Часть продуктов удаляется с речным стоком за пределы бассейна, формируя т.н. транзитную речную эрозионную (шире — механическую) денудацию — общую массу продуктов эрозионной денудации за вычетом продуктов внутрибассейновой их аккумуляции — т.н. местной денудации [1]. Именно транзитная речная эрозионная

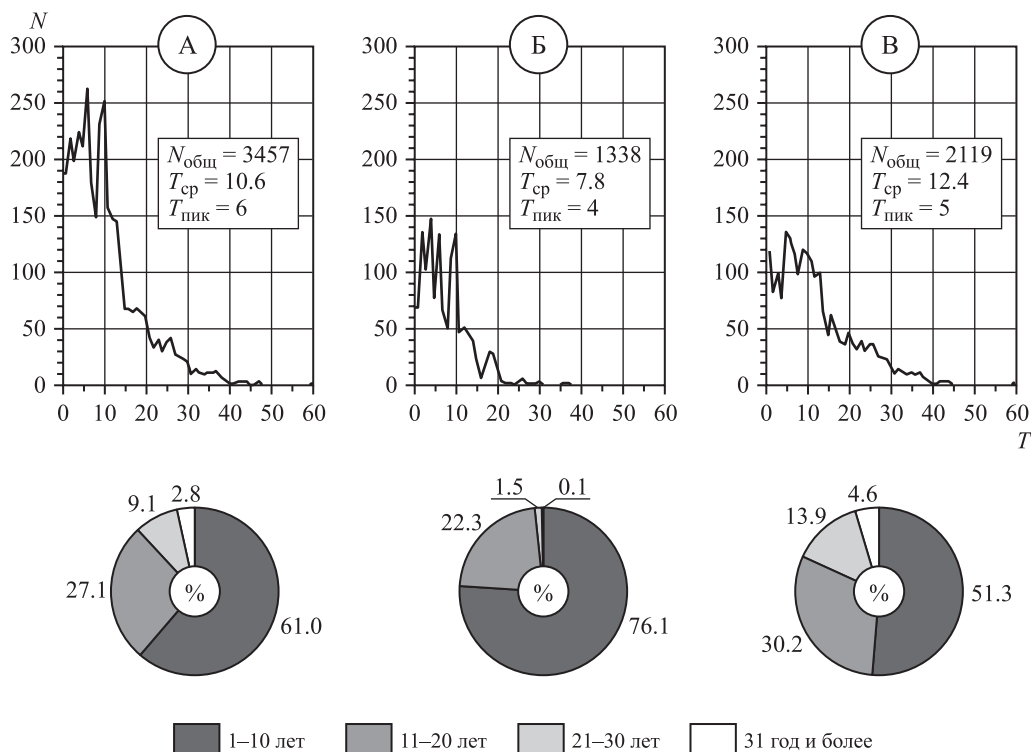


Рис. 1. Структура базы данных А. П. Дедкова и В. И. Можжерина [1] по продолжительности наблюдений за речным стоком взвешенных наносов на гидрологических постах (А – весь Мир, Б – вне территории бывшего СССР, В – в пределах территории бывшего СССР)

T – продолжительность наблюдений (кол-во лет); N – количество гидрологических постов, соответствующее данной продолжительности наблюдений (T); $N_{\text{общ}}$ – общее количество гидрологических постов в данной группе; $T_{\text{ср}}$ – средняя продолжительность наблюдений в данной группе (кол-во лет); $T_{\text{пик}}$ – количество лет наблюдений с наибольшим числом гидрологических постов в данной группе

денудация отвечает (наряду с другими агентами механической, а также химической денудации) за изменение (уменьшение) средних высот бассейна и, наряду с тектоническими движениями, определяет общую направленность развития (восходящее, нисходящее или равномерное) его рельефа. Соотношение между местной и транзитной речной денудацией будет изменяться в зависимости от конкретных геологических, геоморфологических, климатических и ландшафтных условий речного бассейна. Продукты транзитной речной эрозионной денудации разделяются относительно характера их миграции в водном потоке на влекомую и взвешенную составляющие. В этой связи сток взвешенных наносов рек (R) можно рассматривать в качестве одного из объективных показателей активности эрозии (шире – механической денудации) в их бассейнах, хотя доля влекомого компонента в общем речном стоке наносов может быть весьма значительной: у рек равнин влекомая часть составляет, как правило, 1–3% (реже 10%), у горных рек она возрастает до 15–70% [2]. Согласно Р.С. Чалову [3], для некоторых рек восточного Урала, к примеру, грядово-песчаный перенос (как форма транспорта донных наносов) достигает даже 90% общего стока наносов. Следовательно, многие оценки суммарной эрозионной (шире – механико-денудационной) активности лишь по стоку взвешенных наносов допускают ощутимые погрешности. Естественно, это не единственная проблема применения R в геоморфологических исследованиях.

