

Гидрология
Шмакова М.В.

ГИДРОЛОГИЯ

УДК 556.0132

DOI: 10.17072/2079-7877-2021-2-65-74

СТОК НАНОСОВ РЕК СЕВЕРО-ЗАПАДА РФ

Марина Валентиновна ШмаковаORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2393-0070>,

Scopus Author ID: 15064845100, ResearcherID: J-9490-2018, Author ID: 66373,

IstinaResearcherID (IRID): 365858155

e-mail: m-shmakova@yandex.ru

Институт озероведения Российской академии наук, обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», г. Санкт-Петербург, Россия

Большая залесенность, малые уклоны водосборов, наличие озер и болот, закарстованность бассейна, большая доля подземного питания рек содействуют уменьшению величины стока наносов рек Северо-Запада. Распределение стока наносов в течение года определяется режимом стока реки. Максимальные значения месячных модулей твердого стока всех исследуемых водотоков приходятся на половодье в марте – мае, как правило, достигая пика в апреле, что характерно для северо-западного региона. Причем прохождение максимумов для северных рек (Паша, Оять и Тихвинка) в основном приходится на апрель – май; для рек, протекающих в южной части региона, – на март – апрель. Минимальные значения годового модуля стока в меженный период крайне незначительны, особенно зимой, и для отдельных лет близки нулю. Последнее вполне объяснимо существенным вкладом в формирование твердого стока водотоков почвенной эрозии, наиболее интенсивные процессы которой приходятся на период активного снеготаяния и паводков. Устойчивое повышение температуры воздуха и слоев осадков для Северо-Запада РФ в последнее тридцатилетие в сравнении с прошлым климатическим периодом обусловило увеличение речного стока для исследуемых водотоков. При этом согласно данным наблюдений для выделенных климатических периодов наблюдается место уменьшения годового твердого стока. Последнее можно объяснить социально-экономическими изменениями – существенным уменьшением сельскохозяйственной деятельности в регионе. Также уменьшение твердого стока рек с учетом увеличения водности последних может быть вызвано перераспределением внутригодового хода метеорологических величин, произошедшем в результате климатических изменений.

Ключевые слова: реки, сток, наносы, Северо-Запад РФ, изменение климата.

THE RIVER'S SEDIMENT IN THE NORTH-WEST RUSSIAN FEDERATION

Marina V. ShmakovaORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2393-0070>,

Scopus Author ID: 15064845100, ResearcherID: J-9490-2018, AuthorID: 66373,

IstinaResearcherID (IRID): 365858155

e-mail: m-shmakova@yandex.ru

Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences

Large forested areas, small slopes of catchments, the presence of lakes and swamps, the karstification of the basin, and a large share of underground river feeding contribute to a decrease in the amount of sediment runoff in the rivers located in the North-West of Russia. The distribution of sediment runoff during the year is determined by the flow regime of the river. The maximum values of the monthly solid runoff modules of all the studied rivers are observed at high water in March – May, usually reaching the peak in April, which is typical for the north-western region. Moreover, the passage of the maximum for the northern rivers (Pasha,



Гидрология
Шмакова М.В.

Oyat and Tikhvinka) mainly falls on April – May; for rivers flowing in the southern part of the region – on March – April. The minimum values of the annual runoff modulus in the low-water period are extremely insignificant, especially in winter, and for some years they are close to zero. This is quite understandable due to the significant contribution of soil erosion to the formation of solid runoff of watercourses, with the most intensive processes of soil erosion occurring during the period of active snowmelt and floods. A steady increase in air temperature and precipitation layers for the North-West of the Russian Federation in the last thirty years in comparison with the previous climatic period has led to an increase in the river runoff for the studied watercourses. At the same time, according to the observations for the selected climatic periods, there is a decrease in the annual solid runoff. This can be explained by socio-economic changes – a significant decrease in agricultural activity in the region. In addition, taking into account the increase in the water content of the rivers, the decrease in the solid runoff can be explained by the redistribution of the intra-annual course of meteorological values that occurred as a result of climatic changes.

К e y w o r d s : rivers, sediment, runoff, North-West of the Russian Federation, climate change.

Общие положения

Одним из важных показателей переменных состояния двухфазной циркуляции водных масс в водном объекте является твердый сток. Твердый сток водного объекта – это находящееся в речном потоке или движущихся массах озерных вод твердое вещество различного генезиса – грунтового (твердые минеральные частицы) или органического. Твердый сток водных объектов может рассматриваться в различных приложениях – статическом (мутность воды), динамическом (расход взвешенных и влекомых наносов, общий расход наносов) и косвенно динамическом (изменение отметок дна и переформирование берегов).

Любой неустановившийся неравномерный двухфазный поток характеризуется процессами перераспределения твердого вещества в русле или акватории водного объекта (если речь идет о водоеме). При этом могут наблюдаться как процессы осаждения и взмыва твердого вещества, так и транзитного следования наносов.

