

# Гидрохимическая оценка трансграничных рек (на примере пограничной реки Нарвы)\*

Т. М. Потапова<sup>1</sup>, О. В. Задонская<sup>2</sup>, Т. В. Паршина<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет,  
Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

<sup>2</sup> Государственный гидрологический институт,  
Российская Федерация, 199004, Санкт-Петербург, 2-я линия В. О., 23

**Для цитирования:** Потапова, Т. М., Задонская, О. В., Паршина, Т. В. (2023). Гидрохимическая оценка трансграничных рек (на примере пограничной реки Нарвы). *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*, 68 (1), 136–152.  
<https://doi.org/10.21638/spbu07.2023.108>

Цель исследования — установление закономерностей формирования биогенного режима р. Нарвы. На основе экспериментальных данных по определению расходов и концентраций химических элементов за многолетний период наблюдений с 1992 по 2019 г. выявлен тренд уменьшения содержаний биогенных элементов за последние 14 лет, что является следствием снижения антропогенной нагрузки за счет реконструкции очистных сооружений на эстонской и российской стороне. Анализ внутригодового изменения содержаний биогенных элементов показал устойчивый рост содержания соединений азота в период половодья при максимальном водном стоке и увеличении содержания фосфора в поздний летний и осенний периоды. Это указывает на значительное влияние вод Чудско-Псковского озера и Нарвского водохранилища, определяющих внутриводоемные процессы, усиливающиеся в конце вегетационного периода. Рассчитанные значения показателей стока на основе экспериментальных данных среднегодовых расходов воды и ежемесячных определений концентраций минеральных, биогенных и органических веществ за период с 1992 по 2019 г. составляют: ионный сток 43.1 т/км<sup>2</sup>, валовый фосфор 9.8 кг/км<sup>2</sup>, валовый азот 142 кг/км<sup>2</sup>, органические вещества 2.75 т/км<sup>2</sup>, что соответствует фоновым значениям показателей стока Балтийского региона. Важно отметить, что за период с 1993 по 2006 г. значительно более высокие показатели стока для фосфора фосфатов и азота нитратов соответствовали литературным данным показателей стока с мелиорированных сельскохозяйственных районов, что также указывает на значительное снижение биогенной нагрузки на р. Нарву в последнее десятилетие, с 2006 по 2019 г.

*Ключевые слова:* сток растворенных веществ, биогенные и органические вещества, микроэлементы.

## 1. Вступление

К первым наиболее полным гидролого-гидрохимическим исследованиям бассейна р. Нарвы относится обзорная монография (Ресурсы..., 1970). Обобщение было выполнено за период с 1940 по 1965 г., оно позволило рассматривать приве-

---

\* Работа выполнена при поддержке проекта ER 25 NarvaWatMan “Water Management of the Narva River: harmonization and sustention” (2020) («Управление водными ресурсами р. Нарвы: гармонизация и устойчивость») в рамках Программы приграничного сотрудничества России и Эстонии на период с 2014 по 2020 год.



Рис. 1. Схема расположения гидрохимических постов наблюдений на реке Нарве (создана на основе карт: <https://yandex.ru/maps>)

денные гидрохимические данные как фоновые. В современный период в литературе большой интерес вызывают проблемы оценки качества трансграничных речных вод, что отражено в статьях (Jakob, 1997; Hannerz et al., 2002; Roll et al., 2003; Фрумин и Фетисова, 2017; Юхно и Задонская, 2020; Кондратьев и др., 2021). По данным российского государственного мониторинга, на основе УКИЗВ за период наблюдений с 2003 по 2020 г. вода в устье р. Нарвы оценивается как «слабо загрязненная» (2-й класс качества). Наиболее подробная информация о нагрузке и источниках загрязняющих веществ, а также объемах их поступления в русловую сеть, рассчитанные отдельно для российской и эстонской сторон, представлена в работе (Схема комплексного использования..., 2014). В настоящей статье предпринята попытка обобщить гидрохимические данные совместного мониторинга России и Эстонии, проводившегося на различных створах р. Нарвы: в истоке реки — с эстонской стороны р. Нарва — д. Васкнарва, в 76 км от устья; в устье — в 6.8 км выше устья (эстонский гидрологический створ — р. Нарва — г. Нарва; российский — р. Нарва — ниже о. Петровский) (рис. 1).

При этом основной задачей исследования было установить пространственно-временные закономерности изменения химического состава воды с целью оценки экологического состояния реки под воздействием природных и антропогенных факторов. Пространственные изменения химического состава воды р. Нарвы

рассмотрены на основе сравнения гидрохимических показателей в истоке и устье реки, а также анализа гидрологических данных по длине и ширине реки, полученных при полевых работах.

## 2. Объекты исследования и исходные материалы

Основным объектом исследования являлась р. Нарва, большая часть бассейна которой расположена на территории Ленинградской и Псковской областей, а также захватывает восточную часть Эстонии. Река Нарва вытекает из Чудско-Псковского озера у д. Васкнарва и впадает в Нарвский залив у пос. Нарва-Йыэсуу. Длина реки — 77 км, среднегодовой расход воды — 396 м<sup>3</sup>/с, средняя скорость течения — 0.54 м/с, ширина реки — 179 м, средняя глубина — 5.6 м, площадь водосбора составляет 56 200 км<sup>2</sup>, в которой значительная часть (37 %) занята лугами и пашнями при лесистости и заболоченности от 20 до 35 % (Ресурсы..., 1970). Сток р. Нарвы зарегулирован в верхнем течении Чудско-Псковским озером, в нижнем — Нарвским водохранилищем. Сельскохозяйственное освоение преимущественно развито на эстонской части водосборной территории, что сказывается на биогенном составе (соединениях азота и фосфора) воды реки, дренирующих эту территорию. Немаловажной частью антропогенного воздействия на качество воды в р. Нарве составляет и многоотраслевая промышленность (химическая, горнодобывающая, строительных материалов), сконцентрированная в Сланцевском районе Ленинградской области. Сброс условно чистых, ливневых и шахтных сточных вод ОАО «Завод Сланцы» осуществляется в р. Нарву через ее приток — р. Плюссу (в 14 км от ее устья). Важными водопользователями являются водоканалы городов Нарва и Ивангород, сбросы сточных вод с которых осуществляются в нижнем течении р. Нарвы (10–12 км от устья). В водосборный бассейн р. Нарвы в 2018 г. с российской стороны поступило 10.9 млн м<sup>3</sup>/год очищенных сточных вод, с эстонской — 10.7 млн м<sup>3</sup>/год<sup>1</sup>. При этом в устьевую часть реки (ниже Нарвской ГЭС) от точечных источников с российской и эстонской стороны поступило 0.78 и 73.7 т валового азота и 1.04 и 1.40 т валового фосфора соответственно.

Исходными материалами являлись данные гидрохимического мониторинга эстонского Министерства окружающей среды по двум створам в истоке (р. Нарва — д. Васкнарва, в 76 км от устья) и в устье (р. Нарва — г. Нарва, в 7 км от устья), полученные в рамках обмена информацией в проекте NarvaWatMan.

