

УДК 556.555.6

## ОЦЕНКА СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ РЕК БЕЛАРУСИ ПРИ ОТСУТСТВИИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

**А. А. Волчек, И. Н. Розумец**

*Брестский государственный технический университет, ул. Московская, 267, 224017,  
г. Брест, Беларусь, [volchak@tut.by](mailto:volchak@tut.by), [ivan.rozumets@bk.ru](mailto:ivan.rozumets@bk.ru)*

В работе представлены эмпирические нелинейного регрессионного модели для определения мутности воды на малых реках Беларуси при отсутствии данных наблюдений. Построенная карта мутности воды малых рек Беларуси.

**Ключевые слова:** сток взвешенных наносов; мутность воды; регрессионный анализ; твердый сток.

## ASSESSMENT OF SUSPENDED SEDIMENT RUNOFF IN RIVERS OF BELARUS IN THE ABSENCE OF OBSERVATION DATA

**A. A. Volchek, I. N. Rozumets**

*Brest State Technical University, st. Moskovskaya, 267, 224017, Brest, Belarus,  
[volchak@tut.by](mailto:volchak@tut.by), [ivan.rozumets@bk.ru](mailto:ivan.rozumets@bk.ru)*

The paper presents empirical nonlinear regression models for determining water turbidity on small rivers of Belarus in the absence of research data. Constructed map of water turbidity in small rivers of Belarus.

**Keywords:** suspended sediment runoff; water turbidity; regression analysis; solid runoff.

*Введение.* Речные наносы формируются в русле реки и ее пойме и являются неотъемлемой составляющей характеристикой любой речной экосистемы. Помимо экологической роли, речные наносы широко используются в строительстве как нерудные строительные материалы. Поэтому количественные и качественные характеристики наносов необходимы для решения теоретических и практических задач. Карта распределения мутности воды по территории Беларуси опубликованная в 60-х гг. XX столетия [1], имеет две градации и в неполной мере отражает реальную картину.

В настоящее время измерения наносов на реках Беларуси существенно сокращены и недостаточны для объективной оценки режима

стока наносов [2]. Поэтому в ряде случаев приходится прибегать к расчетным методам, от корректности выбора метода расчета зависит точность полученных результатов.

Целью настоящего исследования является адаптация методов регрессионного анализа к расчетам стока наносов на реках Беларуси.

*Методы исследования и исходные данные.* В настоящее время наблюдения за стоком наносов производится на 11 гидропостах 9 рек Беларуси. На 4 гидропостах наблюдение началось с 2018 г., поэтому включать данные реки в оценку не целесообразно. На р. Добысна наблюдения ведутся только в теплый период, что не позволяет полноценно оценить сток взвешенных наносов.

Расход наносов ( $R$  кг/с) переносимых рекой через поперечное сечение может быть определен по формуле [3]:

$$R=C \cdot Q \cdot 10^{-3},$$

где  $C$  – мутность воды, г/м<sup>3</sup>,  $Q$  – расход воды, м<sup>3</sup>/с

Анализ моделей расчета мутности воды на равнинных реках, показал, что допустимо использование регрессионных моделей [4]. В силу того, что мутность воды хорошо коррелирует с расходами воды и носит нелинейный характер, использована нелинейная регрессионная модель степенного вида [4]:

$$C = aQ^b + \delta,$$

где  $a$  и  $b$  – параметры подгонки,  $\delta$  – нормально распределенная случайная ошибка.

*Результаты и обсуждение.* Мутность воды рек значительно меняется по живому сечению потока, по его длине и во времени. Распределение мутности по живому сечению носит сложный и в значительной мере беспорядочный характер. Как правило, мутность возрастает от поверхности ко дну. Это происходит главным образом за счет крупных фракций наносов, увеличивающихся ко дну. Мелкие же фракции обычно распределяются довольно равномерно по глубине потока. По этой причине, чем больше в составе наносов крупных фракций, тем неравномернее они распределены по глубине. С увеличением турбулентности потока распределение взвешенных наносов по вертикали становится более равномерным. Сказанное справедливо только как самая общая схема. В действительности все сложнее: схема нарушается под влиянием возникающих водоворотов и циркуляционных течений.

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.

По данным наблюдений за мутностью и расход воды методом наименьших квадратов подобраны коэффициенты регрессии для эмпирических моделей по исследуемым рекам (табл. 1).

Таблица 1

**Параметры подгонки нелинейной регрессионной модели (2)**

Река - створ	Параметр		
	$a$	$b$	$r^2$
р. Виляя – г. Вилейка	0,96	0,67	0,78
р. Виляя – с. Стешицы	3,68	0,13	0,74
р. Полота – с. Янково 1-е	6,32	0,01	0,40
р. Лесная – с. Тюхиничи	4,47	0,05	0,74
р. Ясельда – с. Сенин	5,09	0,12	0,80
Объединенный ряд	10,18	0,13	0,62

Для расширения зоны действия модели выполнено пространственно-временное объединение имеющихся данных в один квазивременной ряд.