Неустановившееся движение потока, вызванное изменением интенсивности поступления воды из верхнего створа и поверхности водосбора, характеризует гидрологический режим водного объекта. Для водоема неустановившееся движение может быть инициировано помимо изменения режима притоков также и ветровыми, и плотностными течениями.

Формирование стока наносов и мутности водного объекта, как и для любого природного процесса, зависит от целого комплекса причин. Однако, в зависимости от типа водного объекта, источники твердого вещества и вклад той или иной составляющей этого процесса могут быть различны. Одним из основных источников наносов для водотоков и водоемов является почвенная эрозия. Интенсивность почвенной эрозии определяется физико-механическими характеристиками почво-грунтов, слагающих водосборную площадь, типом растительности, климатическими характеристиками, а также интенсивностью антропогенной деятельности на водосборе [1]. Поступление твердого вещества с поверхности водосбора может происходить в результате ветрового переноса пылеватых частиц, водно-эрозионной деятельности микроручейковой сети в период интенсивных осадков и снеготаяния. Изменение условий формирования твердого стока на водосборе обуславливает изменение вклада эрозионно-руслонной деятельности речного потока в общие процессы формирования и транспорта стока наносов.

В работе [15] исследуется ряд водотоков разной физико-географической принадлежности, социально-экономической освоенности и направленности изменений климатических факторов, определяющих формирование стока. Для всех рассматриваемых рек наблюдается разнонаправленные тенденции изменения стока наносов к началу 2000 г. При этом выраженная зависимость увеличения стока наносов от увеличения водности для

Гидрология
Шмакова М.В.

этих водотоков не выявлена, что указывает на водность рек лишь одним из определяющих твердый сток факторов. Так, для р. Язгулем (Таджикистан) при общем уменьшении стока реки на 4% за период 1950–1986 гг. увеличение стока наносов составило 154%. Причины увеличения твердого стока, вероятно, вызваны развитием сельскохозяйственной деятельности, в частности выпасом скота [15]. При увеличении стока р. Колымы на 4% для периода 1942–1989 гг. увеличение стока наносов составило 147% за счет расширения золотодобывающей деятельности в пределах водосборного бассейна [15].

Большие социально-экономические перемены в нашей стране на переломе двух тысячелетий, выраженные тенденции к потеплению в северо-западном регионе способствовали изменению условий формирования стока наносов рек. Целью данной работы является анализ многолетних изменений стока наносов некоторых водотоков Северо-Запада Российской Федерации.

Объекты исследования

Наблюдения за расходами наносов и мутностью воды на реках Северо-Запада проводились относительно регулярно и продолжительно лишь на девяти водотоках, охватывая период со второй половины прошлого века по настоящее время. В табл. 1 приведен список гидрометрических створов с продолжительными данными наблюдений за твердым стоком и указанием бассейновой принадлежности представленных водотоков. Анализ внутригодового распределения твердого стока исследуемых водотоков, перечень которых приведен в табл. 1, проводился на основании данных изданий ОГХ и гидрологических ежегодников за разные годы.

Таблица 1

Реки с продолжительными наблюдениями за стоком наносов
Rivers with long-term observations of sediment runoff

№ г/м створа	Река	Створ	F, км ²	Уклон, б/р	Период наблюдений, принятый для расчета, годы	M _{год} , т/(км ² ·год)
Частный бассейн Ладожского озера						
<i>Притоки р. Свирь</i>						
1	Паша	с. Часовенское	5710	0,00090	1961–2010	2,1
2	Оять	д. Акулова Гора	4830	0,00097	1961–2017	7,4
<i>Приток р. Сясь</i>						
3	Тихвинка	д. Горелуха	2070	0,00113	1981–2017	3,9
Бассейн оз. Ильмень						
<i>Впадает в оз. Ильмень</i>						
4	Пола	д. Налючи	6450	0,00122	1974–2017	5,2
5	Мста	д. Девкино	22500	0,00049	1961–2017	7,3
6	Ловать	г. Холм	14700	0,00038	1976–2017	4,1
<i>Приток р. Ловать</i>						
7	Полисть	д. Утушкино	1450	0,00059	1975–2017	4,5
Впадает в Финский залив						
8	Луга	г. Луга	2330	0,00018	1978–2017	0,41
Впадает в Чудско-Псковское озеро						
9	Пскова	д. Черняковицы	914	0,00142	1974–2009	8,4

Результаты расчетов

Южная и центральная части Северо-Запада России, где расположены исследуемые водотоки, которые находятся в зоне достаточного увлажнения, характеризуется большой залесенностью. Основная часть водотоков расположена в пределах Русской равнины,

*Гидрология
Шмакова М.В.*

реки Паша, Оять, Тихвинка – на границе Балтийского кристаллического щита и Русской плиты. Русская плита здесь сложена с поверхности глинами, известняками, песчаниками и доломитами [6]. Грунты характеризуются как устойчивые [6], что определяет и небольшие значения стока наносов и мутности рек этого региона. При этом карстующиеся известняки Ордовикского (Ижорская возвышенность) и Карбонового плато определяют питание рек этого района преимущественно осветленными подземными водами. К такому водотоку с пониженной мутностью воды относится р. Луга, основная часть бассейна которой расположена на Ордовикском плато.