## 3. Методика исследований

### 3.1. Выбор объектов исследования

Выбор наиболее репрезентативных створов был основан на предварительных полевых исследованиях распределения скоростей течения и концентраций биогенных веществ в поперечном сечении р. Нарвы в устьевой зоне, выполненных в рам-

---

<sup>1</sup> Сводный доклад о водохозяйственной обстановке и эффективности проведенных водохозяйственных мероприятий в бассейне реки Нарвы, включая Чудско-Псковское озеро в 2018 г. (2019). Доклад не печатался, был роздан членам Российско-Эстонской комиссии в бумажном виде как приложение к протоколу.

ках проекта NarvaWatMan. Как показали измерения по трем вертикалям на линии, соединяющей точки с наибольшей поверхностной скоростью течения в потоке, наиболее полное перемешивание воды установлено для части реки у левого эстонского берега, т. е. на двух выбранных створах в истоке (г/с р. Нарва — д. Васкарнава) и в устьевой области (г/с р. Нарва — г. Нарва). Отбор проб на химический анализ в этих двух створах проводился с 1992 по 2019 г. ежемесячно, и полученные гидрохимические данные были взяты за основу нашего исследования.

Статистическая оценка среднемноголетних значений основных показателей химического состава воды в створах истока и устья р. Нарвы не выявила значительных изменений химического состава вод реки по ее длине при некотором увеличении отдельных показателей в устьевой области. В связи с этим в настоящей статье рассмотрение гидрохимического состояния реки проводилось на основе анализа и обобщения данных проб, отобранных в устьевой области р. Нарвы (г/с р. Нарва — г. Нарва, в 7 км от устья) и в истоке реки (г/с р. Нарва — д. Васкарнава, в 76 км от устья).

### **3.2. Выбор приоритетных показателей качества воды**

Важной задачей разработки методики анализа являлась унификация данных химического анализа, выполненных различными методами в российских и эстонских лабораториях. Так, в Росгидромете при определении ХПК был использован метод бихроматной окисляемости (ХПК), в эстонской — перманганатной (ХПК<sub>Мп</sub>), азот общий в Эстонии определялся как валовый в нефилтрованной пробе, в России — как растворенный, в филтрованной пробе. Воды р. Нарвы по российским и эстонским оценкам характеризуются как достаточно чистые, в связи с этим было проведено сопоставление среднемноголетних значений основных показателей химического состава вод р. Нарвы за период с 1993 по 2020 г., принятых за фоновые, с общепринятыми в России рыбохозяйственными ПДКвр<sup>2</sup> (табл. 1).

Как свидетельствуют данные табл. 1, для вод р. Нарвы фоновые содержания большинства тяжелых металлов выше ПДКвр<sup>3</sup>. Анализ данных за многолетний период наблюдений с 1992 по 2019 г. не выявил техногенного загрязнения тяжелыми металлами (Zn, Cd, Pb и нефтепродуктами). Повышенные содержания меди, железа и марганца, по нашему мнению, обусловлены ландшафтными геохимическими особенностями водосборной территории и не относятся к техногенным загрязняющим веществам (Никаноров, 2011).

В связи с тем, что основной экологической проблемой современной гидрохимии является усиление процессов эвтрофирования водоемов, через которые она протекает (Чудско-Псковское озеро и Нарвское водохранилище) (Тимм и др., 2012), важной методической частью работы явился выбор наиболее приоритетных показателей, в наибольшей степени отражающих органическую нагрузку. Экологически наиболее значимыми показателями качества воды были приняты: рН, содержание

---

<sup>2</sup> Приказ Минсельхоз России от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». № 45203. М.: Минюст России, 2017.

<sup>3</sup> Там же.

Таблица 1. Сопоставление фоновых значений гидрохимических показателей р. Нарвы за период с 1992 по 2019 г. с ПДКвр

Показатель	Река Нарва	ПДКвр
Кислород, мг/дм <sup>3</sup>	8.9	6.0
М, мг/дм <sup>3</sup>	200	1000
ПО, мгО/дм <sup>3</sup>	12.7	7.5*
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	1.7	2.1
Азот валовый, мг/дм <sup>3</sup>	0.66	–
Азот аммонийный, мг/дм <sup>3</sup>	0.06	0.40
Азот нитратный, мг/дм <sup>3</sup>	0.15	9.0
Фосфор валовый, мг/дм <sup>3</sup>	0.042	–
Фосфор фосфатный, мг/дм <sup>3</sup>	0.025	0.2**
Железо общее, мг/дм <sup>3</sup>	0.20	0.1
Марганец, мг/дм <sup>3</sup>	0.05	0.01
Медь, мг/дм <sup>3</sup>	0.003	0.001
Цинк, мг/дм <sup>3</sup>	0.01	0.01
Кадмий, мкг/дм <sup>3</sup>	0.03	6
Свинец, мкг/дм <sup>3</sup>	0.87	6
Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>	0.02	0.05

*Примечание.* М — минерализация воды, рассчитанная по величине электропроводности; ПО — перманганатная окисляемость, мгО/л.

\* Санитарно-гигиенические ПДК (СанПин1.2.3685-21). Доступно на: <https://fsvps.gov.ru/sites/default/files/npra-files/2021/01/28/sanpin1.2.3685-21.pdf>. С. 501–635.

\*\* Значение границы эвтрофных водоемов.

растворенного кислорода в летний и зимний периоды, биохимическое потребление кислорода (БПК<sub>5</sub>), содержание органических веществ по величине перманганатной окисляемости, а также содержание всех форм соединений азота и фосфора: валового азота, аммонийного и нитратного азота, валового фосфора и фосфора фосфатов. Эти показатели были включены в расчет обобщенного индекса качества воды по канадской методике (ССМЕ Water, 2017), значительно усовершенствованной применительно к изучаемому бассейну. В связи с тем, что обобщенные индексы биогенной нагрузки дают информацию в целом об органической нагрузке исследуемого бассейна, не вскрывая механизм развития процессов эвтрофирования в реке, авторы статьи разработали методические подходы, позволяющие установить закономерности межгодовых и внутригодовых изменений гидрохимического состояния реки в зависимости от водного режима.

В основу этих подходов были положены построения хемографов (графиков зависимости концентраций от расходов воды) для р. Нарвы за многолетний период наблюдений. Важной частью методики стали расчеты стока биогенных элементов в разные гидрологические фазы водности и за разные периоды наблюдений. Рас-

четы сезонного и годового стока биогенных веществ проводились в соответствии с общепринятой в гидрохимии методикой (Никаноров, 2001) по следующим формулам:

$$R = Q \cdot C \cdot n / 10^6 \text{ (т)}, \quad (1)$$

где  $Q$  — среднегодовой расход воды, м<sup>3</sup>/с;  $C$  — среднегодовая (среднеарифметическое значение) концентрация вещества, г/м<sup>3</sup>;  $n$  — число секунд в году;

$$R = Q_1 \cdot C_1 \cdot n / 10^6 \text{ (т)}, \quad (2)$$

где  $Q_1$  — среднемесячный расход воды, м<sup>3</sup>/с;  $C_1$  — среднемесячная (среднеарифметическое значение) концентрация вещества, г/м<sup>3</sup>;  $n$  — число секунд в месяц.

