

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ РЯДА НАБЛЮДЕНИЙ ЗА СТОКОМ ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ РЕК С ЦЕЛЬЮ КОРРЕКТНОЙ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ИНТЕНСИВНОСТИ ЭРОЗИИ В ИХ БАССЕЙНАХ¹

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

Постановка проблемы

В любом речном бассейне, за очень редким исключением, не происходит аккумуляции 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 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

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 15–17–20006).

часть составляет, как правило, 1–3 % (реже 10 %), и возрастает у горных рек 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.

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 русловой² и бассейновой³ 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 за R 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 разновеликих рек Восточно-Европейской равнины – реки Десна и Свияга (табл. 1): усредненные величины R в выбранных коротких (к примеру, по 6 лет) рядах наблюдений, приходящихся либо на маловодные, либо

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

³ Взвешенные в речных водах продукты почвенной и овражной эрозии.

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 планетарных, сравнительно коротких ритмичных гидрометеорологических колебаний в 3-5, 11, 21-22 и 30-35 лет и т.д. Так, В.И. Можжериным и Р.М. Тукаевым [17] на основе анализа многолетнего стока воды и стока 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) 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 рисунке 2⁴. 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 группам⁵ – 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, Дона.

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 этих показателей можно признать уже более или менее корректным⁶. При таком расчете аналитическое окно смещается слева направо по длине ряда с шагом в один год вплоть до охвата последнего элемен-

⁴ Дополнительно анализировался многолетний ряд годового стока взвешенных наносов р. Лех (Австрия), местоположение гидропоста (г. Фюссен) на которой не отображено на рис. 2.

⁵ Бассейны со средними абсолютными высотами выше 3500 м (высокогорные) не анализировались в силу крайне малого их количества и, как следствие, низкой репрезентативности полученных по ним выводов.

⁶ Средние арифметические (многолетние) величины годового стока наносов рассматриваются в качестве наиболее используемого показателя пространственной оценки интенсивности эрозии, а коэффициенты его вариации – ее временной изменчивости.

та 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 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 (таб. 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 (таб. 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, Инд, Дунай и Хуанхэ (рис. 4), где величина t по кривым $C_v(\check{R}_j)$, 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 площа-

дей (уменьшение разнообразия физико-географического условий в них) – реки Дон и Рейн, различия в величинах t постепенно сокращаются, приближаясь к установленным выше (для малых и средних рек) средним показателям.

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 ритмичных 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_{cp} 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 ритмичные гидрометеорологические колебания большей временной амплитуды (внутривековые), чем в 35–40 лет, заметного влияния не оказывают. 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 высотно-дифференцированном же подходе оценок пространственной изменчивости речного стока взвешенных наносов можно руководствоваться следующими значениями t : для равнинных бассейнов малых рек – не менее 10–11 лет; в то же вре-

мя 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 в условиях равнин и низкогорий, для крупнорегиональных и глобальных гидролого-геоморфологических исследованиях нами рекомендуется в качестве единой величины 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 и др. [10] устанавливают в качестве такой величины период наблюдений в 25 лет.

Резюме

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 : 9.1 ± 1.2 лет для оценки пространственной изменчивости R , и 7.6 ± 1.2 лет – для оценки его временной изменчивости. При высотно-дифференцированном подходе оценок 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 в условиях равнин и низкогорий, для крупно региональных 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, репрезентативность

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дедков А.П., Мозжерин В.И.* Эрозия и сток наносов на Земле. – Казань: КГУ, 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. Том 1: Русловые 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, V. 73, no. 398, pp. 385–412.
5. *Holeman J.N.* The sediment yield of major rivers of the World // Water resources research, 1968, V. 4, pp. 737–747.
6. *Jansen J.M.L., Painter R.B.* Predicting sediment yield from climate and topography // J. Hydrology, 1974, V. 21, no. 4, pp. 371–380.
7. *Milliman J.D., Meade R.H.* World-wide delivery of river sediment to the oceans // J. Geology, 1983, no. 91, pp. 1–21.
8. *Walling D.E., Webb W.B.* Patterns of sediment yield // Background to Palaeohydrology / Ed. by K.J. Gregory. – Chichester (UK): Willey, 1983, pp. 59–100.
9. *Jansson M.B.* A global survey of sediment yield // Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography, 1988, pp. 81–98.
10. *Львович М.И., Карасик Г.Я., Братцева Н.П. и др.* Современная интенсивность внутристранственной эрозии суши земного шара. Результаты исследований по международным геофизическим проектам. – М.: Межвед. геофиз. комитет, 1991. 336 с.
11. *Milliman J.D., Sivitsky J.P.M.* Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the oceans: the importance of small mountainous rivers // J. Geology, 1992, no. 100, pp. 525–544.
12. *Ludwig W., Probst J.-L.* River sediment discharge to the oceans: present-day control and global budgets // Amer. J. Science, 1998, no. 298, pp. 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 руслоевой 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, 1991. С. 107–115.
18. Сваричевская З.А., Селиверстов Ю.П. Эволюция рельефа и время: геоморфологическая хронология. – Л.: Изд-во Ленинград. отдел., 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.: Гидрометеоиздат, тт.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. Карапашева. – Л.: Гидрометеоиздат, 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., no 236, 1996, pp. 407–413.