Некоторые характеристики временной изменчивости стока взвешенных наносов рек Десна и Свияга (Восточно-Европейская равнина) во второй половине XX столетия

р. Десна/Чернигов, $F = 81400 \text{ км}^2$			р. Свияга/Коромысловка, $F = 237 \text{ км}^2$		
R_{cp}	1949–2000 гг.	$414.0 \pm 45.4 \text{ тыс. т/год}$	R_{cp}	1963–1995 гг.	$8.9 \pm 3.4 \text{ тыс. т/год}$
$M(R)_{\text{cp}}$	1949–2000 гг.	$5.1 \text{ т/км}^2 \times \text{год}$	$M(R)_{\text{cp}}$	1963–1995 гг.	$37.5 \text{ т/км}^2 \times \text{год}$
$R_{\text{max}(6)}$	1978–1983 гг.	$588.6 \pm 75.6 \text{ тыс. т/год}$	$R_{\text{max}(6)}$	1963–1968 гг.	$18.5 \pm 10.1 \text{ тыс. т/год}$
$R_{\text{min}(6)}$	1995–2000 гг.	$211.5 \pm 44.1 \text{ тыс. т/год}$	$R_{\text{min}(6)}$	1987–1992 гг.	$2.1 \pm 1.0 \text{ тыс. т/год}$
$R_{\text{max}(6)}/R_{\text{min}(6)}$	—	2.8	$R_{\text{max}(6)}/R_{\text{min}(6)}$	—	8.8
$R_{\text{max}(6)}/R_{\text{cp}}$	—	1.4	$R_{\text{max}(6)}/R_{\text{cp}}$	—	2.1
$R_{\text{cp}}/R_{\text{min}(6)}$	—	2.0	$R_{\text{cp}}/R_{\text{min}(6)}$	—	4.2
R_{max}	1988 г.	831.3 тыс. т/год	R_{max}	1963 г.	34.3 тыс. т/год
R_{min}	1996 г.	143.3 тыс. т/год	R_{min}	1966 г.	0.12 тыс. т/год
$R_{\text{max}}/R_{\text{min}}$	—	5.8	$R_{\text{max}}/R_{\text{min}}$	—	285.8
C_v	1949–2000 гг.	0.4	C_v	1963–1995 гг.	1.12

Примечание. Здесь и далее доверительные границы средних характеристик установлены с вероятностью 0.95 (5%-ный уровень значимости).

F — площадь речного бассейна, $R_{\text{cp}}/M(R)_{\text{cp}}$ — средний многолетний годово́й сток/модуль стока/взвешенных наносов за весь период наблюдений, $R_{\text{max}(6)}$ ($R_{\text{min}(6)}$) — средний многолетний годово́й сток взвешенных наносов, измеренный за 6 лет в наиболее многоводные (маловодные) годы наблюдений, R_{max} (R_{min}) — максимальный (минимальный) годово́й сток взвешенных наносов за весь период наблюдений, C_v — коэффициент вариации годовых величин стока взвешенных наносов за весь период наблюдений.

К настоящему времени сформирован ряд крупных баз R -данных, использование которых позволило выявить (или детализировать) региональные и глобальные закономерности пространственной изменчивости эрозии в речных бассейнах и выноса наносов реками в Мировой океан [4–13 и др.], соотношения между русловой¹ и бассейновой² составляющими взвешенных наносов [14], их аномальных проявлений [15] и т.д. Серьезным недостатком всех вышеуказанных баз, вместе с пространственной неоднородностью расположения гидрологических постов, является также различная продолжительность наблюдений за R на них, а именно: большой процент сравнительно коротких (несколько лет) рядов наблюдений. Так, в одной из крупнейших баз R -данных, составленной А.П. Дедковым и В.И. Мозжериным [1] и содержащей информацию по данному количественному показателю по 3457 речным гидрологическим постам, свыше 60% имеют период наблюдения менее 10 лет, причем наибольшее количество из них — с продолжительностью всего в 5–6 лет (рис. 1).

Важность учета продолжительности наблюдений за стоком наносов в гидролого-геоморфологических исследованиях наглядно продемонстрируем примерами двух

¹ Взвешенные в речных водах продукты вертикальных и горизонтальных русловых деформаций.

² Взвешенные в речных водах продукты почвенной и овражной эрозии.

разновеликих рек Восточно-Европейской равнины — Десны и Свияги (табл. 1): усредненные величины R в выбранных коротких (к примеру, по 6 лет) рядах наблюдений, приходящихся либо на маловодные, либо на многоводные периоды, могут ощутимо отличаться от их многолетней (за десятки лет) величины, что особенно характерно для малых рек. Данное обстоятельство отражается на качестве пространственных моделей эрозии и их географической (геоморфологической) интерпретации. Заметим, что в этих исследованиях оптимальным было бы использование многолетних рядов наблюдений длиной не менее 30 лет, как это принято в исследованиях климатологических [16], для “покрытия” наиболее выраженных, сравнительно коротких планетарных ритмичных гидрометеорологических колебаний в 3–5, 11, 21–22 и 30–35 лет и т.д. Так, В.И. Можериным и Р.М. Тукаевым [17] на основе анализа многолетнего стока воды и наносов рек востока Восточно-Европейской равнины установлено, что ритмы длиной около 11 и 21–22 лет дают вклад в межгодовую их изменчивость суммарно около 43%. Эти же ритмы хорошо выделяются и при анализе рядов экзодинамических процессов [15, 18, 19 и др.]. Однако, принимая во внимание объективную реальность — худшую пространственную и временную изученность речных наносов (и доступность имеющейся информации по ним) в сравнение не только с климатическими, но даже другими гидрологическими (сток воды, например) параметрами как на региональном, так и глобальном уровнях, гидрологам и геоморфологам приходится иметь дело, к сожалению, с более короткими рядами, формируя на их основе свои базы данных. Все вышеперечисленное заставляет искать ту минимальную величину продолжительности мониторинга за стоком взвешенных наносов (продуктами речной транзитной денудации), выше которой выводы по его как пространственной, так и временной изменчивости могут считаться репрезентативными, корректными для эрозионного картографирования, теоретических обобщений и т.д., причем желательно с учетом определенных географических условий.