Показатель годового стока вещества, т/км<sup>2</sup>, определялся выражением

$$F = R/S, \quad (3)$$

где  $S$  — площадь водосбора, км<sup>2</sup>.

Установленные значения показателей сезонного и годового стока биогенных элементов позволяют определить их изменения в маловодные и многоводные годы и прогнозировать направленность процессов эвтрофирования реки в будущем. При этих расчетах не учитывались поступления веществ из атмосферы и донных отложений.

#### 4. Результаты и их обсуждение

Согласно общей характеристике фоновых значений, представленной в монографии (Ресурсы..., 1970), воды р. Нарвы относятся к нейтральным и слабощелочным (рН=7.1–8.2), очень мягким (менее 2° жесткости), маломинерализованным (160–190 мг/дм<sup>3</sup>) при максимуме минерализации в зимний период. По ионному составу воды относятся к гидрокарбонатно-кальциевым с невысоким содержанием органического углерода (перманганатная окисляемость от 7 до 13 мгО/дм<sup>3</sup>) во все гидрологические фазы водности. Современная оценка, представленная в нашей статье, указывает на близость основных гидрохимических показателей к региональным фоновым значениям (Найденова, 1971), что свидетельствует об относительной устойчивости гидрохимического фона р. Нарвы (табл. 2). Современная оценка с применением индекса биогенных показателей составляет 81–91 (2011–2020), что соответствует классу состояния «хорошее» и «очень хорошее». В более ранние годы (2001–2010) состояние воды характеризовалось как «среднее» и индексы колебались в пределах 71–80. С целью установления тенденций в изменении гидрохимических показателей р. Нарвы в многолетнем плане использован метод выделения равных временных интервалов и проведена статистическая оценка среднемноголетних содержаний компонентов, которая позволила установить увеличение или уменьшение приоритетных показателей в современный период (2006–2019) по сравнению с предшествующим (1992–2005).

Как следует из анализа табл. 2, в последние годы по сравнению с предыдущим периодом (1992–2005) происходит снижение содержаний биогенных элементов: валового фосфора — с 0.06 мг/дм<sup>3</sup> до 0.03 мг/дм<sup>3</sup>, минерального фосфора — с 0.03 мг/дм<sup>3</sup> до 0.018 мг/дм<sup>3</sup>, нитратного азота — с 0.20 мг/дм<sup>3</sup> до 0.15 мг/дм<sup>3</sup>. Аналогичные

изменения установлены и для загрязняющих веществ: уменьшение содержания тяжелых металлов (цинка, меди) — в 3–4 раза, нефтепродуктов — в 1.5 раза. Обращает на себя внимание тот факт, что, несмотря на улучшение экологической ситуации, в реке в последние годы наблюдается статистически значимое снижение содержания фосфатного и валового фосфора (на 30–50%), которые являются лимитирующими биогенными элементами, определяющими региональные процессы эвтрофирования; продолжается зарастание реки в устьевой зоне, выражающееся в увеличении содержания перманганатной окисляемости — до 14.6 мгО/дм<sup>3</sup> и хлорофилла — до 9.6 мг/дм<sup>3</sup>, что соответствует границе мезотрофного состояния водоемов.

Таблица 2. Статистическая оценка изменчивости основных гидрохимических показателей в устье р. Нарвы (г/с р. Нарва — г. Нарва, 7 км) за два периода наблюдений (1992–2005 и 2006–2019 гг.)

Компонент	1992–2005			2006–2019		
	С <sub>ср</sub>	СКО	С <sub>v</sub>	С <sub>ср</sub>	СКО	С <sub>v</sub>
pH	8.03	0.24	0.03	8.00	0.08	0.01
M, мг/дм <sup>3*</sup>	203	16.53	0.06	195	28.43	0.10
ПО, мгО/дм <sup>3**</sup>	10.9	2.25	0.21	14.6	1.68	0.11
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	–	–	–	1.74	0.17	0.10
N–NO <sub>3</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	0.20	0.08	0.40	0.15	0.04	0.27
N–N <sub>вал</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	0.62	0.15	0.24	0.69	0.13	0.19
P–PO <sub>4</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	0.03	0.008	0.33	0.018	0.009	0.50
P–P <sub>вал</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	0.06	0.01	0.17	0.03	0.01	0.33
Cu, мкг/дм <sup>3</sup>	19.2	15.54	0.81	4.1	4.91	1.18
Pb, мкг/дм <sup>3</sup>	3.3	4.73	1.42	0.87	1.62	1.86
Zn, мкг/дм <sup>3</sup>	12.1	9.86	0.81	5.3	4.76	0.89
Хлорофилл а, мг/дм <sup>3</sup>	3.2	4.09	1.04	9.6	3.56	0.53
Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>	0.03	0.014	0.49	0.02	0.012	0.67

Примечание. СКО — среднее квадратичное отклонение; С<sub>ср</sub> — среднее арифметическое значение; С<sub>v</sub> — коэффициент вариации среднего (пояснение к остальным сокращениям см. в примеч. к табл. 1).

Снижение содержания соединений фосфора за последние 10 лет подтверждается и графиками хода среднегодовых содержаний P<sub>вал</sub> и P–PO<sub>4</sub> в зависимости от водности года, представленных на рис. 2.

Как следует из анализа рис. 2, за последние 12 лет в сравнении с 1993–2008 гг. регистрируется устойчивое снижение (в 1.5–2 раза) содержания фосфора валового до 0.03 мг/дм<sup>3</sup> и фосфора фосфатов до 0.010 мг/дм<sup>3</sup>. Интересно отметить, что нет прямой зависимости содержания этих элементов от водности года: в многоводном 2017 г. при среднегодовом расходе воды 485 м<sup>3</sup>/с сохранялись средние значения фосфатов — 0.013 мг/дм<sup>3</sup>. Устойчивое снижение концентраций фосфора, очевидно, связано с проведением реконструкции на очистных сооружениях г. Нарвы (Эстония), позволившей значительно сократить содержание фосфора в сточных водах.