В табл. 1 приведены средние значения годового модуля твердого стока $M_{\text{год}}$, т/(км²·год), рассчитанного за период с 1991 г. по настоящее время для расчетных створов. Наибольшие значения этой величины (7,4–8,4 т/(км²·год)) приходятся на водосборы рек Пскова, Мста и Оять. Сравнительно небольшая площадь водосбора р. Пскова (менее 1000 км²) предполагает преимущественный вклад в формирование стока наносов склоновой эрозии, что и определяет достаточно высокие значения годового модуля твердого стока [6]. На берегах рек Оять и Мсты встречается много обнажений песчаников и глин, которые со склоновым стоком в благоприятные для этого периоды формируют повышенные концентрации наносов. Наименьшее значение (менее 0,5 т/(км²·год)) приходится на частично закарстованный водосбор реки Луги. Для остальных шести исследуемых водотоков годовой модуль твердого стока находится в пределах 3,2–6,5 т/(км²·год), что в целом характерно для рек этого региона [6].

Внутригодовое распределение

Известная сложность при построении обобщенного внутригодового хода величин, характеризующих гидрологический режим (например, уровня и расхода воды, расхода наносов, мутности воды), связана с проблемой осреднения таковых. В итоге подобные построения претерпевают многолетнее сглаживание, купируют характерные максимумы и, как следствие, не отражают истинного положения дел.

При этом основные методы математической статистики – оценка параметров распределения, проверка статистических гипотез, дисперсионный анализ – применяются в предположении, что распределение генеральной совокупности известно. Однако нередко встречаются величины (показатели качества воды, расход наносов, мутность воды), для которых эти предположения не выполняются. В этих случаях обращаются к непараметрическим методам, т.е. методам, не зависящим от распределения генеральной совокупности. Непараметрические методы применяются для качественных величин, представленных в номинальной шкале, величин, измеряемых в порядковой шкале (т.е. указанных в виде рангов), а также количественных величин в том случае, когда распределение генеральной совокупности нельзя определить, так как выборка мала, либо, когда распределение не следует нормальному закону и параметрические методы не применимы.

Анализ литературных источников показывает, что для изучения состояния различных природных сред и гидрохимических показателей в качестве оценки центра распределения, в частности, рекомендуется использовать медиану и трехсреднее значение Тьюки (центральное среднее), а в качестве оценки масштаба распределения – интерквартильный размах и медиану абсолютных отклонений [13; 14]. Причем исследования показали, что при $n < 5$ лучше использовать медиану, а при $n > 5$ – трехсреднее значение [7; 9; 10].

Наиболее удобным инструментом анализа внутригодового распределения месячных модулей твердого стока представляется квартильная диаграмма, которая, с одной стороны, помогает избежать сглаживания при осреднении среднемесячных значений, а, с другой стороны, наглядно показывает изменчивость исследуемой величины в пределах рассматриваемой выборки, степень асимметрии и форму ее распределения [3]. На рис. 1

Гидрология
Шмакова М.В.

приведены квартильные диаграммы внутригодового распределения месячных модулей твердого стока, совмещенные с линией трехсредних значений этой величины. В данном построении (рис. 2) рассматривается 1,5 интерквартильный размах IQR , за пределами которого данные наблюдений определяют как возможные выбросы [3].