Территория и материал исследования

Материал исследования — результаты многолетних, главным образом, за вторую половину XX в., режимных наблюдений Гидрометеорологической службы бывшего СССР [20] за стоком взвешенных наносов (годовые величины стока, т/год) на 84 гидрологических постах малых и средних рек территории бывшего СССР. Размещение этих постов на реках региона показано на рис. 2³. Средняя продолжительность наблюдений за R составила 32 ± 1.9 года (от 15 лет в минимуме до 61 года в максимуме); почти 68% этих рядов укладывается в интервал 27–43 года. Средняя площадь речных бассейнов — 13987 ± 6635 км² (от 40 км² в минимуме до 121000 км² в максимуме). Бассейны разделены по трем высотным группам⁴ — равнинные (со средними абс. высотами от 0 до 500 м), низкогорные (500–2000 м) и среднегорные (2000–3500 м), а также сгруппированы по двум площадным категориям: бассейны условно малых рек — менее 5000 км², и бассейны условно средних и частично крупных рек — свыше 5000 км² (табл. 2). Дополнительно вне общего анализа обработаны R -ряды некоторых крупных и крупнейших рек разных регионов Евразии — Янцзы, Хуанхэ, Инда, Рейна, Дуная и Дона.

³ Дополнительно анализировался многолетний ряд годового стока взвешенных наносов р. Лех (Австрия), местоположение гидропоста (г. Фюссен) на которой не отображено на рис. 2.

⁴ Бассейны со средними абс. высотами свыше 3500 м (высокогорные) не анализировались в силу крайне малого их количества и, как следствие, низкой репрезентативности полученных по ним выводов.

Некоторые характеристики анализируемых рек Северной Евразии

Высотные интервалы и характеристики		Речные бассейны		
		<5000 км ²	>5000 км ²	в целом
Равнины (0–500 м)	N	18	8	26
	$F_{\text{ср}}$	2088±733	33588±22023	11780±8632
	$M(R)_{\text{ср}}$	73±41	27±18	59±30
	$T_{\text{ср}}$	32.7±3.4	25.1±6.2	30.6±3.2
Низкие горы (500–2000 м)	N	30	16	46
	$F_{\text{ср}}$	1808±551	22215±13774	8906±5494
	$M(R)_{\text{ср}}$	302±107	272±131	298±82
	$T_{\text{ср}}$	33.5±3.1	33.0±4.7	33.3±2.5
Средние горы (2000–3500 м)	N	5	7	12
	$F_{\text{ср}}$	1637±742	24250±14615	14828±10557
	$M(R)_{\text{ср}}$	506±408	317±136	396±185
	$T_{\text{ср}}$	35.0±13.0	30.3±4.0	32.3±5.7

Примечание. N – количество анализируемых речных бассейнов, $F_{\text{ср}}$ – средняя площадь речных бассейнов (км²), $M(R)_{\text{ср}}$ – средний многолетний модуль стока взвешенных наносов (т/км²×год), $T_{\text{ср}}$ – средняя продолжительность наблюдений за ним (кол-во лет).

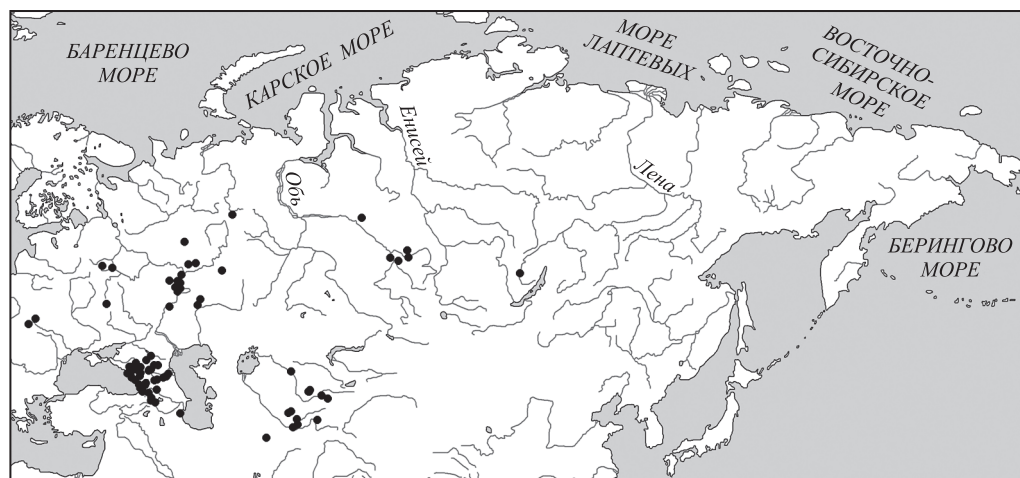


Рис. 2. Карта-схема расположения анализируемых гидрологических постов на реках Северной Евразии

