

---

---

**ОЦЕНКА ВКЛАДА САНИТАРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ  
В СНИЖЕНИЕ ПОСТУПЛЕНИЯ ОБЩЕГО ФОСФОРА И АЗОТА В БАЛТИЙСКОЕ  
МОРЕ С ВОДОСБОРОВ РЕК ВОЛКОВКИ И ОХТЫ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**

© 2022 г. С. М. Клубов<sup>a, b, \*</sup>, В. Ю. Третьяков<sup>a, c, \*\*</sup>,  
В. В. Дмитриев<sup>c, \*\*\*</sup>, Ю. О. Рожкова<sup>c, \*\*\*\*</sup>

<sup>a</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>b</sup>Государственное бюджетное учреждение дополнительного образования Дворец творчества  
“У Вознесенского моста”, Санкт-Петербург, Россия

<sup>c</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

\*E-mail: klubov\_stepan@mail.ru

\*\*E-mail: v\_yu\_tretyakov@mail.ru

\*\*\*E-mail: vasily-dmitriev@rambler.ru

\*\*\*\*E-mail: juliarozhkova21@gmail.com

Поступила в редакцию 14.04.2022 г.

После доработки 25.08.2022 г.

Принята к публикации 30.08.2022 г.

Избыточное поступление общего азота и фосфора в Балтийское море приводит к его антропогенному эвтрофированию. Страны бассейна Балтийского моря, включая Россию, стремятся координировать меры по охране окружающей среды Балтийского моря. Работает комиссия по защите морской среды Балтийского моря (Helscom). С использованием нашей авторской методики нами получены модули стока общего азота и фосфора с водосборных бассейнов рек Волковки и Охты Санкт-Петербурга. Выполнено их сравнение с модулями, рассчитанными на основании численности проживающего на водосборе населения в соответствии с принятой Helscom методикой. Показано, что благодаря работе городских коммунальных служб и ГУП “Водоканал СПб” потенциально возможная биогенная нагрузка на Балтийское море с исследованных водосборов рек Волковки и Охты сокращена в 19–45 раз по общему фосфору и в 7–20 раз по общему азоту. По результатам нашего исследования ГУП “Водоканал СПб” подтвердил статус природоохранного предприятия, ориентированного на защиту окружающей среды Балтийского моря.

*Ключевые слова:* Балтийское море, эвтрофирование, поступление общего азота и фосфора

DOI: 10.31857/S0869607122040061

## ВВЕДЕНИЕ

Через два года после знаменитой Стокгольмской конференции ООН по проблемам окружающей среды 1972 года Балтийскими странами была подписана Хельсинская конвенция по охране морской среды Балтийского моря. Конвенция была подписана СССР, Финляндией, Данией, Германией, Польшей и Швецией. Уже в середине 1970-х годов экологические проблемы Балтийского моря стали обсуждаться на международном уровне. С 1992 года начата работа Хельсинской комиссии по защите морской среды Балтийского моря. В деятельности комиссии участвуют Швеция, Дания, Финляндия, Литва, Латвия, Эстония, Германия, Польша и Россия [18, с. 86].

Главная экологическая проблема Балтийского моря – антропогенное эвтрофирование. Природные особенности и высокий уровень урбанизации этого внутреннего моря Европы увеличивают его риск. В свою очередь из-за эвтрофирования увеличивается биомасса сине-зеленых водорослей, которые выделяют опасные токсины. Токсины, мигрируя по трофической цепи, могут вызывать отравление и даже гибель людей. Например, в августе 2022 года, в Невской губе Финского залива наблюдалось активное цветение сине-зеленых водорослей, по данным СЗМУ Росприроднадзора, одной из них являлась цианобактерия *Microcystis aeruginosa* Kützing [13].