Проверка адекватности полученных моделей по отдельным створам показала хорошую сходимость рассчитанных и измеренных величин (табл. 2).

Таблица 2

**Сравнительная оценка измеренной и рассчитанной мутности воды, г/м<sup>3</sup>**

Река – створ	$C$	$C_R$	$\Delta C_R, \%$
р. Виляя – г. Вилейка	7,26	7,36	1,4
р. Виляя – с. Стешицы	4,49	4,78	6,1
р. Лесная – с. Тюхиничи	4,91	4,96	0,3
р. Ясельда – с. Сенин	5,68	5,71	0,5
р. Полота – с. Янково 1-е	6,21	6,95	11,9

Регрессионные модели, полученные по среднемесячным измеренным значениям мутности и расхода воды, можно использовать только для расчета значений мутности воды месячного осреднения. Замену в уравне-

нии расхода воды иными переменными необходимо дополнительно обосновывать, так как расход воды является наилучшим вариантом для прогнозирования мутности.

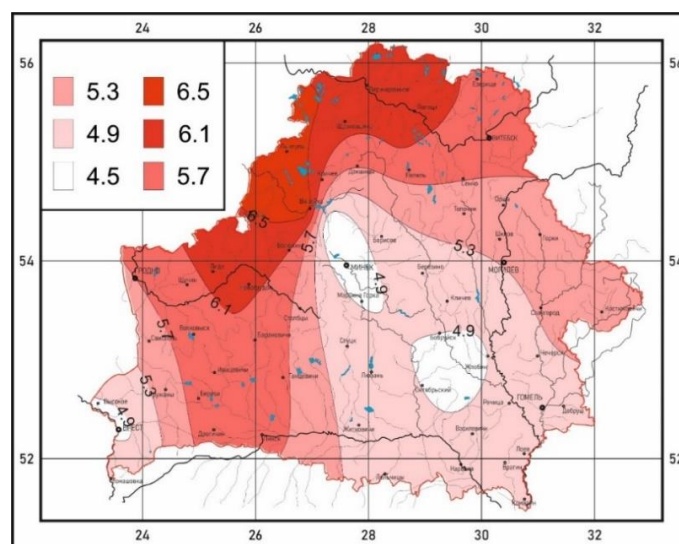
Таблица 3

Значения измеренных и рассчитанных величин мутности воды, г/м<sup>3</sup>

Год	р. Виляя – г. Вилейка		
	$C$	$C_R$	$\Delta C_R, \%$
1990	10,40	8,69	-16,5
1995	10,08	6,36	-36,9
2000	5,38	5,62	4,4
2005	6,11	7,87	28,9
2010	7,43	10,10	36,1
2015	5,55	5,75	3,5

Погрешность определения среднегодовых значений мутности воды за отдельные годы колеблется в широком диапазоне от -36,9 % до 36,1 %. Поэтому использовать данные модели для определения мутности воды рек за отдельные годы нужно с большой осторожностью.

С использованием приведенной методики построена пространственная структура распределения мутности воды за период 1990-2021 гг. (рис.). Значения среднегодовой мутности приведены в г/м<sup>3</sup> [2, 5].



Карта среднегодовой мутности малых рек Беларуси (1990 – 2021гг.), г/м<sup>3</sup>

**Выводы.** Предложена эмпирическая модель определения мутности воды малых рек Беларуси при отсутствии данных наблюдений. Контроль рассчитанных значений может осуществляться по приведенной в работе

карте распределения мутности воды малых рек Беларуси за период осреднения 1990-2021 гг.

### Библиографические ссылки

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Л.: Гидрометеиздат. Т. 5. ч. I. 1966. 718 с.; – ч. II. 1966. 621 с.
2. Волчек, А. А., Розумец, И. Н. Современные изменения твердого стока наносов на реках Беларуси / 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» ; [отв. ред. О. В. Ковзунова]. Минск : Национальная библиотека Беларуси, 2023. С. 21-24.
3. Волчек А. А., Шведовский П. В., Волчек А. А., Шешко Н. Н. Гидравлика, гидрология и гидрометрия в дорожном строительстве : учебное пособие / Под ред. А. А. Волчека. Минск : РИВШ, 2020. 420 с.
4. Тананаев Н. И. Использование регрессионного анализа в расчетах стока взвешенных наносов: особенности метода // Водные ресурсы. 2013. Т.40. №6. С.557- 57.
5. Волчек А. А., Розумец И. Н. Пространственно-временные колебания речных наносов на территории Беларуси / Сборник материалов V международной научно-практической конференции «Географические аспекты устойчивого развития регионов», (Гомель, 25-26 мая 2023 года) / 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 ; [отв. ред. А. И. Павловский]. Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2023. С. 65-69.