Метод исследования

1. Для каждого ряда наблюдений за стоком взвешенных наносов рассчитывалась серия средних арифметических ($\check{R}_1, \check{R}_2, \check{R}_3 \dots$) и коэффициентов вариации ($C_v(\check{R}_1), C_v(\check{R}_2), C_v(\check{R}_3) \dots$) годовых его величин – R_i – в аналитических окнах, начиная с первого, интервалом в 3 года, взятого в качестве минимального, в пределах которого расчет

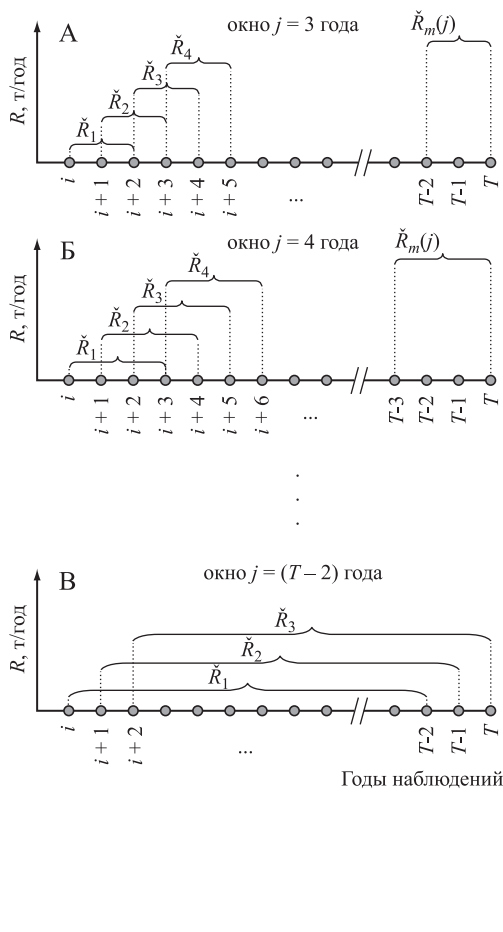


Рис. 3. Графическое пояснение процедуры обработки рядов наблюдений за стоком взвешенных наносов, использованной в работе
 А–Д – этапы обработки рядов наблюдений, j – аналитические окна разной ширины, i – порядковые номера годов наблюдений за стоком взвешенных наносов, T – длина ряда наблюдений, $R_i, R_{i+1}, R_{i+2} \dots$ – конкретные годовые величины стока взвешенных наносов реки в ряду наблюдений

этих показателей можно признать уже более или менее корректным⁵. При таком расчете аналитическое окно смещается слева направо по длине ряда с шагом в один год вплоть до охвата последнего элемента ряда наблюдений (рис. 3А). Та же процедура расчета проводилась для аналитических окон, ширина которых увеличивалась на единицу по отношению к предыдущему аналитическому окну (рис. 3Б). Таким образом, ширина последнего окна на две единицы меньше продолжительности самого ряда наблюдений за стоком взвешенных наносов (рис. 3В).

2. Для полученных серий средних арифметических и коэффициентов вариации годовых величин стока наносов R_i по каждому аналитическому окну рассчитывались уже их коэффициенты вариаций в пределах всего ряда наблюдений за стоком

Для каждого аналитического окна (j) рассчитывается:

среднее арифметическое (среднее средних):

$$\check{R}_j = (\check{R}_1 + \check{R}_2 + \dots + \check{R}_{m(j)})/m_j$$

$$\check{R}_1 = (R_i + R_{i+1} + R_{i+2})/3$$

$$\check{R}_2 = (R_{i+1} + R_{i+2} + R_{i+3})/3$$

$$\check{R}_3 = (R_{i+2} + R_{i+3} + R_{i+4})/3$$

$$\vdots$$

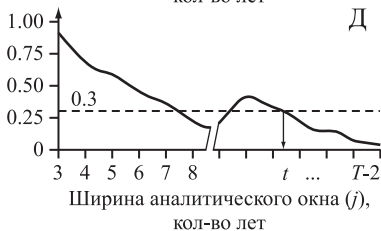
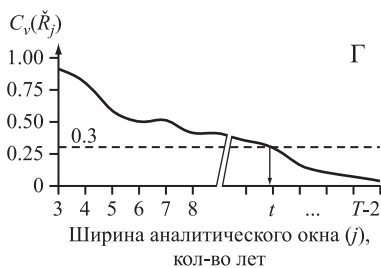
среднеквадратичное отклонение средних:

$$\sigma_j = (((\check{R}_1 - \check{R}_j)^2 + (\check{R}_2 - \check{R}_j)^2 + \dots + (\check{R}_{m(j)} - \check{R}_j)^2)/m_j)^{1/2}$$

$$\downarrow$$

коэффициент вариации средних:

$$C_v(\check{R}_j) = (\sigma_j/\check{R}_j)$$



⁵ Средние арифметические (многолетние) величины годового стока наносов рассматриваются в качестве наиболее используемого показателя пространственной оценки интенсивности эрозии, а коэффициенты его вариации – ее временной изменчивости.

наносов — $C_v(\check{R}_j)$ и $C_v(C_v(\check{R}_j))$, из которых выстраиваются вариационные кривые соответствующих показателей (рис. 3Г).