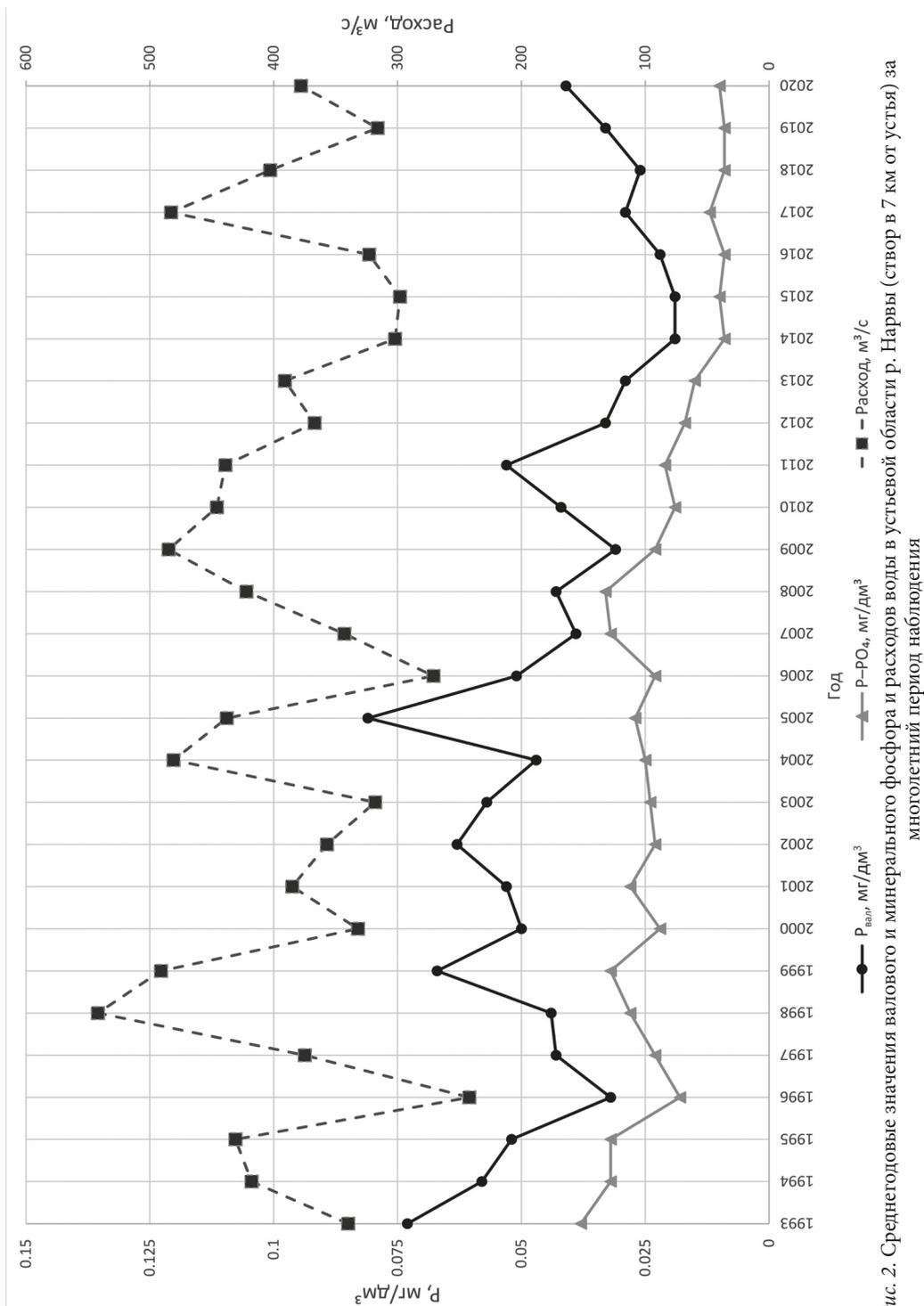


Рис. 2. Среднегодовые значения валового и минерального фосфора и расходов воды в устьевой области р. Нарвы (створ в 7 км от устья) за многолетний период наблюдения

Внутригодовые изменения основных компонентов химического состава воды (минерализации, перманганатной окисляемости, содержания биогенных элементов) определены на основе расчета среднемесячных концентраций за многолетний период (1993–2020) в устьевой области р. Нарвы. Репрезентативность установленных зависимостей определяется высоким числом членов в выборках (25–28 членов). Построенные совместные графики концентраций и расходов воды позволяют выявить особенности сезонных изменений приоритетных гидрохимических показателей реки за многолетний период наблюдений.

Анализ зависимости минерализации от расходов воды (рис. 3) позволяет отнести исследуемую реку к восточноевропейскому гидрохимическому типу, о чем свидетельствует достаточно четко выраженное совпадение времени наступления минимума минерализации с максимумом расходов воды по типу классификации (Алекин, 1970; Никаноров, 2001). Небольшая амплитуда колебаний минерализации (170–200 мг/дм<sup>3</sup>) свидетельствует о зарегулированности реки.

Ход содержания органического вещества (по величине перманганатной окисляемости) носит противоположный характер в сравнении с ходом минерализации. Максимальное значение ХПК (14.8 мгО/дм<sup>3</sup>) зарегистрировано при максимальном значении расходов в период половодья в апреле, минимальное (11.3 мгО/дм<sup>3</sup>) — в конце зимней межени.

Для внутригодового хода изменения содержания валового азота также характерно увеличение его содержания в период половодья при плавном снижении в летний период. Увеличение содержания ХПК и N<sub>вал</sub>, очевидно, свидетельствует о привнесении с водосбора органических и азотных соединений в период половодья (рис. 4 и 5).

Особенно важен внутригодовой ход изменения содержания валового фосфора как лимитирующего биогенного элемента, для которого характерно низкое содержание (0.031–0.045 мг/дм<sup>3</sup>) в течение всего периода с 1-го по 6-й месяц при значительном увеличении (до 0.053 мг/дм<sup>3</sup>) в поздний летний и осенний периоды, с 8-го по 11-й месяц, что указывает на значительную роль вод Чудско-Псковского озера и Нарвского водохранилища, в которых подобное внутригодовое распределение содержания фосфора определяется внутриводоемными процессами, в том числе и минерализацией органического вещества на дне водоемов. В этот период возможно и вторичное загрязнение — обратное поступление фосфатов со дна водоемов.

## 5. Сток растворенных веществ

Сток растворенных веществ зависит от растворимости слагающих водосборы рек пород, а также характеризует интенсивность процессов химической и физической эрозии в речных бассейнах (Алекин, 1974; Мальцева и др., 1987; Брызгалов и Иванов, 2009). Согласно литературным данным, показатели ионного стока для рек Северо-Запада (реки Луга, Западная Двина и др.) изменяются в интервале 20–30 т/км<sup>2</sup> (Никаноров, 2001). По результатам наших расчетов, показатели ионного стока составляют 35–41 т/км<sup>2</sup>, что характерно «для отдельных районов северо-западной области, где распространены известняки силурийского и девонского возрастов» (Никаноров, 2001).

