

УДК 556.555.6

РЕЖИМ СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ РЕК БЕЛАРУСИ

А. А. Волчек¹, И. Н. Розумец², С. В. Сидак³, Ю. П. Городнюк⁴¹ Д. г. н. РФ и РБ, профессор, профессор кафедры природообустройства УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: volchak@tut.by² Магистр, аспирант кафедры природообустройства УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: ivan.rozumets@bk.ru³ Магистр физ.-мат. н., старший преподаватель кафедры математики и информатики УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: harchik-sveta@mail.ru⁴ Магистр, аспирант кафедры природообустройства УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: juliagirodniuk99@gmail.com

Реферат

В данной работе рассматриваются методы оценки стока взвешенных наносов в реках Ясельда и Лесная, а также анализ их взаимосвязи с гидрометеорологическими параметрами. Основным подходом является использование регрессионных моделей, основанных на статистической связи между мутностью воды и расходом воды. В частности, применяются нелинейные регрессионные уравнения степенного вида и их логарифмические преобразования для восстановления пропущенных данных. На основе полученных моделей восстановлены среднегодовые значения расхода взвешенных наносов за отдельные годы, что позволило выявить характерные пики в 1988, 1998, 2009 и 2012 годах для обеих рек. Анализ многолетних рядов показал наличие локальных максимумов, свидетельствующих о сложных гидрологических процессах и возможных влияниях природных и антропогенных факторов. Важным аспектом исследования является оценка сезонных изменений стока наносов, что позволяет более полно понять динамику процессов переноса взвешенных частиц в течение года.

Использование статистических методов позволяет достаточно точно оценивать динамику наносов, однако точность зависит от качества исходных данных и учета дополнительных факторов. В целом выбранные модели являются эффективными инструментами для оценки взвешенных наносов при ограниченности данных, что важно для гидрологического мониторинга и управления водными ресурсами. Результаты подчеркивают необходимость комплексного подхода с учетом региональных особенностей и расширения базы наблюдений для повышения надежности прогнозов.

Дополнительно в работе проведен анализ влияния климатических изменений на параметры стока и перенос взвешенных наносов. Установлено, что увеличение частоты экстремальных осадков способствует росту интенсивности переноса взвешенных частиц, что отражается на увеличении пиковых значений мутности и расхода наносов. Эти данные важны для разработки мероприятий по охране водных ресурсов и предотвращению эрозионных процессов.

Ключевые слова: твердый сток, взвешенные наносы, модель, сток наносов, регрессия.

RUNOFF REGIME OF SUSPENDED SEDIMENTS OF BELARUSIAN RIVERS

A. A. Volchak, I. N. Rozumec, S. V. Sidak, Y. P. Haradniuk

Abstract

This study examines methods for estimating the suspended sediment load in the Yaselda and Lesnaya rivers, as well as analyzing their relationship with hydro-meteorological parameters. The primary approach involves using regression models based on statistical correlations between water turbidity and water discharge. Specifically, nonlinear power-type regression equations and their logarithmic transformations are applied to reconstruct missing data. Based on the developed models, annual average values of suspended sediment discharge for individual years were restored, revealing characteristic peaks in 1988, 1998, 2009, and 2012 for both rivers. The analysis of multi-year series showed the presence of local maxima, indicating complex hydrological processes and potential influences of natural and anthropogenic factors. An important aspect of the research is the assessment of seasonal variations in sediment runoff, which allows for a more comprehensive understanding of the dynamics of suspended particle transport throughout the year.

The use of statistical methods enables fairly accurate evaluation of sediment dynamics; however, the precision depends on the quality of initial data and consideration of additional factors. Overall the selected models are effective tools for estimating suspended sediments in conditions of limited data, which is crucial for hydrological monitoring and water resource management. The results highlight the need for a comprehensive approach that considers regional features and expands observation networks to improve forecast reliability.

Additionally, the study includes an analysis of the impact of climate change on runoff parameters and sediment transport. It was established that an increase in the frequency of extreme precipitation events contributes to a rise in the intensity of suspended particle transfer, reflected in increased peak values of turbidity and sediment discharge. These findings are important for developing measures aimed at water resource protection and erosion prevention.

Keywords: solid runoff, suspended sediments, model, sediment runoff, regression.