3. Полученные $C_v(\check{R}_j)$ и $C_v(C_v(\check{R}_j))$ -кривые графически сопоставлялись с прямой, фиксирующей рубеж в 0.3 ($C_v = 0.3$ (30%)), ниже которого вариационный ряд рассчитанных показателей взвешенных наносов можно рассматривать как условно однородный [21] и, следовательно, сравнительно надежный в использовании для оценок их пространственной и временной изменчивости (рис. 3Г). Иными словами, минимальная продолжительность наблюдений — t — за стоком взвешенных наносов, удовлетворяющая этим требованиям для данного ряда, фиксируется пересечением 0.3—прямой с его вариационной кривой в точке t (рис. 3Г). В ряде случаев вариационные $C_v(\check{R}_j)$ и $C_v(C_v(\check{R}_j))$ -кривые пересекаются 0.3—прямой в трех точках — t_1 , t_2 и t_3 (рис. 3Д); в данном случае за итоговую для данного ряда величину t принимается наибольшая по продолжительности из них — t_3 . Определенные таким образом для каждого ряда наблюдений величины t в дальнейшем использованы в работе в качестве аналитической единицы при получении общих выводов.

Изложенный алгоритм мы рассматриваем в качестве альтернативного в ряду иных подходов определения репрезентативной величины t , предложенных ранее [22, 23 и др.].

Результаты исследования

Полученные результаты можно свести к следующим положениям.

1. Минимальная продолжительность ряда наблюдений (t_{cp}) за стоком взвешенных наносов рек, корректная для оценки пространственно-временной изменчивости интенсивности эрозии, по всем анализируемым бассейнам составляет 9.1 ± 1.2 года по кривым $C_v(\check{R}_j)$ — для оценки пространственной изменчивости R и 7.6 ± 1.2 лет — по кривым $C_v(C_v(\check{R}_j))$ — для оценки временной изменчивости R .

Отмечается общая тенденция сокращения величины t_{cp} по кривым $C_v(\check{R}_j)$ от бассейнов малых рек равнин к бассейнам малых рек среднегорий (табл. 3). Для величин t_{cp} по кривым $C_v(C_v(\check{R}_j))$ средних и крупных рек тенденция противоположная, хотя и не так четко выраженная.

По всем высотным группам величины t_{cp} по кривым $C_v(C_v(\check{R}_j))$ увеличиваются от малых рек к рекам средним и крупным, что более выражено в горных бассейнах. По кривым $C_v(\check{R}_j)$ от малых рек к рекам средним и крупным величины t_{cp} , напротив, уменьшаются, но лишь только в равнинных и низкогорных их бассейнах (табл. 3).

2. Что касается рек крупнейших, то подобных закономерностей в распределении величин t пока не отмечается. Это наглядно показано на примере сравнительно равновеликих (по площади бассейна относительно гидрологических постов) рек Янцзы,

Таблица 3

Изменение средней величины t (t_{cp}) по высотным группам анализируемых речных бассейнов

Высотные интервалы и характеристики		Речные бассейны		
		<5000 км ²	>5000 км ²	в целом
Равнины (0—500 м)	t_{cp} по $C_v(\check{R}_j)$	10.4±3.0	5.1±2.7	8.8±2.4
	t_{cp} по $C_v(C_v(\check{R}_j))$	7.7±2.6	8.8±3.6	7.9±2.1
Низкие горы (500—2000 м)	t_{cp} по $C_v(\check{R}_j)$	9.9±2.1	7.4±2.4	9.0±1.6
	t_{cp} по $C_v(C_v(\check{R}_j))$	6.1±1.7	8.4±1.9	6.9±1.3
Средние горы (2000—3500 м)	t_{cp} по $C_v(\check{R}_j)$	6.3±4.1	9.6±4.4	9.3±3.3
	t_{cp} по $C_v(C_v(\check{R}_j))$	6.4±4.4	12.9±6.8	10.2±4.6