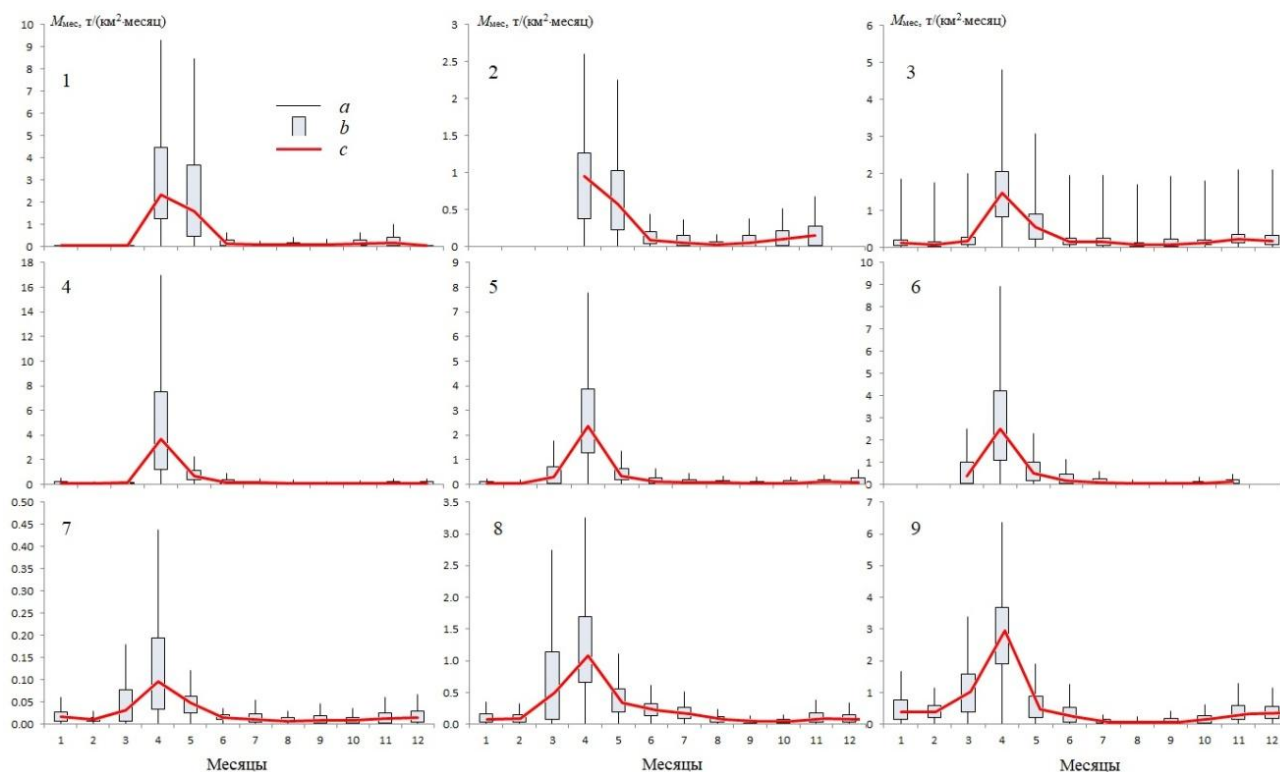


Рис. 1. Квартильная диаграмма внутригодового распределения месячных модулей твердого стока исследуемых водотоков $M_{мес}$, т/(км²-месяц), построенная для периода с 1991 г. по настоящее время (a – ящики, построенные для диапазона $[M_{мес25\%}; M_{мес75\%}]$; b – усы, построенные для диапазонов $[M_{мес25\%}; M_{мес25\%}-1,5 \cdot IQR]$ и $[M_{мес75\%}; M_{мес75\%}+1,5 \cdot IQR]$; c – трехсреднее значение):
1 – р. Оять – д. Акулова Гора; 2 – р. Паша – д. Часовенское; 3 – р. Тихвинка – д. Горелуха;
4 – р. Мста – д. Девкино; 5 – р. Пола – д. Налючи; 6 – р. Ловать – г. Холм; 7 – р. Луга – г. Луга;
8 – р. Полисть – с. Утушкино; 9 – р. Пскова – д. Черняковицы

Fig. 1. Quartile diagram of the intra-annual distribution of monthly solid flow modules of the studied watercourses $M_{мес}$, т/(км²/month), constructed for the period from 1991 to the present (a – boxes constructed for the range $[M_{month25\%}; M_{month75\%}]$; b – whiskers constructed for the ranges $[M_{month25\%}; M_{month25\%}-1,5 \cdot IQR]$ and $[M_{month75\%}; M_{month75\%}+1,5 \cdot IQR]$; c – three-average value).
1 – Oyat River – Akulova Gora village; 2 – Pasha River – Chapenskoe village;
3 – Tikhvinka River – Gorelukha village; 4 – Msta River – Devkino village;
5 – Pola River – Nalyuchi village; 6 – Lovat River – Holm town; 7 – Luga River – Luga town;
8 – Polist River – Utushkino village; 9 – Pskova River – Chernyakovitsy village

Распределение стока наносов в течение года определяется режимом стока реки. Максимальные значения месячных модулей твердого стока всех исследуемых водотоков приходятся на половодье в марте – мае, как правило, достигая пика в апреле, что характерно для северо-западного региона. Причем прохождение максимумов для северных рек (Паша, Оять и Тихвинка) в основном приходится на апрель – май; для рек, протекающих в южной части региона, – на март – апрель. Минимальные значения годового модуля стока в меженный период крайне незначительны, особенно зимой, и для отдельных лет близки нулю. Представленные на рис. 1 диаграммы хорошо иллюстрируют значительную асимметрию месячных значений модуля в сторону больших значений. Для всех расчетных гидрометрических створов, кроме р. Тихвинка – д. Горелуха, наиболее выраженная

Гидрология
Шмакова М.В.

асимметрия приходится на месяцы с повышенным стоком наносов. Для створа р. Тихвинка – д. Горелуха большие диапазоны исследуемой величины наблюдаются в течение всего года. Бассейн р. Тихвинка, расположенный в северной части Валдайской возвышенности, представлен сложноразмываемыми тяжелосуглинистыми разновидностями почв [8], и основная доля наносов формируется в результате русловой эрозии. Это объясняет относительно равномерную интенсивность последней в течение года.