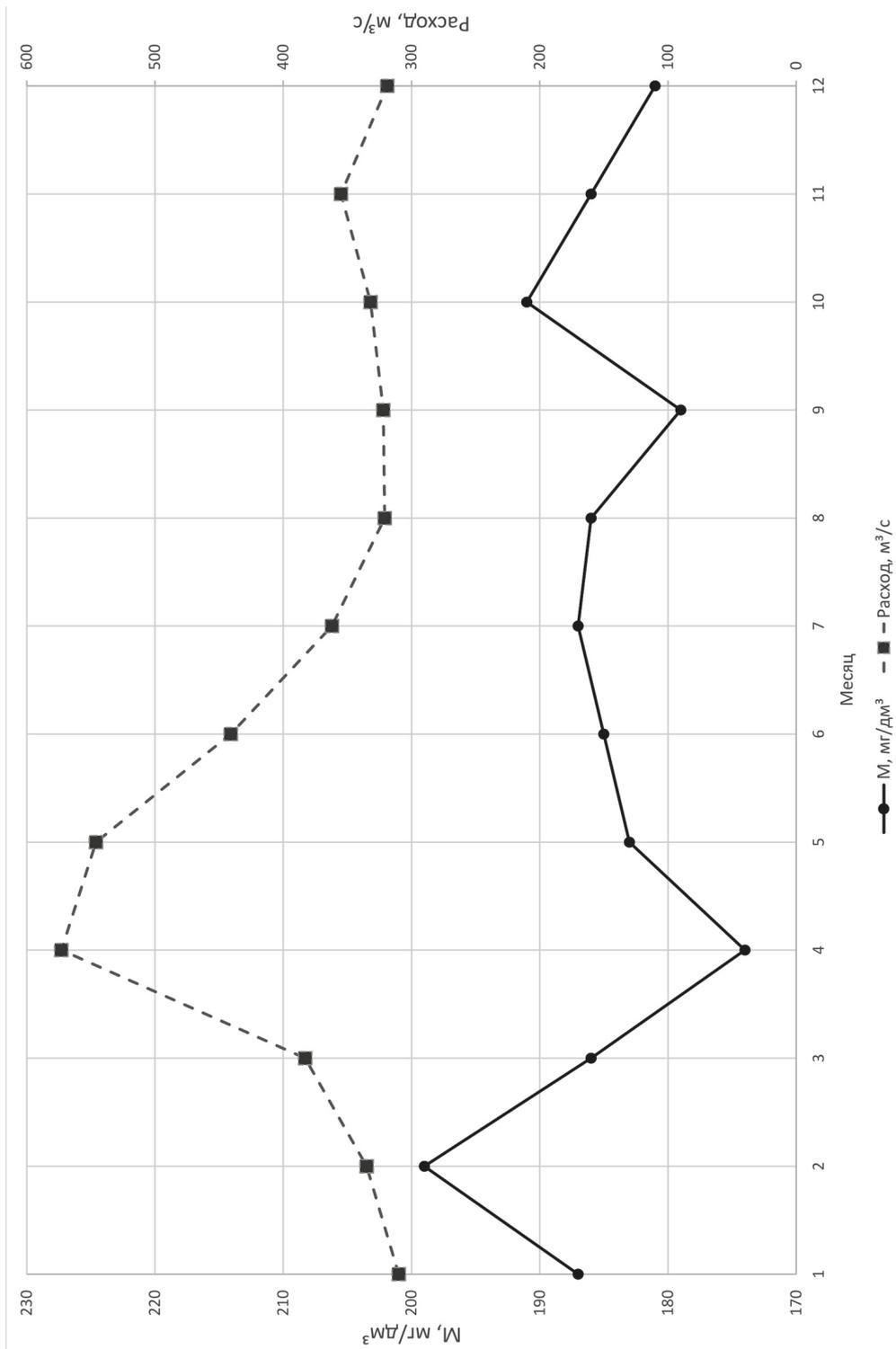


Рис. 3. График изменения минерализации и расхода воды в течение года

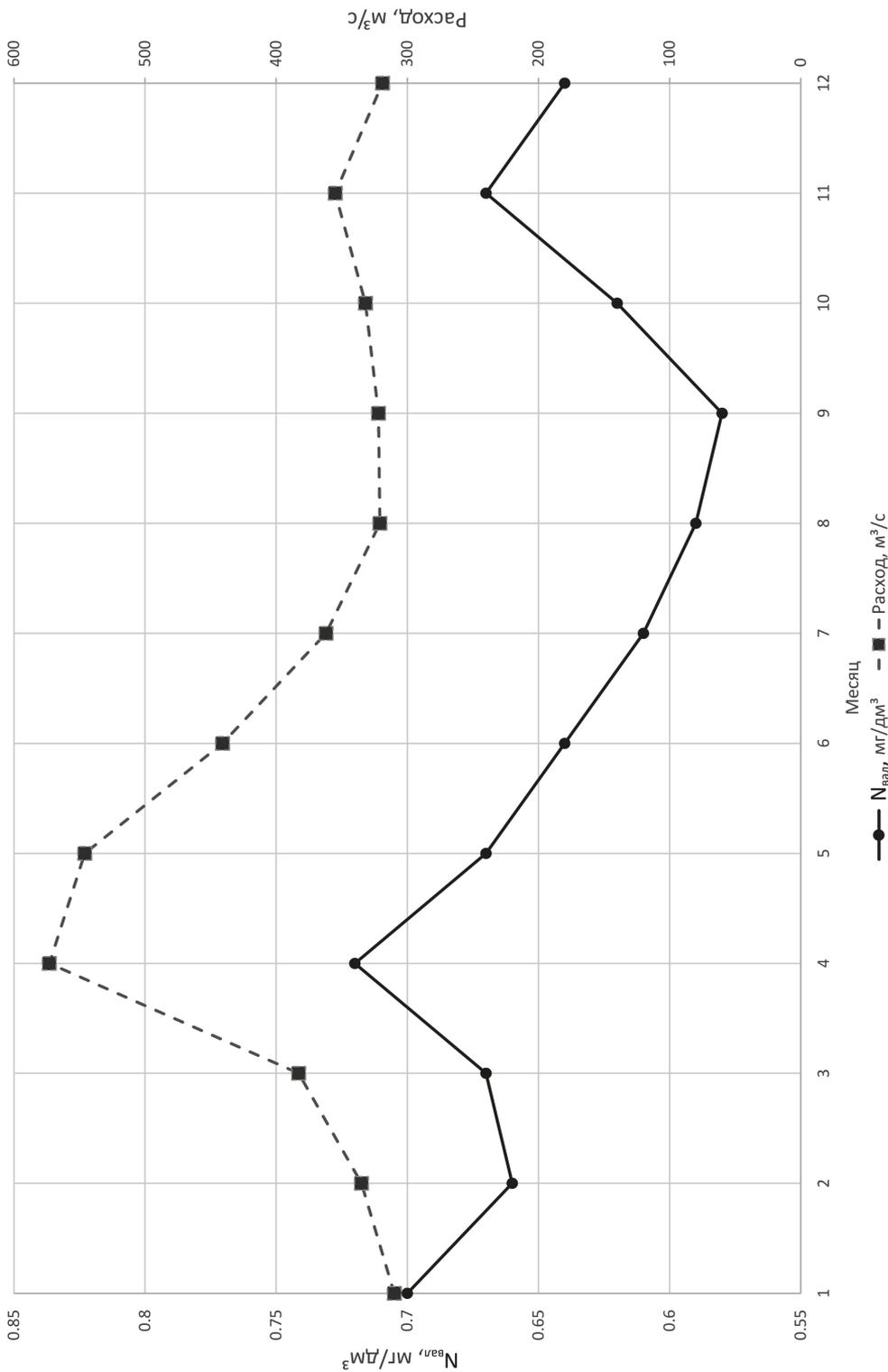


Рис. 4. Динамика содержания валового азота и расхода воды в р. Нарва (створ в 7 км от устья) в течение года