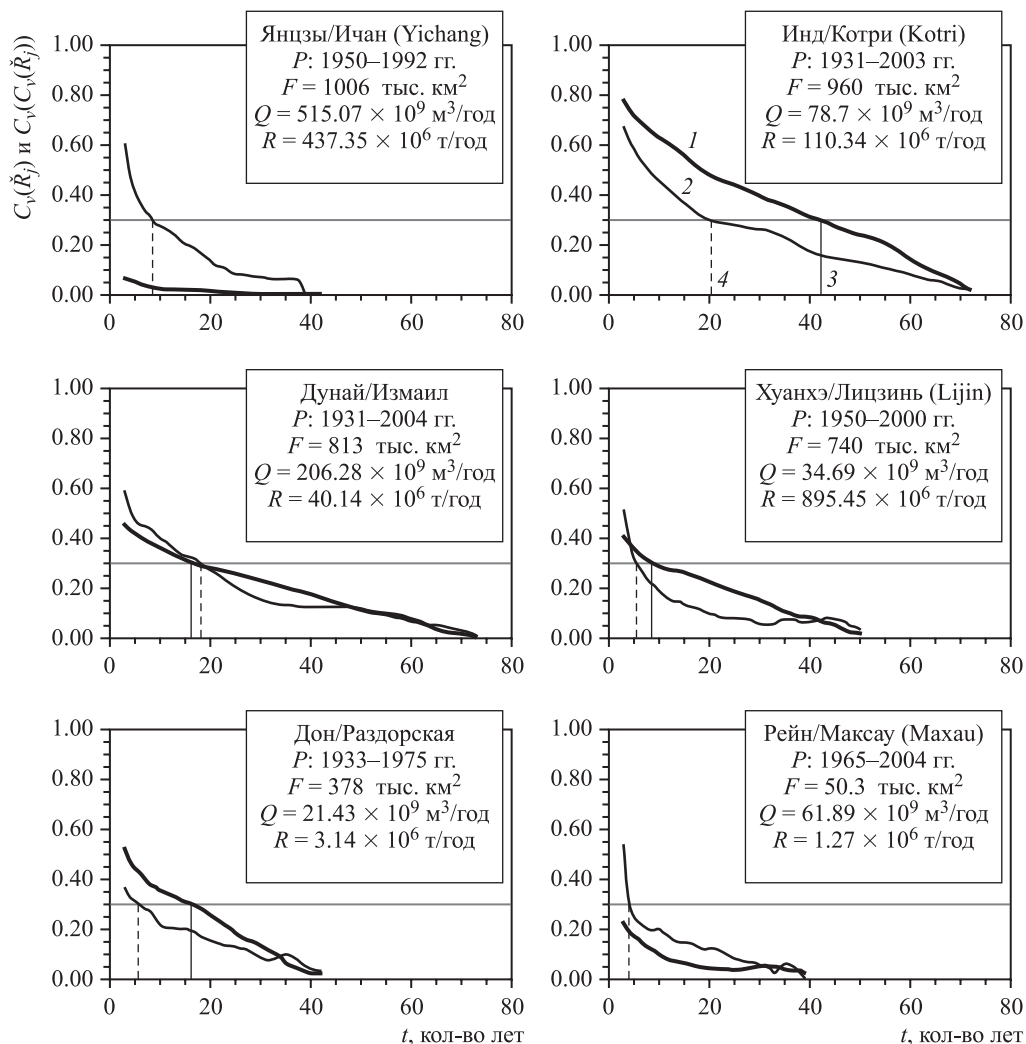


Рис. 4. Определение минимальной продолжительности ряда наблюдений t по кривым $C_v(\tilde{R}_j)$ и $C_v(C_v(\tilde{R}_j))$ на примере некоторых крупных и крупнейших рек Евразии
1 – кривая $C_v(\tilde{R}_j)$, 2 – кривая $C_v(C_v(\tilde{R}_j))$, 3 – t по $C_v(\tilde{R}_j)$, 4 – t по $C_v(C_v(\tilde{R}_j))$, P – период наблюдений за стоком взвешенных наносов, F – площадь бассейна реки выше указанного гидрологического поста, Q – средний многолетний расход воды, R – средний многолетний сток взвешенных наносов

Инд, Дунай и Хуанхэ (рис. 4), где величина t по кривым $C_v(\tilde{R}_j)$, к примеру, может изменяться от практически одного года (р. Янцзы) до 42.5 лет (р. Инд). Логично предположить, что столь крупные различия в величинах t обусловлены достаточно разнообразными геологическими, геоморфологическими и ландшафтно-климатическими условиями в столь крупных по площади бассейнах, где, к тому же, весьма заметны различия в характере антропогенных преобразований природных ландшафтов и характере использования водных речных ресурсов (мелиорационные работы, зарегулирование стока крупными водохранилищами и т.д.). По мере уменьшения бассейновых площадей (уменьшение разнообразия физико-географических условий в них) – реки Дон и Рейн, различия в величинах t постепенно сокращаются, приближаясь к установленным выше (для малых и средних рек) средним показателям.