Введение

Для проектирования и эксплуатации водохозяйственных и гидротехнических сооружений, систем водоснабжения важно располагать надежными данными многолетних наблюдений за твердым стоком рек Беларуси. Эти данные содержатся в гидрологических ежегодниках государственных водных кадастров СССР и Беларуси. Из-за отсутствия данных за определенные годы и месяцы прерывается ряд наблюдений и снижается значимость проведенного анализа. Кроме того, на территории Беларуси насчитывается большое количество рек, на которых отсутствуют гидрометрические посты или ведутся лишь наблюдения за расходом воды. Однако эти реки вносят в основной водоток значительное количество взвешенных

наносов. Определение этих наносов необходимо для оценки сроков заиления водохранилищ. Речные наносы образуются в русле и пойме реки, являясь важной частью любой речной экосистемы. Помимо своей экологической функции эти наносы широко применяются в строительстве в качестве нерудных материалов [1–5].

В Беларуси насчитывается около 20,8 тысяч рек, общая протяженность которых составляет 90,6 тысяч километров. По численности и длине преобладают малые реки (длина до 100 км) и ручьи (длина до 10 км), которые составляют соответственно 93 % от общего числа рек и 53 % от их общей длины.

Мутность воды в реках значительно варьируется по поперечному сечению потока, вдоль его длины и во времени. Распределение мут-

ности по ширине русла обладает сложным и в значительной степени хаотичным характером. Обычно мутность увеличивается от поверхности к дну, что обусловлено преимущественным накоплением крупных фракций наносов на дне. Мелкие частицы, как правило, распределяются более равномерно по глубине. Поэтому, чем больше в составе наносов крупных фракций, тем более неравномерным является их распределение по вертикали. При росте турбулентности потоков распределение взвешенных наносов по вертикали становится более однородным. Однако это лишь общая схема; на практике ситуация усложняется из-за возникновения водоворотов и циркуляционных течений, которые нарушают простую картину распределения [6].

Еще более сложный характер носит распределение наносов по ширине реки. Здесь вообще трудно подметить сколько-нибудь отчетливо выраженную закономерность. Распределение наносов по ширине потока сильно меняется в зависимости от направления течения, местных размывов русла и берегов, впадения притоков, несущих большее или меньшее количество наносов, чем главная река.

Важной особенностью рек с имеющимися данными о взвешенных наносах является малый сток наносов. Это обусловлено характером питания и рельефом местности, а также малой транспортирующей способностью потока [7–8].

В настоящее время проводятся немногочисленные измерения наносов на реках Беларуси, которые недостаточны для объективной оценки режима стока наносов. В таком случае прибегают к расчетным методам [9–10].

Таблица 1 – Изученность стока взвешенных наносов на реках Беларуси

Река	Пункт наблюдений	Период наблюдений за твердым стоком	Месяц и год, за который отсутствуют значения твердого стока
Вилия	Вилейка	1983–2021 гг.	март 2012 г.; июль 2013 г.; май 2014 г.; январь, февраль, декабрь 2018 г.
Вилия	Стешицы	1981–2021 гг.	март 2012 г.; июль 2013 г.; май 2014 г.; январь, февраль, декабрь 2018 г.
Ясельда	Сенин	1971–2021 гг.	май 1971 г.; весь 1975 г.; весь 1976 г.; январь, февраль 1979 г.; март 2012 г.; июль 2013 г.; май 2014 г.; январь, февраль, декабрь 2018 г.
Полота	Янково 1-е	1990–2021 гг.	декабрь 1999 г.; август, сентябрь, октябрь 2002 г.; февраль 2023 г.; сентябрь 2004 г.; май 2005 г.; февраль 2007 г.; январь, февраль, октябрь 2012 г.; январь, февраль, март 2014 г.

Как правило, недостаточность и неточность данных наблюдений за расходом наносов на реках препятствуют получению надежной информации о характеристиках его распределения. В случае отсутствия или недостаточности данных наблюдений за стоком взвешенных наносов на исследуемом водотоке все характеристики и параметры твердого стока определяются на основе данных реки-аналога. Под рекой-аналогом понимается река, для которой имеются гидрологические наблюдения и которая находится в схожих условиях формирования стока с исследуемой рекой, для которой проводится расчет [12].

При выборе реки-аналога должны выполняться следующие требования:

- однотипность стока реки-аналога и исследуемой реки;
- возможная географическая близость расположения водосборов;
- площади водосборов не должны различаться более чем в 10 раз;
- однородность условий формирования стока, сходство климатических условий, однотипность почв (грунтов) и гидрогеологических условий, близкую степень озерности, залесенности, заболоченности и распаханности водосборов;
- отсутствие факторов, существенно искажающих естественный речной сток (регулирование стока, сбросы и изъятие воды).

В таблице 2 представлены значения основных гидрографических характеристик водосборов при подборе рек-аналогов, основными критериями соответствия при выборе которых послужили площадь, средняя высота, средний уклон водосбора.