На рис. 2 приведено распределение годового модуля твердого стока в процентах от годового стока. Для всех исследуемых водотоков основной вклад в годовую величину стока наносов приходится на наносы, переносимые в половодье (от 62% для р. Луга – г. Луга до 84% для р. Оять – д. Акулова Гора). Это вполне объяснимо существенным вкладом в формирование твердого стока водотоков почвенной эрозии, наиболее интенсивные процессы которой приходится на период активного снеготаяния и паводков.

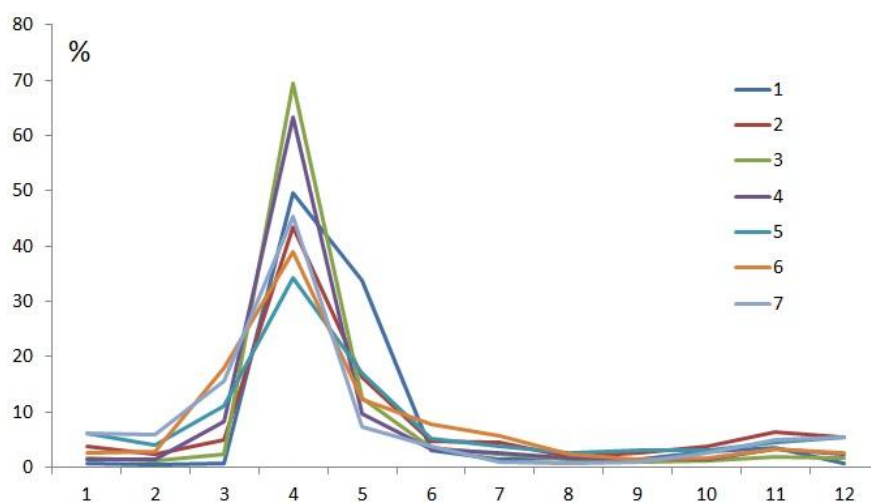


Рис. 2. Распределение годового модуля твердого стока в процентах от годового стока: 1 – р. Оять – д. Акулова Гора; 2 – р. Тихвинка – д. Горелуха; 3 – р. Мста – д. Девкино; 4 – р. Пола – д. Налючи; 5 – р. Луга – г. Луга; 6 – р. Полисть – с. Утушкино; 7 – р. Пскова – д. Черняковицы

Fig. 2. Distribution of the annual solid runoff modulus as a percentage of the annual runoff: 1 – Oyat River – Akulova Gora village; 2 – Tikhvinka River – Gorelukha village; 3 – Msta River – Devkino village; 4 – Pola River – Nalyuchi village; 5 – Luga River – Luga city; 6 – Polist River – Utushkino village; 7 – Pskova River – Chernyakovitsy village

Многолетняя изменчивость

В настоящее время выделяются 30-летние климатические периоды, называемые климатологическими базовыми нормами ВМО [4]. Исторический базовый климатический период представлен 1961–1990 гг. Этот период служит основой для долгосрочной оценки изменения климата. Текущий базовый климатический период представлен 1991–2020 гг. [4].

На рис. 3 приведены годовые слои осадков и среднегодовая температура воздуха для метеостанции г. Санкт-Петербург, построенные отдельно за два климатических периода – за период 1961–1990 гг. (I) и период 1991–2018 гг. (II). Горизонтальными линиями на рис. 3 показаны средние значения этих величин, рассчитанные для указанных периодов. Так, для годового слоя осадков средние значения за указанные периоды составят соответственно 645 мм/год и 667 мм/год, для среднегодовой температуры воздуха – 5°С и 6,2°С. Годовой слой осадков по отношению к прошлому климатическому периоду увеличился в среднем на 3,4%, среднегодовая температура воздуха – на 24%.

Гидрология
Шмакова М.В.

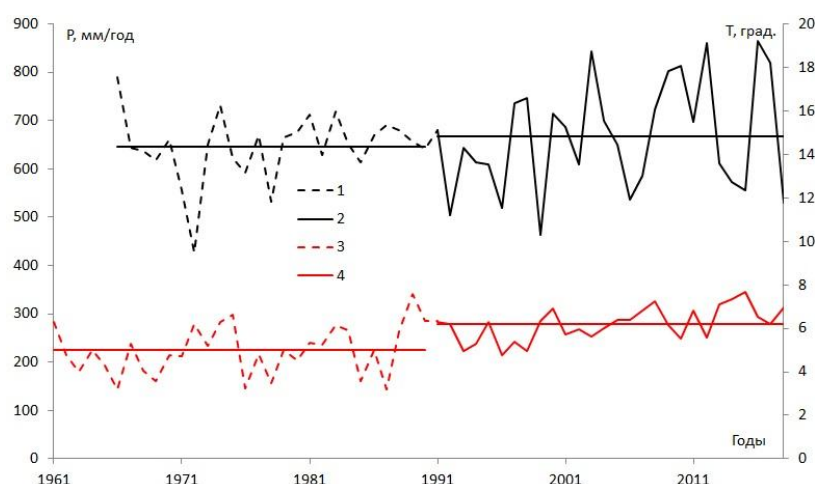


Рис. 3. Годовые слои осадков, мм/год за I период (1) и II период (2), среднегодовая температура воздуха, °C за I период (3) и II период (4) по м/ст г. Санкт-Петербург