Для регулирования уровня биогенной нагрузки 15 ноября 2007 г. в Кракове (Польша) представителями вышеназванных прибалтийских стран был согласован план действий для Балтийского моря. Одним из пунктов этого плана является установление максимальных норм поступления общего азота и фосфора в Балтийское море. Максимально допустимое поступление в него фосфора составляет 21 060 т/год, а общего азота 601 720 т/год [17, с. 9]. По подсчетам наших коллег, в настоящий момент эти нормы не превышены [6, с. 57; 7, с. 914; 17, с. 9; 15, с. 189; 27, с. 2]. Но ситуация может измениться, поэтому требуется неукоснительное соблюдение существующих норм и снижение биогенной нагрузки на Балтийское море. Наибольшая ответственность за сохранение экологического благополучия морской среды Балтики лежит на странах, на территории которых располагается большая часть водосборного бассейна моря. Так общая площадь водосборного бассейна Балтийского моря составляет 1 740 000 км<sup>2</sup>, наибольшая доля этого водосборного бассейна расположена на территории Швеции – 440 040 км<sup>2</sup> (26%) и России 314 800 км<sup>2</sup> (18%) [4, с. 14]. В связи с этим на нашей стране лежит повышенная ответственность за сохранение морской среды Балтийского моря. Основными источниками поступления биогенных элементов в водотоки, и как следствие, в Балтийское море являются сточные воды и рассеянный поверхностный сток. На примере водосборных частных водосборных бассейнов рек Волковки и Охты Санкт-Петербурга рассматривается природоохранная деятельность городских коммунальных служб по уборке территории и деятельность ГУП “Водоканал СПб” по очистке сточных вод.

Цель данного исследования – оценка вклада городских коммунальных служб и ГУП “Водоканал СПб” в снижение поступления общего азота и фосфора в городские реки Волковку и Охту со сточными водами и рассеянным поверхностным стоком с территории их водосборных бассейнов.

#### КРАТКИЙ ОБЗОР ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВА СТОКА РЕК УРБАНИЗИРОВАННЫХ ВОДОСБОРОВ

Проблема загрязнения рек урбанизированных территорий актуальна во многих странах. Например, в Европе достаточно подробно исследуется загрязнение рек бассейна реки Дунай [32, с. 11]. По мнению авторов этой работы, выявленная высокая степень загрязнения городских водотоков связана с поступлением канализационного и поверхностного стока с урбанизированных территорий.

Исследование загрязнения рек урбанизированных территорий выполнено учеными Национального автономного университета Мексики. Они пришли к выводу, что: “The river reaches within the urban zone are basically the open-air drainage ditches” (Городские реки представляют из себя сточные каналы под открытым небом, *англ.*) [5, с. 15].

На африканском континенте высокая степень загрязнения рек отмечена в его западной части. Авторы исследования связывают загрязнение водотоков со сбросом неочищенных бытовых вод и с поступлением в реки рассеяно-диффузионного стока с обширных сельскохозяйственных плантаций и городских кварталов [26, с. 9].

В Китае проблема загрязнения городских рек особенно актуальна в связи с высокими темпами развития экономики. Китайские ученые исследовали качество воды в ре-

**Таблица 1.** Средние концентрации общего азота и фосфора в поверхностном стоке с городских водосборов [29, с. 7]

**Table 1.** Averaged concentrations of pollutants, nitrogen and phosphorus in surface runoff from urbanized watersheds [29, p. 7]

	США	Германия	Франция	Дания	Финляндия	Малайзия	Иран	Волковка
Общ. азот, мг/л	1.2–1.9	2.4	2.8	1.1	1.8	–	6.7	5.6
Общий фосфор, мг/л	0.3–0.4	0.4	0.8	0.3	0.2	0.4–1.0	0.3	0.4

**Таблица 2.** Средние концентрации биогенных элементов в поверхностном стоке и сточных водах в США [28, с. 21]

**Table 2.** Average concentrations of nitrogen and phosphorus in domestic wastewater and storm water in the USA [28, p. 21]

	Поверхностный сток	Бытовые сточные воды
Общ. азот, мг/л	2.6	8.0–12.0
Общий фосфор, мг/л	0.3	2.2–10.0

ке Циньхуай (бассейн р. Янцзы). Установлено увеличение уровня загрязненности вод реки при ее протекании через город Нанкин. Авторы связывают это со сбросом недостаточно очищенных промышленных и коммунально-бытовых вод в реку [33, с. 16].

В Санкт-Петербурге уровень загрязненности реки Волковки был исследован З.Г. Кауровой с соавторами [2, с. 69]. В 2014–2017 гг. по результатам расчетов индекса загрязнения воды (ИЗВ) воды реки Волковки соответствовали IV (“загрязненная”) и V (“грязная”) классам качества. Использование показателя ИЗВ объясняется ограниченным числом определений и усеченной программой исследования. Авторам не удалось установить роль различных факторов в загрязнении реки Волковки.