Так как полный ряд, без пропуска значений, присутствует лишь у р. Лесной в створе Тюхиничи, то восстанавливать будем по ее ряду. Для определения среднемесячных расходов взвешенных наносов, отсутствующих в литературных источниках, построили график, отображающий прямые линии связи (рисунок 1). Уравнения регрессии имеют вид: $R_c = 8,07 \cdot R_r - 0,14$ и $R_c = 1,43 \cdot R_r + 0,01$, где R_c и R_r – расходы взвешенных наносов на реке Ясельде в створе Сенин и реке Лесной в створе Тюхиничи.

Целью настоящей работы является оценка режима стока взвешенных наносов рек Беларуси за многолетний период.

Для реализации поставленной цели потребовалось решение следующих задач:

- 1) восстановление рядов взвешенного стока рек Беларуси;
- 2) оценка многолетней изменчивости стока наносов;
- 3) построение регрессионной модели связи расходов воды и расходов наносов.

Исходные данные и методы исследования

Информационной основой для исследования послужили многолетние ряды наблюдений за расходами взвешенных наносов и расходами воды. Данные предоставлены государственным учреждением «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [11].

В настоящее время наблюдение за стоком наносов осуществляется на шести реках Беларуси (Полоте, Полпе, Страче, Лесной, Добысне, Узе). Наиболее полные и продолжительные ряды наблюдений имеются для рек: Вилия в створе Вилейка и Стешицы, Ясельда в створе Сенин, Полота в створе Янково 1-е. В таблице 1 представлены сведения о периодах наблюдений за твердым стоком данных рек, а также об отсутствии инструментальных наблюдений за твердым стоком.

Таблица 2 – Гидрографические характеристики рек, по которым ведутся наблюдения за твердым стоком

Река	Пункт	Площадь водосбора (км ²)	Средняя высота (м)	Средний уклон (‰)
Вилия	Вилейка	4190	150	0,3
Вилия	Стешицы	1230	150	0,3
Ясельда	Сенин	5110	140	0,15
Полота	Янково 1-е	618	130	0,5
Лесная	Тюхиничи	2590	150	0,2

Существует несколько методов оценки стока взвешенных наносов, которые основаны на различных теоретических концепциях и выбираются в зависимости от конкретных условий и требований. Согласно энергетической парадигме, сумма взвешенных и влекомых наносов в потоке прямо связана с затратами энергии потока на их транспортировку. Балансовая парадигма учитывает обмен наносов между потоком и руслом, а количество взвешенных наносов на конечной границе определяется транспортирующей способностью потока и гидромеханическими свойствами переносимого материала. Однако применение этих методов осложнено из-за недостатка данных, что делает их непрактичными для точной количественной оценки транспорта наносов.

Особое место занимает стохастическая концепция, которая объединяет ряд статистических методов. Она предполагает возможность прогнозирования стока взвешенных наносов с помощью одного или нескольких предикторов – переменных, оказывающих влияние на данный процесс. На основе этих предикторов создаются статистические модели, позволяющие с высокой точностью оценивать объемы наносов. Основные статистические подходы делятся на две категории: вероятностные методы, основанные на предположении сходства эмпирических распределений расходов воды и мутности при различных временных интервалах; и регрессионные методы, которые подбирают предикторы и строят модели различного типа, включая метод кривых транспорта наносов.