Поступила в редакцию __04.2016

REFERENCES

1. Dedkov A.P., Mozzherin V.I. *Eroziya i stok nanosov na Zemle (Erosion and sediment yield on the Earth)*. Kazan: KGU (Publ.), 1984, 264 p.
2. Kopaliani Z.D. *O sootnoshenii rashodov donnyh i vzveshenniyh nanosov v rekakh // Gidrofizicheskiye processy v rekakh i vodohranilishah* (On the relation between the bedload and suspended sediments of rivers // Hydrophysical processes in rivers and reservoirs). Moscow: Nauka (Publ.), 1985, pp. 143–147 (in Russ.).

3. Chalov R.S. *Ruslovedeniye: teoria, geografiya, praktika. Tom 1: Ruslovye processy: faktry, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rechnih rusel* (Riverbed sciences: theory, geography, practice. Vol. 1: Riverbed processes, mechanism, forms of manifestations and conditions of formations of the riverbeds). Moscow: LKI (Publ.), 2008, 608 p.
4. Corbel J. L'erosion terrestre, etude quantitative (methodes, techniques, résultats) // Ann. Geogr., 1964, V. 73, no. 398, pp. 385–412.
5. Holeman J.N. The sediment yield of major rivers of the World // Water resources research, 1968, V. 4, pp. 737–747.
6. Jansen J.M.L., Painter R.B. Predicting sediment yield from climate and topography // J. Hydrology, 1974, V. 21, no. 4, pp. 371–380.
7. Milliman J.D., Meade R.H. World-wide delivery of river sediment to the oceans // J. Geology, 1983, no. 91, pp. 1–21.
8. Walling D.E., Webb W.B. Patterns of sediment yield // Background to Palaeohydrology / Ed. by K.J. Gregory. – Chichester (UK): Willey, 1983, pp. 59–100.
9. Jansson M.B. A global survey of sediment yield // Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography, 1988, pp. 81–98.
10. Lvovitch M. I., Karasik G.Y., Bratseva N.P. *et al. Sovremennaya intensivnost' vnutrikontinental'noy erozii sushi zemnogo shara. Rezul'taty issledovaniy po mezhdunarodnym geofizicheskim proektam* (Modern inland erosion intensity of the Earth's land. The results of studies by international geophysical projects). Moscow: Interdepartmental Geophysical Committee (Publ.), 1991, 336 p.
11. Milliman J.D., Sivitsky J.P.M. Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the oceans: the importance of small mountainous rivers // J. Geology, 1992, no. 100, pp. 525–544.
12. Ludwig W., Probst J.-L. River sediment discharge to the oceans: present-day control and global budgets // Amer. J. Science, 1998, no. 298, pp. 265–295.
13. Dedkov A.P., Gusarov A.V., Mozzherin V.I. Modern space-temporal variability of river suspended sediment yields to the World ocean: the natural and anthropogenic components // Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology, 2007, no 5, pp. 387–395. (in Russ.).
14. Gusarov A.V. The main regularities of the ratio between riverbed and basin components of erosion and suspended sediment flux in the northern Eurasia's river basins // Geomorfologiya (Geomorphology RAS), 2015, no. 4, pp. 3–20. doi:10.15356/0435-4281-2015-4-3-20 (in Russ.).