Широко распространено мнение, что основной вклад в загрязнение городских рек вносит сброс недостаточно очищенных сточных вод и поступающий с водосборной площади загрязненный поверхностный сток. Проблема оценки поступления загрязняющих веществ и биогенных элементов с поверхностным стоком изучена недостаточно в связи с объективными трудностями измерений и расчетов.

В статье ученых из Румынии [29, с. 7] выполнено сравнение результатов собственных исследований концентраций загрязняющих веществ и биогенных элементов в поверхностном стоке на территории Румынии с данными аналогичных исследований в других странах (табл. 1).

Сравнение этих величин со среднегодовыми концентрациями общего азота и фосфора в поверхностном стоке, поступившем в реку Волковку в 2017–2019 гг. по данным ГУП “Водоканал СПб” приведено в табл. 1.

Видно, что среднегодовая концентрация общего азота в поверхностном стоке с водосборного бассейна реки Волковки превышает аналогичные показатели в странах США, Европы и Азии и сопоставима с концентрацией общего азота в поверхностном стоке в Иране.

Среднегодовые концентрации общего фосфора в поверхностном стоке с водосборного бассейна реки Волковки сопоставимы с аналогичными показателями в других странах.

Решение проблемы снижения высокого уровня поступления биогенных элементов (табл. 2) в водные объекты с поверхностным стоком осложняет отсутствие очистки поверхностного рассеянного стока. Это подтверждают отчетные материалы ГУП “Водоканал СПб”.

Несомненно, концентрации загрязняющих веществ и, особенно соединений азота и фосфора в бытовых и промышленных сточных водах на порядок выше, чем в поверхностном рассеянном стоке, поступающем в водные объекты через ливневую канализацию (табл. 2). Но значительно большие объемы поступления поверхностного стока в водные объекты и отсутствие очистки делает этот источник основным в загрязнении водных объектов.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Нами разработана и опробована методика определения модулей стока биогенных элементов (общего азота и фосфора) с водосборных бассейнов рек Волковки и Охты Санкт-Петербурга [27, с. 3]. Модуль стока биогенных элементов – это биогенная нагрузка от точечных и неточечных источников загрязнения с единицы площади водосборного бассейна.

Отдельно рассмотрена биогенная нагрузка от:

- 1 – рассредоточенного поверхностного стока;
- 2 – выпусков сточных вод;
- 3 – притоков исследуемых рек.

Для расчетов биогенной нагрузки от рассредоточенного поверхностного стока использована методика ФГУП НИИ “Водгео” для расчетов переноса субстанций с поверхностным стоком [19, с. 27]. С использованием геоинформационной системы ArcGIS и цифровой модели рельефа “ASTER” были определены границы водосборных бассейнов изученных водотоков [31]. Данные ЦМР “ASTER” нами были существенно модифицированы для исключения искажений, вызванных поступлением отраженного радиолокационного сигнала от зданий и сооружений. Для определения соотношения площадей различного хозяйственного использования в границах выделенных водосборных бассейнов нами была выполнена классификация территорий на основании спутниковых снимков Sentinel-2 [31]. Расчеты биогенной нагрузки от рассредоточенного поверхностного стока производились отдельно для следующих компонентов:

- 1 – не собираемого в коллекторы ливневой канализации дождевого стока;
- 2 – не собираемого в коллекторы ливневой канализации талого стока;
- 3 – поливомоечных вод.

Для расчетов использованы данные регулярных гидрохимических наблюдений ГУП “Водоканал СПб” за 2017–2019 гг. о средних концентрациях общего азота и фосфора в поверхностном стоке. Также для расчетов дождевого и талого стока использованы данные ежедневных метеорологических наблюдений за 2017–2019 гг. [11].

Для расчетов поступления общего азота и фосфора с выпусками сточных вод использованы данные отчетов крупнейшего водопользователя Санкт-Петербурга – Государственного унитарного предприятия “Водоканал СПб”. Отчетные документы содержат данные о типе и объемах сбрасываемых сточных вод, концентрациях в них общего азота и фосфора.