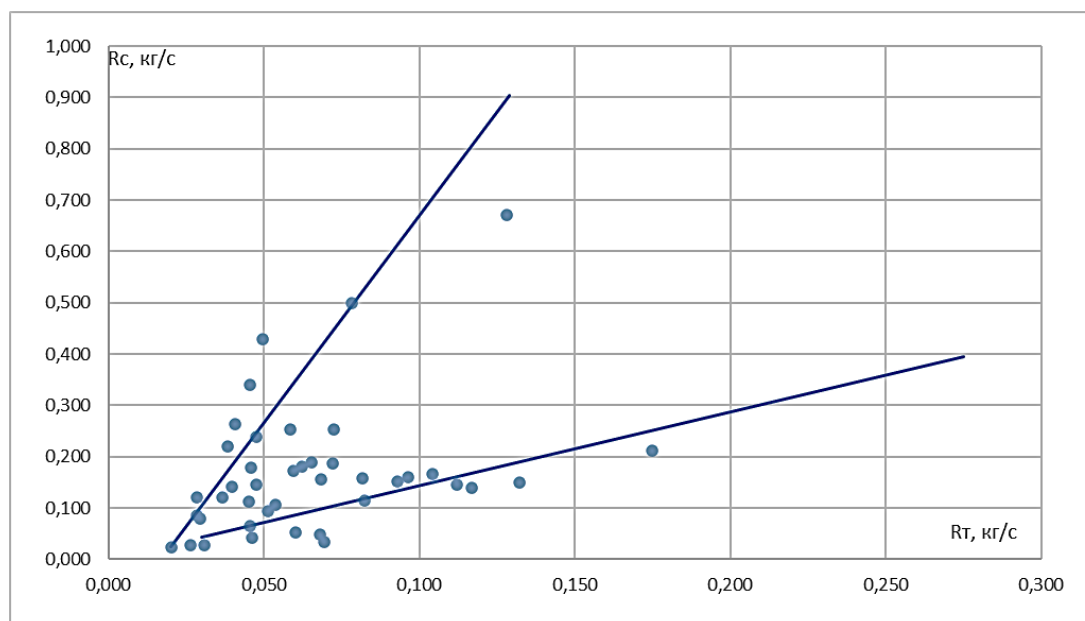


Рисунок 1 – Связь расходов взвешенных наносов на р. Лесной в створе Тюхиничи и р. Ясельде в створе Сенин

Нелинейные регрессионные модели, используемые в методе кривых транспорта наносов, применяются для аппроксимации данных о расходах и мутности воды, полученных в результате наблюдений или экспериментов. Эти данные могут быть представлены в виде временных рядов с разной продолжительностью и частотой измерений. Основная идея заключается в том, что мутность воды функционально связана с расходом воды. Однако эта зависимость не является универсальной: мутность может зависеть не только от расхода, но и от других факторов, таких как наличие примесей, микроорганизмов или органических веществ в воде [13–17].

Расход наносов (R кг/с), переносимых рекой, через поперечное сечение может быть определен по формуле [18–20]

$$R = C \cdot Q \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где C – мутность воды, г/м³, Q – расход воды, м³/с.

Анализ моделей для расчета мутности воды на малых реках показал, что вполне допустимо использование регрессионных моделей. В силу того что мутность воды хорошо коррелирует с расходами воды и носит нелинейный характер, то нами использована нелинейная регрессионная модель степенного вида:

$$C = aQ^b, \quad (2)$$

где a и b – параметры подгонки.

Степенную зависимость с помощью логарифмического преобразования можно представить как

$$\log C = \log a + b \log Q. \quad (3)$$

Результаты и их обсуждение

Используя уравнения регрессии, восстановили пропущенные значения за отдельные месяцы. Поскольку восстанавливаются только отдельные элементы годового ряда, это позволяет обеспечить наибольшую точность при получении среднегодовых показателей. Восстановленные среднегодовые значения приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения восстановленных среднегодовых расходов взвешенных наносов

Река, пункт	Год	Восстановленные среднегодовые значения R , (кг/с)
Ясельда – Сенин	2012	0,157
	2013	0,143
	2014	0,09
	2018	0,068

Ряды наблюдений для р. Ясельды и р. Лесной представлены на рисунке 2. На обоих графиках выделяются пики повышенного расхода наносов в 1988, 1998, 2009, 2012 годах. Однако на р. Лесной

имеются и собственные пики, не сходящиеся с р. Ясельдой, такие как 1994, 2010 годы.

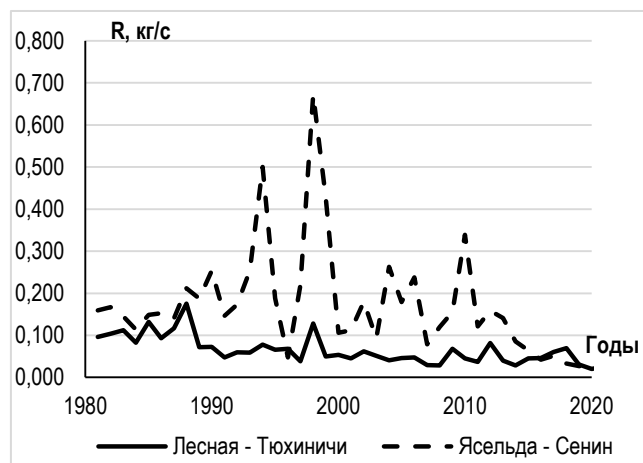


Рисунок 2 – Многолетние ряды среднегодовых значений расходов взвешенных наносов (R , кг/с) на р. Лесной в створе Тюхиничи и р. Ясельде в створе Сенин

Для построения регрессионной модели необходимо провести анализ исходных данных исследованием статистических свойств рядов наблюдений. Поэтому используются частотные гистограммы рядов мутности и расхода воды для сравнения с кривой гауссова распределения (рисунок 3).