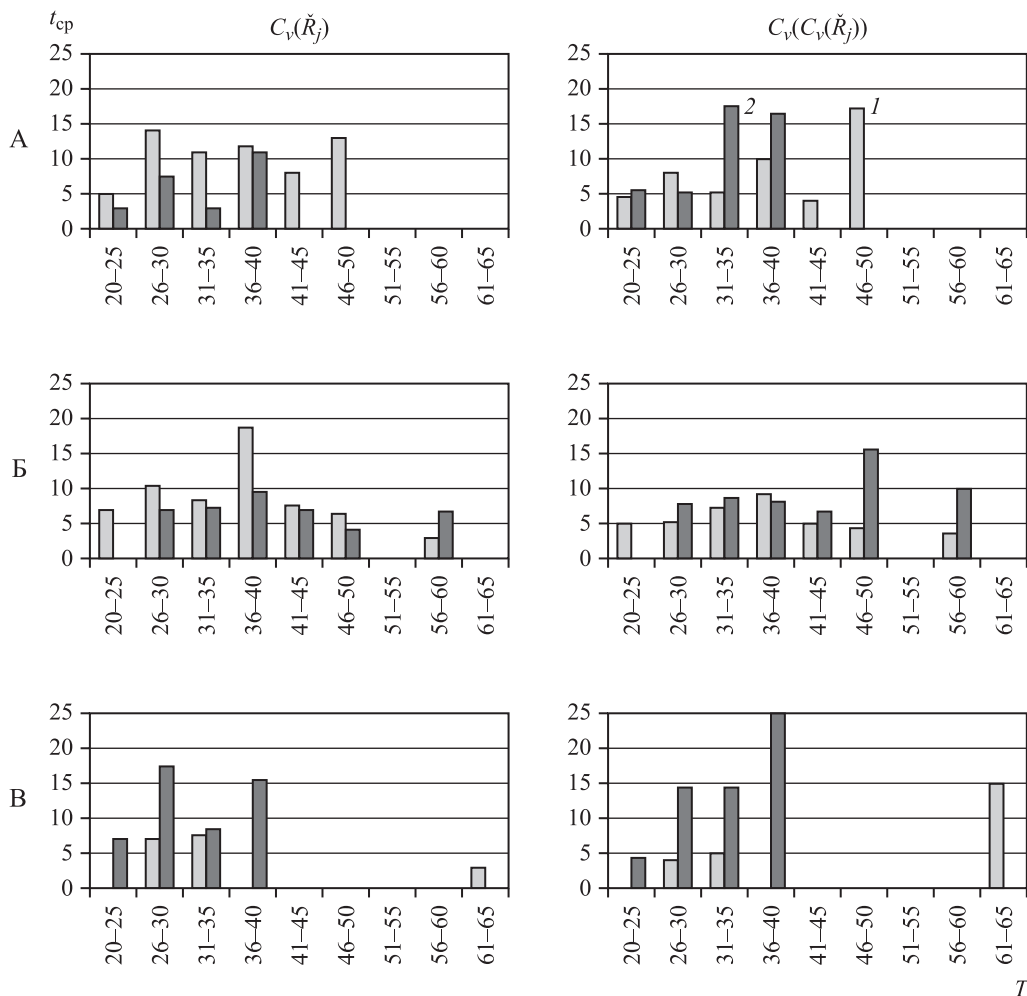


Рис. 5. Зависимость изменения величины t от продолжительности наблюдений за стоком взвешенных наносов (T)

Реки: А – равнинные, Б – низкогорные, В – среднегорные; бассейны рек: 1 – условно малых, 2 – условно средних и крупных

3. Слабой стороной предлагаемого метода оценок величин t является, как уже было сказано выше, работа с рядами R -наблюдений разной длины, в которых общая межгодовая вариабельность тесно зависит от продолжительности ритмических колебаний в атмосфере и гидросфере: чем длиннее ритм, тем в целом большие величины t можно ожидать. Такая общая тенденция нами отмечается для равнинных малых и более крупных рек как по кривым $C_v(\check{R}_j)$, так и по кривым $C_v(C_v(\check{R}_j))$ (рис. 5). В то же время, для рек низкогорий картина несколько иная: по кривым $C_v(\check{R}_j)$ всех рек и по кривым $C_v(C_v(\check{R}_j))$ только малых рек максимум величины $t_{\text{ср}}$ соответствует длине ряда наблюдений в 36–40 лет, после чего вновь постепенно убывает (рис. 5). Можно осторожно предположить (в качестве рабочей гипотезы), что на межгодовую изменчивость стока взвешенных наносов рек низких гор ритмические гидрометеорологические колебания большей временной амплитуды (внутривековые), чем в 35–40 лет, заметного влияния не оказывают в интервалах анализируемых рядов. К сожалению, выявить

подобную закономерность для среднегорных бассейнов нам не позволяет непредставительная выборка речных бассейнов в этом высотном поясе.

Заключение

Таким образом, минимальная продолжительность ряда наблюдений за стоком взвешенных наносов рек, рекомендуемая в качестве корректной для оценки изменчивости интенсивности эрозии, по всем анализируемым бассейнам составляет 9.1 ± 1.2 лет для ее пространственной составляющей и 7.6 ± 1.2 лет — для оценки временной изменчивости интенсивности эрозии. При дифференцированном по высотным группам подходе к оценке пространственной изменчивости речного стока взвешенных наносов можно руководствоваться следующими значениями t : для равнинных бассейнов малых рек — не менее 10–11 лет; в то же время для горных малых бассейнов достаточным будет рубеж в 6–7 лет. По бассейнам условно средних и крупных равнинных рек — 5 и 10 лет соответственно.

Учитывая вышеуказанный разброс средних величин t_{cp} по высотным группам бассейнов и то обстоятельство, что наибольшая часть гидрологических постов планеты расположена на равнинах и низкогорьях, для крупнорегиональных и глобальных гидролого-геоморфологических исследований нами рекомендуется в качестве единой величина минимальной продолжительности рядов наблюдений за R в 10–11 лет. Схожие выводы относительно минимальной репрезентативности рядов наблюдений за стоком наносов, но с использованием иного подхода, мы можем встретить в коллективной монографии [22].