Fig. 3. Annual precipitation layers, mm/year for the I period (1) and II period (2), average annual air temperature, °C for the I period (3) and II period (4) according to the St. Petersburg's meteorological station

В табл. 2 приведены годовой слой стока, средние годовые и месячные (за апрель) значения модуля твердого стока для исследуемых водотоков в соответствии с рассматриваемыми климатическими периодами. Слои стока и среднегодовые модули твердого стока для створов Тихвинка – д. Горелуха, Пола – д. Налючи, Полисть – д. Утушкино, Луга – г. Луга и Пскова – д. Черняковицы за первый климатический период репрезентативными считаться не могут, так как в расчеты не был включен продолжительный маловодный период до 1974 г. Данные расчетов по этим водотокам приведены в табл. 2 в скобках. Для р. Мста – д. Девкино с 1961 по 1971 г. наблюдения за расходом наносов также не проводились, поэтому значение среднего годового модуля за первый период приведено в скобках. Для оставшихся трех гидрометрических створов, как следует из табл. 2, годовые слои речного стока во втором климатическом периоде увеличились, что составило по отношению к первому климатическому периоду 10% (реки Паша и Ловать) и 26% (р. Оять). При этом значения годового модуля твердого стока в среднем для этих водотоков уменьшились на 36%. Среднемесячные значения годового твердого стока, рассчитанные для апреля, уменьшатся для второго климатического периода для рек Паша (75%) и Оять (20%) и увеличатся на 17% для р. Ловать.

Для каждого водотока была проведена оценка значимости отличия рядов среднегодового модуля твердого стока для двух климатических периодов с помощью непараметрического статистического критерия Вилкоксона – Манна – Уитни [5]. Результаты оценки показали, что различия исследуемых выборок можно считать существенными для водотоков Оять, Паша, Тихвинка, Мста (для уровня значимости $\alpha=0,01$) и р. Ловать (для уровня значимости $\alpha=0,05$). Для рек Пола, Луга, Полисть и Пскова различия между среднегодовыми модулями твердого стока, рассчитанными для двух климатических периодов, полагаются несущественными для уровня значимости $\alpha=0,01$.

На уменьшение твердого стока при увеличении водности во втором климатическом периоде повлияло ослабление сельскохозяйственной деятельности на водосборах изучаемых рек, связанное с социально-экономическими изменениями в регионе. Сокращение пахотных земель на начало второго периода составило от 11 до 60% в зависимости от административного округа [2]. Однако немаловажен вклад и природных факторов, в частности изменения внутригодового распределения стокоопределяющих метеорологических величин. Теплые зимы приводят к купированию больших расходов воды и перераспределению таковых в течение более продолжительных периодов. При этом

Гидрология
Шмакова М.В.

принципиальное увеличение осадков в регионе (на 35% в мае для второго климатического периода) на начало вегетационного периода могло привести к более интенсивным процессам почвенной эрозии.

Таблица 2

Средние значения годового слоя стока H , мм/год и среднегодового и среднемесячного модулей твердого стока $M_{\text{год}}$, т/(км²·год) и $M_{\text{мес}}$, т/(км²·мес)
The average values of the annual runoff layer H , mm/year and the average annual and average monthly modules of solid runoff M_{year} , t/(km²·year) and M_{month} , t/(km²·month)

Г/м створ	I период			II период		
	H	$M_{\text{год}}$	$M_{\text{мес}}$	H	$M_{\text{год}}$	$M_{\text{мес}}$
Паша – с. Часовенское	359	6,4	4,0	396	2,1	1,0
Оять – д. Акулова Гора	275	9,9	6,6	347	7,4	5,4
Тихвинка – д. Горелуха	(367)	(6,5)	(2,8)	341	3,9	1,5
Пола – д. Налючи	(311)	(5,5)	(3,2)	331	5,2	2,8
Мста – д. Девкино	230	(6,11)	(1,9)	252	7,3	4,3
Ловать – г. Холм	217	4,8	2,7	243	4,1	3,2
Полисть – д. Утушкино	(307)	(4,9)	(2,5)	230	4,5	2,2
Луга – г. Луга	(253)	(0,70)	(0,34)	217	0,41	0,13
Пскова – д. Черняковицы	(335)	(10,3)	(5,3)	328	8,4	3,7

Обсуждение

Внутригодовое распределение твердого стока исследуемых водотоков характеризуется крайне небольшими значениями для меженного периода и многократно превышающими их значениями твердого стока в период большой воды. Последнее вполне объяснимо существенным вкладом в формирование твердого стока водотоков почвенной эрозии, наиболее интенсивные процессы которой приходится на период активного снеготаяния и паводков.