Представленные расчетные методы требуют обоснования для каждой отдельной реки. Нелинейный регрессионный анализ используется в уравнениях (1) и (2), а линейная регрессия – в уравнении (3). Структура данных оказывает влияние на точность методов. В уравнениях (1) и (2) наличие ошибок снижает точность расчетов, особенно в области высоких значений Q и C .

Коэффициенты a и b являются параметрами модели, которые используются для подгонки данных методом кривой транспорта наносов. В контексте регрессионного анализа a и b служат для передачи информационного сигнала к зависимой переменной.

Для уменьшения количества ошибок в построении нелинейных регрессионных моделей используется метод наименьших квадратов. Поиск экстремума функции потерь выполняется с помощью широкого спектра методов оптимизации.

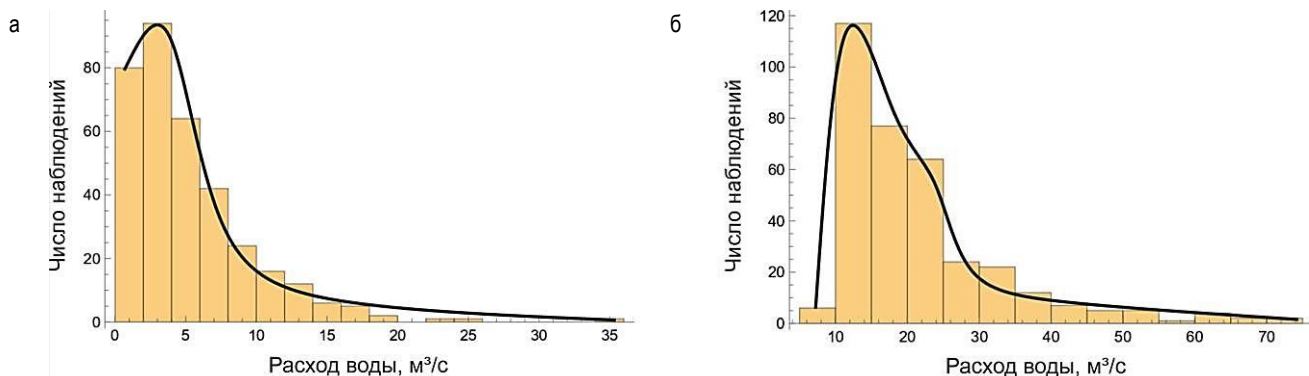


Рисунок 3 – Частотные гистограммы рядов измеренных значений расхода воды Q : а – р. Полота – с. Янково 1-е за 1990–2010 гг; б – р. Вилия – г. Вилейка за 1990–2010 гг.

Полученные коэффициенты детерминации (таблица 4) близки к единице, что показывает работоспособность модели. Однако для некоторых пунктов наблюдения он составляет 0,59 (р. Полота – с. Янково 1-е). Так же для объединенного ряда значений 0,62.

Для модели линейного распределения (таблица 5) по уравнению (3) коэффициенты детерминации высокие. Так, для р. Вилии – г. Вилейка он составляет 0,98. А для р. Полота – с. Янково 1-е составляет 0,74, минимальное значение в нашей выборке.

Регрессионные модели, основанные на измеренных значениях концентрации (C) и расхода воды (Q), могут использоваться только для определения мгновенных значений C и не подходят для оценки концентрации из расходов воды, усредненных за другие периоды. Предсказать ошибки расчетов затруднительно, поскольку на результат влияют многочисленные факторы, такие как изменения гидроклиматических условий.

Замена расхода воды в регрессионном уравнении должна иметь статистическую обоснованность, поскольку считается, что расход воды является наиболее эффективным предиктором для оценки концентрации взвешенных наносов при отсутствии других данных.

Таблица 4 – Коэффициенты регрессии, полученные по уравнению (1) для рядов измеренных C и Q

Река – створ	Параметр		
	a	b	r^2
р. Полота – с. Янково 1-е	4,978	0,031	0,59
р. Вилия – г. Вилейка	9,186	0,439	0,81
р. Вилия – с. Стешицы	3,032	0,676	0,84
р. Лесная – с. Тюхиничи	5,947	0,324	0,74
р. Ясельда – с. Сенин	24,426	0,179	0,77
Объединенный ряд	10,181	0,134	0,62

Таблица 5 – Коэффициенты регрессии, полученные по уравнениям (3) для рядов измеренных C и Q

Параметр	Линейная регрессия					
	р. Полота – с. Янково 1-е	р. Вилия – г. Вилейка	р. Вилия – с. Стешицы	р. Лесная – с. Тюхиничи	р. Ясельда – с. Сенин	Объединенный ряд
$\log a$	0,255	0,95	0,379	0,588	1,11	0,69
a	1,291	2,584	1,461	1,8	3,036	1,994
b	0,034	0,204	0,391	0,208	0,188	0,150
k	2,947	1,092	1,079	1,334	1,535	3,389
r^2	0,74	0,98	0,96	0,93	0,95	0,88

Заключение

Восстановление пропущенных значений взвешенных наносов на реках Ясельда и Лесная выполнено с использованием регрессионных моделей, основанных на связи между расходами наносов. В частности, уравнение регрессии позволило определить недостающие значения для р. Ясельды в створе Сенин.