Для расчетов поступления общего азота и фосфора с водами притоков использованы данные регулярных гидрохимических наблюдений ГУП “Водоканал СПб” за водными объектами.

В Плате действий по Балтийскому морю (Helcom) приведены нормы среднего поступления азота и фосфора от одного человека, проживающего на урбанизированной территории [6, с. 914; 15, с. 229]. Эти нормы применяются при расчетах производительности проектируемых очистных сооружений. В нашем исследовании эти нормы используются для расчетов поступления азота и фосфора с урбанизированных водосборных бассейнов в предположении отсутствия централизованной системы сбора сточных вод и регулярной уборки территории коммунальными службами. Использо-

**Таблица 3.** Модули стока общего азота и фосфора с водосборов ряда водных объектов бассейна Балтийского моря  
**Table 3.** The modules of total nitrogen and phosphorus outflow from watersheds of a number of aquatic objects within the Baltic Sea catchment area

Водосбор	Модуль стока		Источник данных
	общего азота	общего фосфора	
	тонн/км <sup>2</sup> год	тонн/км <sup>2</sup> год	
Река Охта (частный водосбор ниже Ржевского вдхр.)	3.628	0.283	Собственные расчеты
Река Волковка	1.295	0.104	Собственные расчеты
река Ижора	1.100	0.085	[3]
Река Нева (частный водосбор)	0.696	0.144	[6, с. 63]
Малые реки Южного и Северного побережья Финского залива	0.550	0.040	[7, с. 916]
Река Луга	0.349	0.027	[6, с. 63]
Сестрорецкий Разлив	Нет данных	0.020	[8, с. 108]
Максимально допустимые значения для водосбора Финского залива по рекомендации HELCOM	0.236	0.011	[23]
Средние значения по российской части водосбора Финского залива	0.189	0.009	[7, с. 916]
Ладожское озеро	0.143	0.004	[7, с. 916]
река Нарва	0.102	0.004	[7, с. 916]

вание этих норм поступления необходимо для оценки роли ГУП “Водоканал СПб” и коммунальных служб города в сокращении биогенной нагрузки на Балтийское море.

В качестве норм Helcom на одного человека указаны 4.4 кг общего азота и 0.9 кг общего фосфора в год [6, с. 914] (табл. 1). Расчет численности населения водосборных бассейнов выполнен по средней плотности населения и площади водосбора. Средняя плотность населения определена по численностям населения и площадям административных районов Санкт-Петербурга [14]. Если водосборный бассейн расположен на территории нескольких административных районов, то средняя плотность населения рассчитывалась с использованием весовых коэффициентов, отражающих распределение площади водосборного бассейна по административным районам города.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В российской части бассейна Финского залива расположен ряд водосборов. В связи с различиями их площадей для корректного сравнения величин биогенной нагрузки на Финский залив следует использовать модули стока общего азота и фосфора. Модуль стока какого-либо вещества или элемента — это частное от деления его суммарного поступления с водосбора за определенный период времени на площадь водосбора, т.е. удельное поступление вещества/элемента в поверхностные воды с единицы площади водосбора за единицу времени.

Выполнено сравнение модулей стока биогенных элементов (азота и фосфора) с водосборных бассейнов малых городских рек Волковки и Охты с аналогичными модулями, рассчитанными для других водосборов бассейна Финского залива. Модули стока азота и фосфора с водосборов рек Волковки и Охты рассчитаны по результатам собственных исследований, основанных на данных ГУП “Водоканал Санкт-Петербурга” [27, с. 4].



**Рис. 1.** Граница водосборного бассейна реки Волковки. 1 – р. Волковка; 2 – р. Мурзинка; 3 – р. Славянка; 4 – р. Красненская; 5 – Лиговский канал; 6 – р. Дачная; 7 – р. Новая; 8 – р. Дудергофка; 9 – Дудергофский канал; 10 – р. Ивановка; 11 – р. Сосновка; 12 – Обводный канал; 13 – р. Екатерингофка; *a* – граница водосборного бассейна р. Волковки; *b* – точки наблюдения за хим. составом р. Волковки ГУП Водоканал СПб.