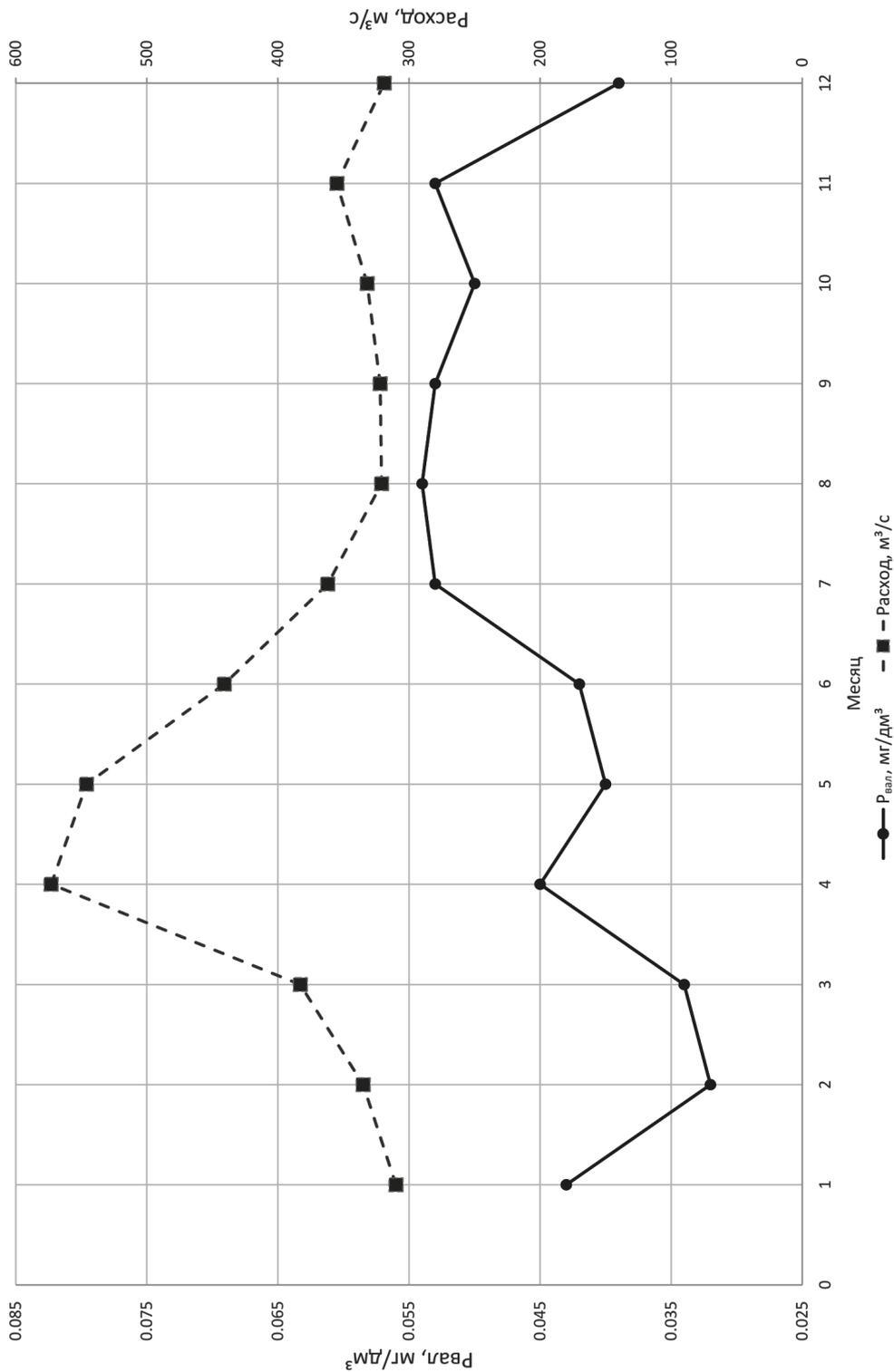


Рис. 5. Динамика содержания валового фосфора и расхода воды в р. Нарве (створ в 7 км от устья) в течение года

Таблица 3. Среднегодовое показатели ионного стока, стока биогенных и органических веществ за два периода наблюдений (1992–2005 и 2006–2019 гг.)

Компонент	1992–2005, Q=395 м³/с		2006–2019, Q =376 м³/с	
	Концентрация, мг/дм³	Показатель стока, кг/км²	Концентрация, мг/дм³	Показатель стока, кг/км²
Азот валовый	0.62	137	0.69	146
Азот нитратный	0.20	44.3	0.15	31.6
Фосфор валовый	0.06	13.3	0.03	6.33
Фосфор фосфатный	0.03	6.65	0.018	3.80
Минерализация, мг/дм³	203	45 000	195	41 100
Окисляемость перманганатная, мг/дм³	10.9	2420	14.6	3080
Хлорофилл а*	3.2	–	9.6	–

Примечание. Q — среднегодовой расход воды за период наблюдений.

\* Рассчитан за периоды с 2001 по 2005 и с 2006 по 2017 г.

Таблица 4. Статистическая оценка показателей ионного стока, стока биогенных и органических веществ за разные периоды наблюдений р. Нарвы в створе р. Нарва — г. Нарва в 7 км от устья

Компонент	1992–2019 гг.			1992–2005 гг.			2006–2019 гг.		
	F <sub>ср/много</sub>	СКО	Cv	F <sub>ср/много</sub>	СКО	Cv	F <sub>ср/много</sub>	СКО	Cv
Расход воды, м³/с	385	72.74	0.189	395	76.87	0.195	376	69.83	0.186
M, т/км²	43.1	9.20	0.208	45.0	11.60	0.253	41.1	6.78	0.159
ХПК, т/км²	2.75	0.80	0.288	2.42	0.65	0.271	3.08	0.79	0.254
P <sub>вал</sub> , кг/км²	9.81	4.15	0.420	13.3	3.76	0.303	6.33	2.80	0.381
P–PO <sub>4</sub> , кг/км²	5.22	2.66	0.504	6.65	2.36	0.350	3.80	2.13	0.558
N <sub>вал</sub> , кг/км²	142	51.74	0.357	137	55.23	0.390	146	49.91	0.338
N–NO <sub>3</sub> , кг/км²	38.0	17.60	0.453	44.3	21.05	0.473	31.6	10.73	0.327

Примечание. F<sub>ср/много</sub> — среднегодовой показатель стока веществ (см. примеч. к табл. 1 и 2).

Ионный сток и сток биогенных и органических веществ рассчитан по средне-годовым концентрациям и расходам воды р. Нарвы за разные периоды наблюдений (табл. 3 и 4). В основу расчета среднегодовых показателей стока положены данные по среднегодовым расходам и концентрациям веществ.