Анализ многолетних рядов показал наличие характерных пиков расхода наносов в 1988, 1998, 2009 и 2012 годах, а также наличие пиков у р. Лесной (например, 1994 и 2010 годы), что свидетельствует о сложных гидрологических процессах и возможных влияниях природных или антропогенных факторов.

В целом выбранные методы позволяют достаточно точно восстанавливать пропущенные значения и анализировать динамику взвешенных наносов на исследуемых реках. Тем не менее для повышения точности рекомендуется использовать комплексный подход с учетом дополнительных факторов и более обширных данных.

Список цитированных источников

- Волчек, А. А. Современные изменения твердого стока наносов на реках Беларуси / А. А. Волчек, И. Н. Розумец // Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы эффективного и комплексного использования водных ресурсов», приуроченной ко Всемирному дню водных ресурсов (Минск, 22–24 марта 2023 г.) / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды, РУП «ЦНИИКИВР»; редкол.: О. В. Ковзунова (отв. ред.) [и др.]. – Минск: Национальная библиотека Беларуси, 2023. – С. 51–54.

- Розумец, И. Н. Пространственно-временные колебания речных наносов на территории Беларуси / А. А. Волчек, И. Н. Розумец // V Международная научно-практическая конференция (Гомель, 25–26 мая 2023 года): сборник материалов / М-во образования Республики Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины, Воронежский гос. ун-т, Гомельский обл. отдел обществ. об-ния «Белорусское геогр. о-во», Рос. центр науки и культуры в Гомеле; редкол.: А. И. Павловский (гл. ред.) [и др.]. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2023. – С. 65–68.
- Розумец, И. Н. Сезонная изменчивость расхода воды и мутности рек / А. А. Волчек, И. Н. Розумец // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания. ICER – 2023: сборник научных статей Международной научно-практической конференции «Водохозяйственное строительство и охрана окружающей среды», посвященной памяти доцента кафедры природообустройства, кандидата географических наук, доцента Шлока Ирины Николаевны, Брест, 16–17 октября 2023 г. / Министерство образования Республики Беларусь, Брестский государственный технический университет; под ред. А. А. Волчека [и др.]. – Брест: БрГТУ, 2023. – С. 30–38.
- Экологические проблемы, вызванные добычей нерудных строительных материалов из русел рек / А. А. Волчек, С. И. Парфомук, Н. Н. Шешко [и др.] // Вестник БрГТУ. – 2023. – № 1 (130). – С. 113–117.
- Гидроэкологическое обоснование добычи нерудных строительных материалов в русле р. Припять участок н.п. Качановичи / А. А. Волчек [и др.] // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2023. – № 1. – С. 111–122.