15. Safina G.R. Abnormal erosion and solid run-off on the east of the Russian Plain // *Geomorfologiya* (Geomorphology RAS), 2004, no. 3, pp. 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. Mozzherin V.I., Tukaev R.M. *Statisticheskiy analiz vremennoy izmenchivosti zhidkogo i tverdogo stoka rek Priural'ya i Povolzh'ya* // *Fiziko-geograficheskie osnovy razvitiya i razmeshheniya proizvodstvennyh sil Nechernozemnogo Urala* (Statistical analysis of the temporal variability of water discharge and solid runoff of the rivers of the Volga Region and Ural Region // Physical and geographical bases of development and placement of productive forces Nonchernozem Urals). Perm, 1991, pp. 107–115.
18. Svarichevskaya Z.A., Seliverstov Yu.P. *Evolutsiya i vremya: geomorfologicheskaya hronologiya* (Evolution and time: geomorphological chronology). Leningrad: Leningradskoye otdeleniye (Publ.), 1984, 237 p.
19. Rysin I.I. *Ovrajnaya eroziya v Udmurtii* (Gully erosion in Udmurtia). Izhevsk: Udmurt University (Publ.), 1998, 276 p.
20. *Gosudarstvennyi vodnyi kadastr (do 1978 goda pod nazvaniem "Resursy poverhnostnyh vod SSSR")* (State Water Cadastre (until 1978 titled "Surface water resources of the USSR"). Leningrad: Gidrometeoizdat (Publ.), Volues 1–16.
21. Anderson T. *Statisticheskiy analiz vremennyyh ryadov* (Statistical analysis of time series). Moscow: Mir (Publ.), 1976, 756 p.
22. *Stok nanosov, ego izuchenije i geograficheskoye raspredelenije / Pod redaktsiey A.V. Karausheva* (Sediment yield, its study and geographical patterns / Ed. by A.V. Karaushev). Leningrad: Gidrometeoizdat (Publ.), 1977, 240 p.
23. Bobrovitskaya N.N. Long-term variations in mean erosion and sediment yield from the rivers of the former Soviet Union // IAHS-AISH Publ., no 236, 1996, pp. 407–413.

Подрисуночные подписи к статье А.В. Гусарова

“Определение минимальной продолжительности ряда наблюдений за стоком взвешенных наносов рек с целью корректной оценки пространственно-временной изменчивости интенсивности эрозии в их бассейнах”

Рисунок 1. Структура базы данных А.П. Дедкова и В.И. Мозжерина [1] по продолжительности наблюдений за речным стоком взвешенных наносов на гидрологических постах (*A* – весь Мир, *B* – вне территории бывшего СССР, *C* – за пределах территории бывшего СССР).

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

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

Рисунок 3. Графическое пояснение процедуры обработки рядов наблюдений за стоком взвешенных наносов, использованной в работе.

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.

Рисунок 4. Определение минимальной продолжительности ряда наблюдений t по кривым $C_v(\check{R}_j)$ и $C_v(C_v(\check{R}_j))$ на примере некоторых крупных и крупнейших рек Евразии.

1 – кривая $C_v(\check{R}_j)$, 2 – кривая $C_v(C_v(\check{R}_j))$, 3 – t по $C_v(\check{R}_j)$, 4 – t по $C_v(C_v(\check{R}_j))$; 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.

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

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

Таблица 1

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, $F = 237 \text{ км}^2$		
Характеристики	Период	Количественные показатели	Характеристики	Период	Количественные показатели
R_{cp}	1949-2000 гг.	414.0 ± 45.4 тыс. т/год	R_{cp}	1963-1995 гг.	8.9 ± 3.4 тыс. т/год
$M(R)_{cp}$	1949-2000 гг.	$5.1 \text{ т/км}^2 \times \text{год}$	$M(R)_{cp}$	1963-1995 гг.	$37.5 \text{ т/км}^2 \times \text{год}$
$R_{max(6)}$	1978-1983 гг.	588.6 ± 75.6 тыс. т/год	$R_{max(6)}$	1963-1968 гг.	18.5 ± 10.1 тыс. т/год
$R_{min(6)}$	1995-2000 гг.	211.5 ± 44.1 тыс. т/год	$R_{min(6)}$	1987-1992 гг.	2.1 ± 1.0 тыс. т/год
$R_{max(6)}/R_{min(6)}$	—	2.8	$R_{max(6)}/R_{min(6)}$	—	8.8
$R_{max(6)}/R_{cp}$	—	1.4	$R_{max(6)}/R_{cp}$	—	2.1
$R_{cp}/R_{min(6)}$	—	2.0	$R_{cp}/R_{min(6)}$	—	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_{max}/R_{min}	—	5.8	R_{max}/R_{min}	—	285.8
C_v	1949-2000 гг.	0.4	C_v	1963-1995 гг.	1.12

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

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

Таблица 2

Некоторые характеристики анализируемых рек Северной Евразии

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

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

Таблица 3

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

Высотные интервалы и характеристики		Речные бассейны		
		менее 5000 км ²	более 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