Рассчитанный по формуле (1) сток биогенных веществ со всего водосбора р. Нарвы в среднем за период с 1992 по 2019 г. составляет для валового фосфора 544 т/год, для валового азота — 7969 т/год, для нитратного азота — 2151 т/год. В пересчете на показатели стока по формуле (3) модули стока валового фосфора ва-

рыруют в интервале 3.3–13.1 кг/км<sup>2</sup> в год, что соответствует фоновым показателям для Балтийского региона (Брызгалов и Иванов, 2009).

Интересно отметить, что за период с 1993 по 2006 г. значительно более высокие показатели стока для фосфора фосфатов и азота нитратов соответствовали показателям стока с мелиорированных, сельскохозяйственных районов (Назаров, 1988), что также указывает на значительное снижение биогенной нагрузки на р. Нарву в последнее десятилетие, с 2006 по 2019 г. Противоположные изменения регистрируются в последнее десятилетие для стока органических веществ. Согласно литературным данным, показатель стока органических веществ определяется миграционными процессами органического вещества через поверхностный, внутрипочвенный и подземный сток в реки и составляет для рек бассейнов Севера и Северо-Запада от 2 до 4 т/км<sup>2</sup> (Минаев, 1967; Мальцева и др., 1987). По нашим данным, для р. Нарвы показатели стока органических веществ в среднем составляют 2.75 т/км<sup>2</sup>, что близко к фоновым значениям. Важно отметить: в последние 14 лет (2007–2020) показатели стока органических веществ значительно увеличиваются (с 2.42 т/км<sup>2</sup> до 3.08 т/км<sup>2</sup>), а также растет и концентрация хлорофилла а — от 3.2 до 9.6 мг/дм<sup>3</sup>, что указывает на усиливающиеся процессы эвтрофирования в реке.

## 6. Выводы

Таким образом, из представленных данных можно сделать важный вывод об особенностях формирования биогенной нагрузки на р. Нарву. Поступление органического вещества и соединений азота происходит при максимальном водном стоке в период половодья, в то время как максимум фосфорной нагрузки приходится на осенний и предзимний периоды после окончания вегетации за счет внутриводоемных процессов, связанных с разложением растительных остатков, минерализацией органических веществ и их поступлением из Чудско-Псковского озера и Нарвского водохранилища.

Установлено устойчивое снижение годового содержания биогенных элементов независимо от водности года в последние 14 лет по сравнению с предшествующими периодами, что указывает на снижение биогенной нагрузки в современный период. Остается открытым вопрос о причинах усиливающегося в современный период развития эвтрофных процессов, происходящих на фоне увеличения органического вещества (по перманганатной окисляемости) и хлорофилла.

Рассчитанные значения показателей стока фосфора и азота в современный период составляют 7.4 кгP/км<sup>2</sup> и 150 кгN/км<sup>2</sup> в год, что соответствует фоновым значениям (антропогенно-ненарушенным водосборным территориям).

## Литература

- Алекин, О. А. (1970). *Основы гидрохимии*. Ленинград: Гидрометеоиздат.  
Алекин, О. А. (1974). *Сток растворенных веществ*. Ленинград: Гидрометеоиздат.  
Брызгалов, В. А. и Иванов, В. В. (2009). Сток растворенных веществ на замыкающих створах рек бассейнов Арктических морей России. Многолетняя и сезонная изменчивость. *Экологическая химия*, 2, 60–89.  
Кондратьев, С. А., Брюханов, А. Ю., Игнатьева, Н. В., Шмакова, М. В., Обломкова, Н. С., Коробченкова, К. Д. (2021). Внешняя и внутренняя фосфорная нагрузка на крупный трансграничный

водоем в условиях минимальной проточности. *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*, 14 (4), 65–86.

- Мальцева, А. В., Тарасов, М. Н., Смирнов, М. П. (1987). Сток органических веществ с территории СССР. *Гидрохимические материалы*, 102, 54–67.
- Минаев, В. А. (1967). Вынос солей из почв осушаемого болота. *Почвоведение*, 10, 35–47.
- Назаров, Г. В. (1988). Антропогенная перестройка выноса фосфора в водные объекты в процессе развития земледелия. В: *Эволюция круговорота фосфора в эвтрофировании природных вод*. Ленинград: Наука, 44–66.
- Найденова, В. И. (1971). *Гидрохимическая характеристика средних и больших рек европейской части СССР*. Ленинград: Гидрометеиздат.
- Никаноров, А. М. (2001). *Гидрохимия*. СПб.: Гидрометеиздат.
- Никаноров, А. М. (2011). *Региональная гидрохимия*. Ростов-на-Дону: НОК.
- Ресурсы поверхностных вод. Карелия и Северо-Запад* (1970). Ленинград: Гидрометеиздат.
- Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Нарва* (2014). [online] Невско-ладожское бассейновое водное управление федерального агентства водных ресурсов. Доступно на: <http://www.nord-west-water.ru/activities/ndv/scheme-of-complex-use-and-protection-of-water-bodies-in-the-basin-of-the-narva-river-approved-documents/> [Дата доступа 23.11.2015].
- Тимм, Т., Паукас, А., Хаберман, Ю., Яани, А., под ред. (2012). *Псковско-Чудское озеро*. Тарту: Eesti Loodusfoto.
- Фрумин, Б. С. и Фетисова, Ю. А. (2017). Динамика качества вод трансграничной реки Нарва. *Общество. Среда. Развитие*, 1, 85–87.
- Южно, А. В. и Задонская, О. В. (2020). Оценка состояния речной экосистемы и антропогенного воздействия на нее с применением модальных интервалов (на примере р. Нарва). В: *Сборник докладов международной научной конференции Четвертые Виноградовские чтения*, 855–860.
- CCME Water (2017). *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: Water quality index user's manual*. [online] Canadian Council of Ministers of Environment. Доступно на: <https://www.ccme.ca/en/resources/CanadianEnvironmentalQualityGuidelines/ProtocolsandReference> [Дата доступа 02.02.2018].
- Hannerz, F., Langaas, S., Nilssonand, S., Yi. Tian (2002). A Multi-Thematic GIS Database of the Transboundary Narva River. In: *Lake Peipsi catchment in support of strategic science and management applications*. Eesti Loodusfoto, 68–65.
- Jakob, A. (1997). Modelling Solute Transport Using the Double Porous Medium Approach. In: *Modelling in aquatic chemistry*. Paris, France, Organisation for economic cooperation and development. Nuclear Energy Agency, 525–576.
- Roll, G., Kosk, A., Alexeeva, N., Unt, P. (2003). Lake Peipsi-Chudskoe. In: *Lake Basin Management Initiative Regional Workshop for Europe, Central Asia and the America*. USA, Vermont, 18–21 June.

Статья поступила в редакцию 27 июня 2022 г.  
Статья рекомендована к печати 9 января 2023 г.