6. Материалы I Белорусского географического конгресса: к 90-летию факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета и 70-летию Белорусского географического общества, Минск, 8–13 апр. 2024 г. : в 7 ч. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: Е. Г. Кольмакова (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2024. – Ч. 1. Современные проблемы гидрометеорологии. – С. 71–75.
 7. Караушев, А. Н. Речная гидравлика / А. Н. Караушев. – Л. : Гидрометеиздат, 1969. – 416 с.
 8. Караушев, А. Н. Теория и методы расчета речных наносов / А. Н. Караушев. – Л. : Гидрометеиздат, 1977. – 272 с.
 9. Маккавеев, Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне / Н. И. Маккавеев. – М. : Изд-во АН СССР, 1955. – 355 с.
 10. Чалов, Р. С. Русловедение: теория, география, практика / Р. С. Чалов. – М. : Изд-во ЛКИ, 2008. – Т. 1. – 608 с.
 11. Ресурсы поверхностных вод СССР. Белоруссия и Верхнее Поднепровье. – Л. : Гидрометеиздат, 1966. – Т. 5, ч. 1. – 718 с.
 12. Ковязина, И. А. Факторы формирования стока взвешенных наносов рек и методы его количественной оценки / И. А. Ковязина, Д. С. Баяндина // Развитие географических исследований в Беларуси в XX–XXI веках : материалы Междунар. науч.-практ. оч.-заоч. конф., посвящ. 100-летию Белорус. гос. ун-та, 60-летию каф. физ. географии и образоват. технологий, 100-летию со дня рождения проф. О. Ф. Якушко, Минск, 24–26 марта 2021 г. / Белорус. гос. ун-т ; под общ. ред. П. С. Лопуха ; редкол.: П. С. Лопух (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2021. – С. 478–483.
 13. Тананаев, Н. И. Использование регрессионного анализа в расчетах стока взвешенных наносов: особенности метода / Н. И. Тананаев // Водные ресурсы. – 2013. – Т. 40, № 6. – С. 557–557.
 14. Лопатин, Г. В. Наносы рек СССР / Г. В. Лопатин. – М. : Географиз, 1952. – 365 с.
 15. Asselman, N. Fitting and interpretation of sediment rating curves / N. Asselman // J. Hydrol. – 2000. – Vol. 234. – P. 228–248.
 16. Nash, D. B. Effective sediment-transporting discharge from magnitude frequency analysis / D. B. Nash // J. Geol. – 1994. – Vol. 102. – P. 79–95.
 17. Ковалевич, О. Г. Методы расчета нормы стока взвешенных наносов / О. Г. Ковалевич // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана : матер. Междунар. науч.-практ. конф. Владивосток, 2010. – Ч. 1. – С. 139–141.
 18. Волчек, А. А. Пакет прикладных программ для определения расчетных характеристик речного стока // А. А. Волчек, С. И. Парфомук / Веснік Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Сэрыя прыродазнаўчых навук. – 2009. – № 1. – С. 22–30.
 19. Статистические методы в природопользовании / В. Е. Валуев, А. А. Волчек, П. С. Пойта, П. В. Шведовский. – Брест : Изд-во Брестского политехнического института, 1999. – 252 с.
 20. Волчек, А. А. Учет разовых гидрометрических измерений при определении основных гидрологических характеристик и параметров русла / А. А. Волчек, Н. Н. Шешко // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Водохозяйственное строительство и теплотехника. – 2011. – № 2 (68). – С. 7–13.
- References**
1. Volchek, A. A. Sovremennye izmeneniya tverdogo stoka nanosov na reках Belarusi / A. A. Volchek, I. N. Rozumec // Sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Aktual'nye voprosy effektivnogo i kompleksnogo ispol'zovaniya vodnyh resursov», priurochennoj ko Vsemirnomu dnyu vodnyh resursov (Minsk, 22–24 marta 2023 g.) / Ministerstvo prirodnyh resursov i ohrany okruzhayushchej sredy, RUP «CNIIKIVR» ; redkol.: O. V. Kovzunova (otv. red.) [i dr.]. – Minsk : Nacional'naya biblioteka Belarusi, 2023. – S. 51–54.
 2. Rozumec, I. N. Prostranstvenno-vremennye kolebaniya rechnyh nanosov na territorii Belarusi / A. A. Volchek, I. N. Rozumec // V Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya (Gomel', 25–26 maya 2023 goda) : sbornik materialov / M-vo obrazovaniya Respubliki Belarus', Gomel'skij gos. un-t im. F. Skoriny, Voronezhskij gos. un-t, Gomel'skij obl. otdel obshchestv. ob-niya «Belorusskoe geogr. o-vo», Ros. centr nauki i kul'tury v Gomele ; redkol. : A. I. Pavlovskij (gl. red.) [i dr.]. – Gomel' : GGU im. F. Skoriny, 2023. – S. 65–68.