**Fig. 1.** Boundaries of the Volkovka River watershed. 1 –Volkovka Riv.; 2 –Murzinka Riv.; 3 –Slavyanka Riv.; 4 –Krasnenkaya Riv.; 5 – Ligovskiy Channel; 6 – Dachnaya Riv.; 7 – Novaya Riv.; 8 – Dudergofka Riv.; 9 – Dudergofskiy Channel; 10 – Ivanovka Riv.; 11 – Sosnovka Riv.; 12 – Obvodny Channel; 13 –Ekateringofka Riv.; *a* –boundaries of the Volkovka River watershed; *b* – observation points.

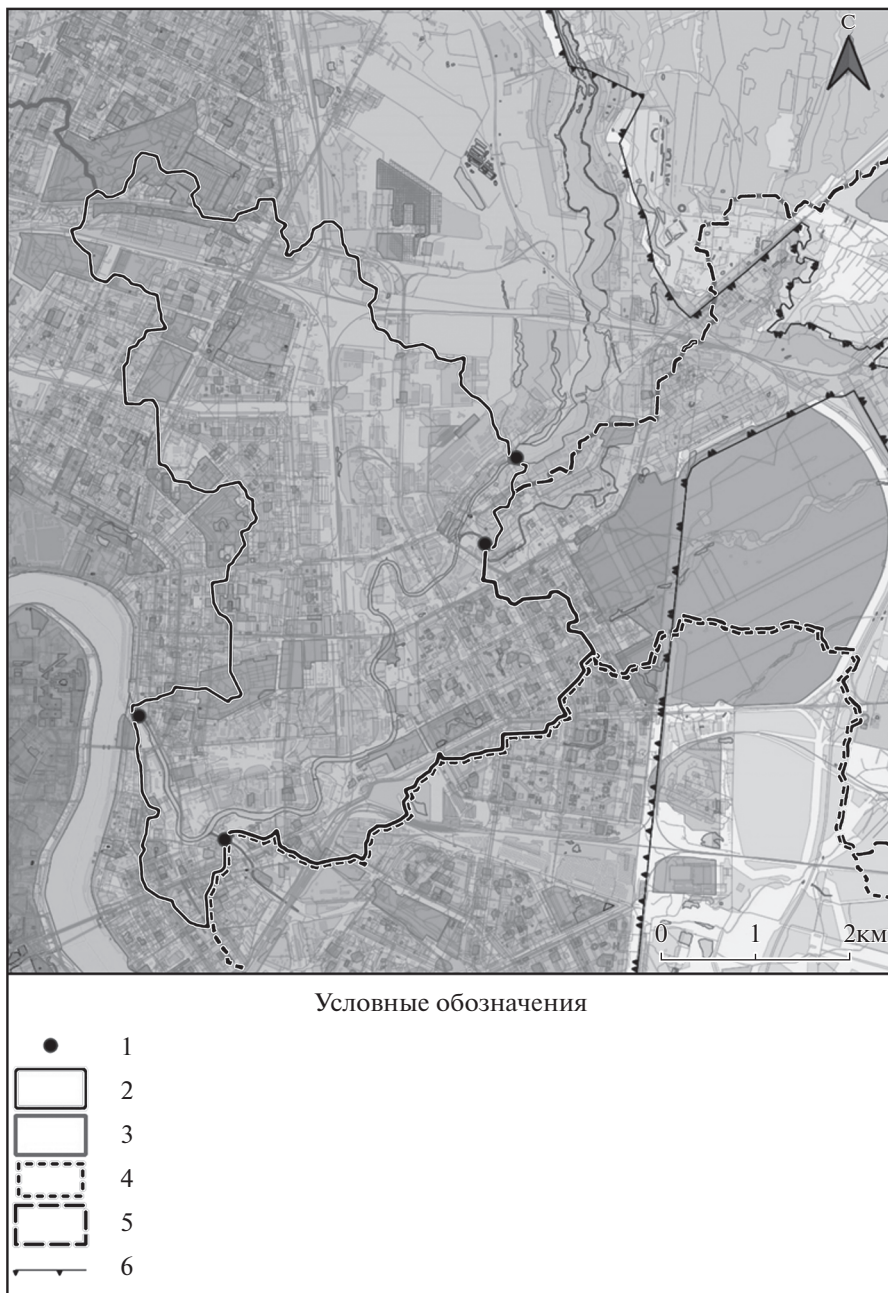
Поступление общего азота и фосфора с водосборов Ладожского озера, рек Невы, Луги, Нарвы и других водных объектов бассейна Балтийского моря рассчитано в Институте озераедения РАН с помощью модели формирования биогенной нагрузки ILLM [7, с. 917]. Нами рассчитаны модули стока общего азота и фосфора с водосборов ряда водных объектов бассейна Балтийского моря. Результаты представлены в табл. 3.