Контактная информация:

Потапова Татьяна Михайловна — [ptm2000@mail.ru](mailto:ptm2000@mail.ru)  
Задонская Ольга Викторовна — [olga.zadonskaya@hydrology.ru](mailto:olga.zadonskaya@hydrology.ru)  
Паршина Татьяна Владимировна — [t.parshina@spbu.ru](mailto:t.parshina@spbu.ru)

## Hydrochemical assessment of transboundary rivers (on the example of the Narva border river)\*

T. M. Potapova<sup>1</sup>, O. V. Zadonskaya<sup>2</sup>, T. V. Parshina<sup>1</sup>

<sup>1</sup> St. Petersburg State University,  
7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

<sup>2</sup> State Hydrological Institute,  
23, 2-ya liniya V. O., St. Petersburg, 199004, Russian Federation

**For citation:** Potapova, T. M., Zadonskaya, O. V., Parshina, T. V. (2023). Hydrochemical assessment of transboundary rivers (on the example of the Narva border river). *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*, 68 (1), 136–152. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2023.108> (In Russian)

The purpose of the study is to establish the regularities of the formation of the biogenic regime of the Narva River. Based on experimental data on the determination of concentrations of chemical elements for the long-term observation period from 1992 to 2019, a trend of reducing the content of biogenic elements over the past 14 years has been revealed. This is a consequence of reducing the anthropogenic load due to the reconstruction of treatment facilities on the Estonian and Russian sides. Analysis of intra-annual changes in the content of biogenic elements showed a steady increase in the content of nitrogen compounds during high water with maximum water runoff and an increase in phosphorus content in the autumn period. This indicates a significant influence of the waters of Lake Peipus and the Narva reservoir, which determine the intra-reservoir processes that intensify at the end of the warm season. The calculation of runoff based on experimental data of average annual water consumption and monthly determinations of concentrations of mineral, biogenic and organic substances for the period from 1992 to 2019. The calculated values of the runoff indicators are: ionic runoff 43,1 t/km<sup>2</sup>, total phosphorus 9,8 kg/km<sup>2</sup>, total nitrogen 142 kg/km<sup>2</sup>, organic carbon 2,75 t/km<sup>2</sup>, according to the background values of the runoff indicators of the Baltic region. It is important to note that for the period from 1993 to 2006; significantly higher runoff rates for phosphorus phosphates and nitrogen nitrates corresponded to the literature data on runoff from reclaimed agricultural areas, which also indicates a significant decrease in the biogenic load on the Narva River in the last decade from 2006 to 2019.

**Keywords:** runoff of dissolved substances, biogenic and organic substances, microelements.

## References

- Alekin, O. A. (1970). *Fundamentals of hydrochemistry*. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ. (In Russian)
- Alekin, O. A. (1974). *Runoff of dissolved substances*. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ. (In Russian)
- Bryzgalo, V. A. and Ivanov, V. V. (2009). The flow of dissolved substances on the closing channels of the rivers of the basins of the Arctic seas of Russia. Long-term and seasonal variability. *Ecological Chemistry*, 2, 60–89. (In Russian)
- CCME Water (2017). *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: Water quality index user's manual*. [online] Canadian Council of Ministers of Environment. Available at: <https://www.ccme.ca/en/resourcesCanadianEnvironmentalQualityGuidelines/ProtocolsandReference> [Accessed 02.02.2018].
- Frumin, B. S. and Fetisova, Yu. A. (2017). Dynamics of water quality of the transboundary Narva River. *Society. Environment. Development*, 1, 85–87. (In Russian)

---

\* The work is supported by the project ER 25 NarvaWatMan (2020) “Water Resources Management of the transboundary Narva River: harmonization and sustainability” of the Russia — Estonia cross-border cooperation program for the period 2014–2020.

- Hannerz, F., Langaas, S., Nilssonand, S., Yi, Tian (2002). A multi-thematic GIS database of the transboundary Narva River. In: *Lake Peipsi catchment in support of strategic science and management applications*. Eesti Loodusfoto, 68–65.
- Jakob, A. (1997). Modelling Solute Transport Using the Double Porous Medium Approach. *Modelling in aquatic chemistry*. Organisation for economic cooperation and development. Nuclear Energy Agency, 525–576.
- Kondratiev, S. A., Bryukhanov, A. Y., Ignatieva, N. V., Shmakova, M. V., Oblomkova, N. S., Korotchenko, K. D. (2021). External and internal phosphorus load on a large transboundary body of water in conditions of minimal flow. *Fundamental and Applied Hydrophysics*, 14 (4), 67–86. (In Russian)
- Maltsev, N. V., Tarasov, M. N., Smirnov, M. P. (1987). Flow of organic substances from the territory of the USSR. *Hydrochemical materials*, 102, 54–67. (In Russian)
- Minaev, V. A. (1967). Removal of salts from the soils of a drained swamp. *Soil Science*, 10, 35–47. (In Russian)
- Nazarov, G. V. (1988). Anthropogenic modification of phosphorus transportation into water bodies during the development of agriculture. In: *The evolution of the phosphorus cycle in the eutrophication of natural waters*. Leningrad: Nauka Publ., 44–66. (In Russian)
- Naidenova, V. I. (1971). *Hydrochemical characteristics of medium and large rivers of the European part of the USSR*. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ. (In Russian)
- Nikanorov, A. M. (2001). *Hydrochemistry*. St. Petersburg: Giydrometeoizdat Publ. (In Russian)
- Nikanorov, A. M. (2011). *Regional hydrochemistry*. Rostov-on-Don: NOK Publ. (In Russian)
- Resources surface water. Karelia and the North-West* (1970). Leningrad: Gidrometeoizdat Publ. (In Russian)
- Roll, G., Kosk, A., Alexeeva, N., Unt, P. (2003). Lake Peipsi-Chudskoe. *Lake Basin Management Initiative Regional Workshop for Europe, Central Asia and the America*. USA, Vermont, 18–21 June.
- Scheme of Integrated Use and Protection of Water Bodies of the Narva River Basin* (2014). [online] Order of the Nevsko-Ladoga Basin Water Management of the Federal Agency for Water Resources. Available at: <http://www.nord-west-water.ru/activities/ndv/scheme-of-complex-use-and-protection-of-water-bodies-in-the-basin-of-the-narva-river-approved-documents/> [Accessed 23.11.2015]. (In Russian)
- Timm, T., Raukas, A., Haberman, J., Jaani, A., eds (2012). *Peipsi Lake*. Tartu: Eesti Loodusfoto Publ. (In Russian)
- Yukhno, A. V. and Zadonskaya, O. V. (2020). Assessment of the state of the river ecosystem and anthropogenic impact on it using modal intervals (on the example of the Narva River). In: *Collection of reports of the international scientific conference Fourth Vinogradov readings*, 855–860. (In Russian)

Received: June 27, 2022  
Accepted: January 9, 2023

#### Authors' information:

Tatyana M. Potapova — ptm2000@mail.ru  
Olga V. Zadonskaya — olga.zadonskaya@hydrology.ru  
Tatyana V. Parshina — t.parshina@spbu.ru