Устойчивое повышение температуры воздуха и слоев осадков для Северо-Запада РФ в последнее тридцатилетие в сравнении с прошлым климатическим периодом способствовало увеличению водности рек. При этом согласно данным наблюдений для выделенных климатических периодов отмечается уменьшение годового твердого стока. Последнее можно объяснить социально-экономическими изменениями – существенным уменьшением сельскохозяйственной деятельности в регионе. Также уменьшение твердого стока рек с учетом увеличения водности последних может быть вызвано перераспределением внутригодового хода метеорологических величин, произошедшем в результате климатических изменений.

Таким образом, изменение стока наносов может определяться тремя основными факторами – уменьшением сельскохозяйственной активности в регионе, увеличением водности рек и перераспределением речного стока в течение года. При этом следует учитывать, что увеличение водности рек в последнем климатическом периоде является компенсирующим фактором по отношению к уменьшению аграрной освоенности земель для формирования стока наносов. С другой стороны, перераспределение стока в течение года и заметный рост температуры воздуха в зимний период также могут привести к уменьшению интенсивности почвенной эрозии (нивелирование пиков весеннего половодья уменьшает эрозионную активность склоновых микропучечковых потоков).

Выводы

В результате данного исследования относительно продолжительных рядов наблюдений за твердым стоком трех водотоков Северо-Запада РФ было выявлено уменьшение годового стока наносов изучаемых рек на фоне общего увеличения водности последних. При этом

Гидрология
Шмакова М.В.

второй рассматриваемый климатический период (1991–2019 гг.) характеризуется уменьшением площади сельскохозяйственно освоенных земель на водосборах исследуемых рек и перераспределением речного стока внутри года. Все указанные факторы оказывают разнонаправленное влияние на процессы формирования твердого стока на водосборе и в речной сети, при этом вклад каждого из этих факторов различен. С учетом всех признаков, наибольший вклад в изменение стока наносов приносит уменьшение сельскохозяйственной активности совместно с общим повышением температуры в зимний период. Однако, как отмечено в [11; 12], на сегодняшнее время нет достаточного понимания влияния климатических изменений на геоморфологические системы.

Благодарности. Работа выполнена при финансовом обеспечении за счет средств федерального бюджета в рамках темы № 0154-2019-0001 “Комплексная оценка динамики экосистем Ладожского озера и водоемов его бассейна под воздействием природных и антропогенных факторов”.

Acknowledgments. The work was carried out with the financial support from the federal budget in the framework of topic 0154-2019-0001 ‘Comprehensive assessment of the dynamics of the ecosystems of Ladoga Lake and its basin reservoirs under the influence of natural and anthropogenic factors’.

Библиографический список

1. Алексеевский Н.И. Формирование и движение речных наносов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 201 с.
2. Апарин Б.Ф., Матинян Н.Н. Ландшафтная структура Северо-Запада России и типология сельскохозяйственных земель // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2005. Сер. 3. Вып. 2. С. 132–141.
3. ГОСТ Р ИСО 16269-4-2017. Статистические методы. Статистическое представление данных. Ч. 4. Выявление и обработка выбросов. М.: Стандартинформ, 2017. 53 с.
4. Новый двухуровневый подход к «климатическим нормам» // Гидрометцентр России. [Электронный ресурс]. URL: <https://meteoinfo.ru/news/1-2009-10-01-09-03-06/11151-03062015-1-r> (дата обращения: 03.02.2020).
5. РД 52.24.622 – 2001 «Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков». 32 с.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Карелия и Северо-Запад. Том 2. Ч. 1. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 528 с.
7. Робастность в статистике. Подход на основе функций влияния / Ф. Хампель, Э. Ронгетти, П. Рауссеу, В. Штаэль. М.: Мир, 1989. 512 с.
8. Схема комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО) бассейна реки Нева. Книга 1. Общая характеристика речного бассейна реки Нева / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Санкт-Петербург, 2010. 189 с.
9. Hollander M., Wolfe D.A., Chicken E. Nonparametric Statistical Methods, John Wiley & Sons. 2014.
10. Huber P.J. Robust Statistics. New York: Wiley. 1981.
11. Knight J. and Harrison S. Sediments and future climate // Nature Geoscience. 2009. No 2. P. 230–230.
12. Lu X.X., Ran L.S., Liu S., Jiang T., Zhang S.R., Wang J.J. Sediment loads response to climate change: A preliminary study of eight large Chinese rivers // International Journal of Sediment Research. 2013. Vol. 28. No 1. P. 1–14.
13. McGill R., Tukey J.W., Larsen W.A. Variations of Box Plots. The American Statistician. 1978. Vol. 32. No. 1. P. 12–16.
14. Tukey J.W. Exploratory Data Analysis. Reading MA: Addison-Wesley Publishing Co. 1977.
15. Walling Des.E. The changing sediment loads of the world’s rivers. Warsaw Univ. of Life Sci. – SGGW, Land Reclam. 2008. No 39. P. 3–20. doi: 10.2478/v10060-008-0001-x.