Во избежание увеличения риска антропогенного эвтрофирования Финского залива средние величины модулей стока биогенных элементов для всего его водосбора не должны превышать  $0.011 \text{ кг/км}^2$  в год для общего фосфора и  $0.236 \text{ кг/км}^2$  в год для общего азота.

Как видно из табл. 3, модули стока общего азота и фосфора максимальны на частном водосборе реки Охты в ее нижнем течении в пределах Санкт-Петербурга. Здесь модуль стока азота превышает среднее значение этого показателя по всей российской части водосбора Финского залива более чем в 19 раз, а модуль стока фосфора – более чем в 31 раз.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Вероятно, причиной высоких значений модулей стока для водосбора реки Охты (табл. 3) является высокая доля застроенной и заасфальтированной территории водосбора, которая превышает 50% его площади. В реку Охту сбрасываются сточные воды общесплавной канализации.



**Рис. 2.** Граница исследованного частного водосборного бассейна реки Охты. 1 – точки наблюдения за химическим составом р. Охты и ее притоков ГУП Водоканал СПб; 2 – граница изучаемого фрагмента водосборного бассейна р. Охты; 3 – водосборный бассейн р. Охты; 4 – водосборный бассейн р. Оккервиль; 5 – водосборный бассейн р. Лубья; 6 – административная граница Санкт-Петербурга.

**Fig. 2.** Boundaries of the Okhta River watershed. 1 – observation points; 2 – the considered part of the Okhta River drainage basin; 3 – the Okhta River drainage basin; 4 – the Okkervil River drainage basin; 5 – the Lubiya River drainage basin; 6 – administrative border of Saint Petersburg.

Модуль стока общего азота с водосбора реки Волковки в 6.9 раз превышает аналогичный средний показатель для российской части водосбора Финского залива, а модуль стока общего фосфора – в 11.6 раз. Таким образом, поступление азота и фосфора с городских водосборов является очень серьезной причиной антропогенного эвтрофирования.

Границы исследованных объектов: водосборного бассейна реки Волковки и частного водосбора реки Охты показаны на рис. 1 и 2.

Также необходимо отметить высокие значения модулей стока азота и фосфора с водосборов малых рек южного и северного побережий Финского залива. На этих реках отсутствуют створы регулярных наблюдений Росгидромета. Значения модулей стока для их водосборов были определены в Институте озераведения РАН с использованием модели ILLM [7, с. 913]. Вероятно, причиной высоких значений модулей является высокая доля селитебных территорий, в том числе городского типа.

Сравнимые с водосбором реки Волковки значения модулей стока азота и фосфора выявлены на водосборе реки Ижоры, являющейся левым притоком реки Невы. Ее водосборный бассейн расположен южнее водосборного бассейна реки Волковки. Как и в случае водосбора реки Волковки, значительная часть водосбора реки Ижоры занята открытыми участками, поросшими травянистой растительностью. На берегах реки Ижоры много населенных пунктов, самым крупным из которых является город Колпино. Сходство особенностей строения водосборных бассейнов рек Волковки и Ижоры объясняет близкие значения модулей стока азота и фосфора.

Модули стока азота и фосфора с водосборов, на водотоках которых отсутствуют наблюдения за гидрохимическим составом вод, по результатам расчетов оказались в несколько раз больше, чем средние значения модулей стока азота и фосфора со всего водосбора Финского залива. Необходимо подчеркнуть, что эти водосборные бассейны не учитываются при оценке суммарного поступления азота и фосфора в Финский залив.