 3. Rozumec, I. N. Sezonnaya izmenchivost' raskhoda vody i mutnosti rek / A. A. Volchek, I. N. Rozumec // Aktual'nye nauchno-tehnicheskie i ekologicheskie problemy sohraneniya sredy obitaniya. ICEP – 2023 : sbornik nauchnyh statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Vodohozyajstvennoe stroitel'stvo i ohrana okruzhayushchej sredy», posvyashchennoj pamyati docenta kafedry prirodoobustrojstva, kandidata geograficheskikh nauk, docenta SHpoka Iriny Nikolaevny, Brest, 16–17 oktyabrya 2023 g. / Ministerstvo obrazovaniya Respubliki Belarus', Brestskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet ; pod red. A. A. Volcheka [i dr.]. – Brest : BrGTU, 2023. – S. 30–38.
 4. Ekologicheskie problemy, vyzvannye dobychej nerudnyh stroitel'nyh materialov iz rusel rek / A. A. Volchek, S. I. Parfomuk, N. N. SHeshko [i dr.] // Vestnik BrGTU. – 2023. – № 1 (130). – S. 113–117.
 5. Hidroekologicheskoe obosnovanie dobychi nerudnyh stroitel'nyh materialov v rusle r. Pripyat' uchastok n. p. Kachanovichy / A. A. Volchek [i dr.] // Vesnik Bresckaga yuniversiteta. Seryya 5. Biyalogiya. Navuki ab zyamli. – 2023. – № 1. – S. 111–122.
 6. Materialy I Belorusskogo geograficheskogo kongressa: k 90-letiyu fakul'teta geografii i geoinformatiki Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta i 70-letiyu Belorusskogo geograficheskogo obshchestva, Minsk, 8–13 apr. 2024 g. : v 7 ch. / Belorus. gos. un-t ; redkol.: E. G. Kol'makova (gl. red.) [i dr.]. – Minsk : BGU, 2024. – CH. 1. Sovremennye problemy gidrometeorologii. – S. 71–75.
 7. Karaushev, A. N. Rechnaya gidravlika / A. N. Karaushev. – L. : Gidrometeoizdat, 1969. – 416 s.
 8. Karaushev, A. N. Teoriya i metody rascheta rechnyh nanosov / A. N. Karaushev. – L. : Gidrometeoizdat, 1977. – 272 s.
 9. Makkaev, N. I. Ruslo reki i eroziya v ee bassejne / N. I. Makkaev. – M. : Izd-vo AN SSSR, 1955. – 355 s.
 10. CHalov, R. S. Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika / R. S. CHalov. – M. : Izd-vo LKI, 2008. – T. 1. – 608 s.
 11. Resursy poverhnostnyh vod SSSR. Belorussiya i Verhnee Podneprov'e. – L. : Gidrometeoizdat, 1966. – T. 5, ch. 1. – 718 s.
 12. Kovyazina, I. A. Faktory formirovaniya stoka vzveshennyh nanosov rek i metody ego kolichestvennoj ocenki / I. A. Kovyazina, D. S. Bayandina // Razvitie geograficheskikh issledovaniy v Belarusi v XX–XXI vekah : materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. och.-zaoch. konf., posvyashch. 100-letiyu Belorus. gos. un-ta, 60-letiyu kaf. fiz. geografii i obrazovat. tekhnologii, 100-letiyu so dnya rozhdeniya prof. O. F. YAkushko, Minsk, 24–26 marta 2021 g. / Belorus. gos. un-t ; pod obshch. red. P. S. Lopuha ; redkol.: P. S. Lopuh (gl. red.) [i dr.]. – Minsk : BGU, 2021. – S. 478–483.
 13. Tananaev, N. I. Ispol'zovanie regressionnogo analiza v raschetah stoka vzveshennyh nanosov: osobennosti metoda / N. I. Tananaev // Vodnye resursy. – 2013. – T. 40, № 6. – S. 557–557.
 14. Lopatin, G. V. Nanosy rek SSSR / G. V. Lopatin. – M. : Geografiz, 1952. – 365 s.
 15. Asselman, N. Fitting and interpretation of sediment rating curves / N. Asselman // J. Hydrol. – 2000. – Vol. 234. – P. 228–248.
 16. Nash, D. B. Effective sediment-transporting discharge from magnitude frequency analysis / D. B. Nash // J. Geol. – 1994. – Vol. 102. – P. 79–95.
 17. Kovalevich, O. G. Metody rascheta normy stoka vzveshennyh nanosov / O. G. Kovalevich // Aktual'nye problemy osvoeniya biologicheskikh resursov Mirovogo okeana : mater. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Vladivostok, 2010. – CH. 1. – S. 139–141.
 18. Volchek, A. A. Paket prikladnyh programm dlya opredeleniya raschetnyh harakteristik rechnogo stoka // A. A. Volchek, S. I. Parfomuk / Vesnik Paleskaga dzhzyarzhaynaga universiteta. Seryya pryrodaznaychykh navuk. – 2009. – № 1. – S. 22–30.
 19. Statisticheskie metody v prirodopol'zovanii / V. E. Valuev, A. A. Volchek, P. S. Poyta, P. V. SHvedovskij. – Brest : Izd-vo Brestskogo politekhnicheskogo instituta, 1999. – 252 s.
 20. Volchek, A. A. Uchet razovyh gidrometricheskikh izmerenij pri opredelenii osnovnyh gidrologicheskikh harakteristik i parametrov rusla / A. A. Volchek, N. N. SHeshko // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Vodohozyajstvennoe stroitel'stvo i teplotekhnika. – 2011. – № 2 (68). – S. 7–13.

Материал поступил 18.06.2025, одобрен 25.06.2025, принят к публикации 26.06.2025