С другой стороны, остается актуальным и требующим решения с более глубокой статистической проработкой вопрос о максимальной репрезентативной величине рядов наблюдений за стоком взвешенных наносов, учитывая тот факт, что с увеличением длины этих рядов они становятся нестационарными, т.е. имеют тенденцию развития. Это особенно актуально при анализе рядов наблюдений в последние десятилетия, когда даже ряды по стоку воды рек начали терять свойство стационарности. М.И. Львович с коллегами [10] устанавливают в качестве такой величины период наблюдений в 25 лет.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 15-17-20006).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дедков А.П., Мозжерин В.И. Эрозия и сток наносов на Земле. Казань: Изд-во КазГУ, 1984. 264 с.
2. Копалиани З.Д. О соотношении расходов донных и взвешенных наносов в реках // Гидрофизические процессы в реках и водохранилищах. М.: Наука, 1985. С. 143–147.
3. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 1. Руслые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.
4. Corbel J. L'erosion terrestre, etude quantitative (methodes, techniques, résultats) // Ann. Geogr. 1964. Vol. 73. No. 398. P. 385–412.
5. Holean J.N. The sediment yield of major rivers of the World // Water resources research. 1968. Vol. 4. P. 737–747.
6. Jansen J.M.L. and Painter R.B. Predicting sediment yield from climate and topography // J. Hydrol. 1974. Vol. 21. No. 4. P. 371–380.
7. Milliman J.D. and Meade R.H. World-wide delivery of river sediment to the oceans // J. Geology. 1983. No. 91. P. 1–21.
8. Walling D.E. and Webb W.B. Patterns of sediment yield // Background to Palaeohydrology / Ed. by K.J. Gregory. Chichester (UK): Wiley, 1983. P. 59–100.
9. Jansson M.B. A global survey of sediment yield // Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography. 1988. P. 81–98.

10. Львович М.И., Карасик Г.Я., Братцева Н.П., Медведева Г.П. Современная интенсивность внутриконтинентальной эрозии суши земного шара. Результаты исследований по международным геофизическим проектам. М.: Межвед. геофиз. комитет, 1991. 336 с.
11. Milliman J.D. and Sivitky J.P.M. Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the oceans: the importance of small mountainous rivers // *J. Geology*. 1992. No. 100. P. 525–544.
12. Ludwig W. and Probst J.-L. River sediment discharge to the oceans: present-day control and global budgets // *Amer. J. Science*. 1998. No. 298. P. 265–295.
13. Дедков А.П., Гусаров А.В., Мозжерин В.И. Современная пространственно-временная изменчивость речного стока взвешенных наносов в Мировой океан: природная и антропогенная составляющие // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. 2007. № 5. С. 387–395.
14. Гусаров А.В. Основные закономерности соотношения русловой и бассейновой составляющих эрозии и стока взвешенных наносов в речных бассейнах Северной Евразии // *Геоморфология*. 2015. № 4. С. 3–20.
15. Сафина Г.Р. Аномальная эрозия и сток наносов на востоке Русской равнины // *Геоморфология*. 2004. № 3. С. 100–108.
16. Climate change 2007: The physical science basis / Ed. by S. Solomon, D. Qin, M. Manning et al. Cambridge: New York: Cambridge University Press, 2007. 996 p.
17. Мозжерин В.И., Тукаев Р.М. Статистический анализ временной изменчивости жидкого и твердого стока рек Приуралья и Поволжья // *Физико-географические основы развития и размещения производственных сил Нечерноземного Урала*. Пермь: Изд-во ПермГУ, 1991. С. 107–115.
18. Сваричевская З.А., Селиверстов Ю.П. Эволюция рельефа и время: геоморфологическая хронология. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1984. 237 с.
19. Рысин И.И. Овражная эрозия в Удмуртии. Ижевск: Изд-во Удмурт. ун-та, 1998. 276 с.
20. Государственный водный кадастр (до 1978 г. под названием “Ресурсы поверхностных вод СССР”). Л.: Гидрометеиздат, 1966–1980. Т. 1–16.
21. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. М.: Мир, 1976. 756 с.
22. Сток наносов, его изучение и географическое распределение / Под ред. А.В. Караушева. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 240 с.
23. Bobrovitskaya N.N. Long-term variations in mean erosion and sediment yield from the rivers of the former Soviet Union // *IAHS-AISH Publ.* 1996. No. 236. P. 407–413.

Поступила в редакцию 29.04.2016

MINIMUM LENGTH OF SUSPENDED SEDIMENT YIELD TIME-SERIES FOR A PROPER ESTIMATION OF SPATIO-TEMPORAL VARIABILITY OF EROSION RATES IN RIVER BASINS

A.V. GUSAROV

Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia
e-mail: avgusarov@mail.ru

Summary

River suspended sediment yield (R) is one of the proxies of erosion activity and mechanical denudation in river basins, that can vary greatly both in space and time. A number of R -databases have been collected and permitted to reveal regional and global patterns of erosion. One of the main shortcomings of these databases is the high presence of relatively short time-series, which influences greatly the reliability of resultant assessments of spatial erosion patterns. It is necessary to determine the minimum time-series length reliable for assessment of suspended sediment yield spatio-temporal variability, erosion rate mapping and theoretical issues. The author's original method was used to analyze long term time-series from 84 hydrological stations over the former USSR and determine the t values of 9.1 ± 1.2 and 7.6 ± 1.2 years for assessment of spatial and temporal variability of R , respectively. In case of spatial variability of R in small river basins, reliable time series are 10+ years in lowland landscapes and 6–7 years in highlands, for medium and large basins the t -values are 5 and 10 years respectively. Given that the majority of hydrological stations are located in lowlands and low mountains, the author recommends to base regional and global hydrogeomorphological studies on suspended sediment yield time series not shorter than 10–11 years.

Keywords: river basins, suspended sediment yield, erosion, hydrological measurements, time-series.

DOI:10.15356/0435-4281-2017-1-19-29