References

1. Alekseevskij, N.I. (1998), “*Formirovanie i dvizhenie rechnyh nanosov*” [Formation and movement of river sediments], M.: MGU (In Russ.).
2. Aparin, B.F., Matinyan, N.N. (2005), “*Landshaftnaya struktura Severo-Zapada Rossii i tipologiya sel'skohozyajstvennyh zemel*”, *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta* [Bulletin of the Saint Petersburg University], ser. 3, vol. 2, pp. 132–141. (In Russ.).
3. GOST R ISO 16269-4-2017. *Statisticheskie metody. Statisticheskoe predstavlenie dannyh. CHast' 4. Vyyavlenie i obrabotka vybrosov* [Statistical methods. Statistical representation of data. Part 4. Identification and treatment of emissions.], (2017), M.: Standartinform, 53 p. (In Russ.).

Гидрология
Шмакова М.В.

4. *Novyj dvuhurovnevyy podhod k 'klimaticheskim normam'* [A new two-level approach to 'climate norms'], Gidrometcentr Rossii, Russia, available at: <https://meteoinfo.ru/news/1-2009-10-01-09-03-06/11151-03062015-1-r> (Accessed 3 February 2020).
5. RD 52.24.622 – 2001 *'Provedenie raschetov fonovykh koncentracij himicheskikh veshchestv v vode vodotokov'* [Calculation of background concentrations of chemicals in the water of watercourses], 32 p. (In Russ.).
6. *Resursy poverhnostnykh vod SSSR. Kareliya i Severo-Zapad, tom 2, chast' 1* [Surface water resources of the USSR. Karelia and the North-West, volume 2, part 1] (1972), L.: Gidrometeoizdat. (In Russ.).
7. *Robastnost' v statistike. Podhod na osnove funktsij vliyaniya* [Robustness in statistics. An approach based on influence functions] (1989), by edition F. Hampel', E. Rongetti, P. Rausseau, V. Shtael'. M.: Mir, Russia.
8. *Skhema kompleksnogo ispol'zovaniya i ohrany vodnykh ob'ektov (SKIOVO) bassejna reki Neva. Kniga 1. Obshchaya karakteristika rechnogo bassejna reki Neva* (2010), [Scheme of integrated use and protection of water bodies (SKIOVO) of the Neva River basin. Book 1. General characteristics of the river basin of the Neva River], Ministerstvo prirodnih resursov i ekologii Rossijskoj Federacii, Sankt-Peterburg, Russia.
9. Hollander, M., Wolfe, D.A., Chicken, E. (2014), *Nonparametric Statistical Methods*, John Wiley and Sons.
10. Huber, P.J. (1981), *Robust Statistics*. New York: Wiley.
11. Knight, J. and Harrison, S. (2009), "Sediments and future climate", *Nature Geoscience*, no. 2, pp. 230–230.
12. Lu, X.X., Ran, L.S., Liu, S., Jiang, T., Zhang, S.R., Wang, J.J. (2013), "Sediment loads response to climate change: A preliminary study of eight large Chinese rivers", *International Journal of Sediment Research*, vol. 28, no. 1, pp. 1–14.
13. McGill, R., Tukey, J. W., Larsen, W.A. (1978), "Variations of Box Plots", *The American Statistician*, vol. 32, no. 1, pp. 12–16.
14. Tukey, J.W. (1977), *Exploratory Data Analysis*. Reading MA: Addison-Wesley Publishing Co.
15. Walling, Des. E. (2008), "The changing sediment loads of the world's rivers". Warsaw Univ. of Life Sci. SGGW, *Land Reclam*, no. 39, pp. 3–20. doi: 10.2478/v10060-008-0001-x.

Поступила в редакцию: 26.02.2021

Сведения об авторах

About the authors

Марина Валентиновна Шмакова

доктор географических наук,
ведущий научный сотрудник лаборатории
математических методов моделирования ИНОЗ РАН –
СПб. ФИЦ РАН;
196105, г. Санкт-Петербург, ул. Севастьянова, 9

Marina V. Shmakova

Doctor of Science in Geography,
leading researcher
Institute of Limnology RAS;
9, Sevastyanova, SPb, 196105, Russia
e-mail: m-shmakova@yandex.ru

Просьба сослаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Шмакова М.В. Сток наносов рек Северо-Запада РФ // Географический вестник = Geographical bulletin. 2021. № 2(57). С. 65–74. doi: 10.17072/2079-7877-2021-2-65-74.

Please cite this article in English as:

Shmakova, M.V. (2021). The river's sediment in the North-West Russian Federation. *Geographical bulletin*. No. 2(57). Pp. 65–74. doi: 10.17072/2079-7877-2021-2-65-74.