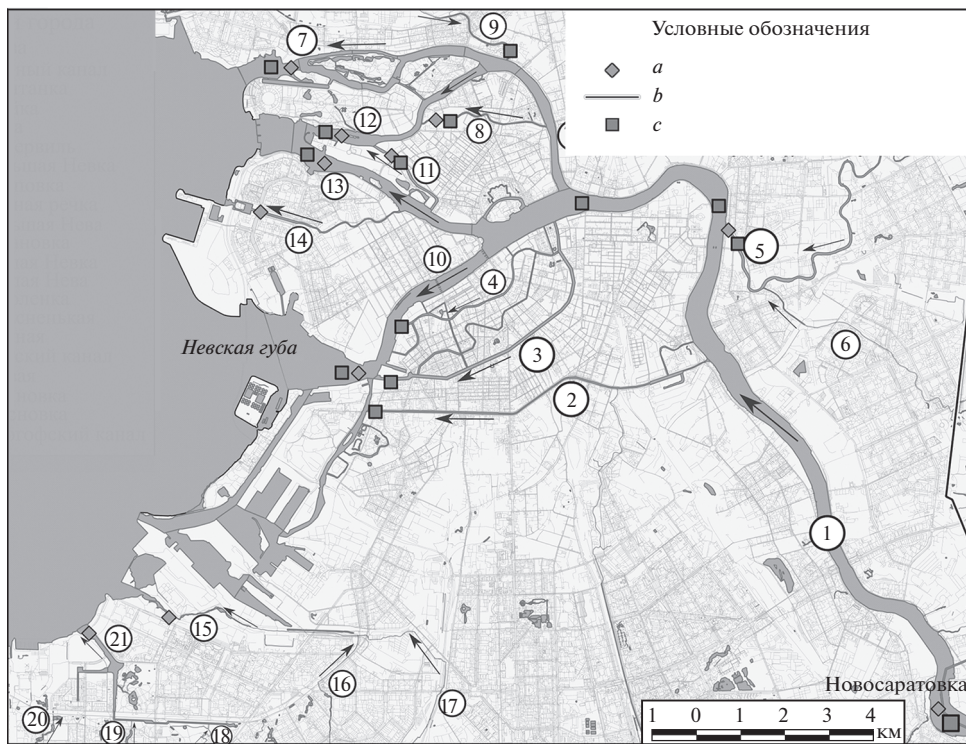
В соответствии с исследованиями Института озераведения РАН, с территории Российской Федерации поступает немногим более 60% от общей нагрузки азота и фосфора на Финский залив. При этом территория РФ занимает около 80% водосборного бассейна Финского залива [7, с. 917].

Как видно из табл. 3, значения модулей стока азота и фосфора с водосборов рек Волковки и Охты превышают эти значения, определенные на основании максимально допустимой нагрузки в соответствии с Планом действий по Балтийскому морю (HELCOM). Эти значения также превышают модули стока азота и фосфора с водосборов малых рек, расположенных на южном и северном побережье Финского залива, частично в пределах Санкт-Петербурга. Модули стока азота и фосфора с частного водосбора Невы и водосбора Ижоры также превышают значения модулей, определенных для российской части водосбора Финского залива в соответствии с предельно допустимой биогенной нагрузкой по документам HELCOM. Аналогично модули стока азота и фосфора с водосбора реки Луги превышают величины, соответствующие предельно допустимой биогенной нагрузке на экосистему Финского залива. Водосборный бассейн Луги отличается высокой степенью урбанизации и заселенности, включая дачные поселки и садоводства.

Таким образом, увеличение доли урбанизированных территорий на водосборе Балтийского моря увеличивает риск антропогенного эвтрофирования его экосистемы. При этом необходимо отметить, что средние модули стока азота и фосфора с водосборного бассейна российской части Финского залива не превышают значений, определенных на основании установленных HELCOM максимально допустимых нагрузок.

Разумеется, с водосборных бассейнов рек Волковки и Охты поступает большое количество соединений азота и фосфора. На замыкающем створе Волковки не проводится мониторинг содержания соединений азота и фосфора в речном стоке. Но сток





**Рис. 3.** Створы мониторинга химического состава рек Санкт-Петербурга Северо-Западного управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и ГУП “Водоканал СПб”. 1 – р. Нева; 2 – Обводный канал; 3 – р. Фонтанка; 4 – р. Мойка; 5 – р. Охта; 6 – р. Оккервиль; 7 – р. Большая Невка; 8 – р. Карповка; 9 – р. Черная речка; 10 – р. Большая Нева; 11 – р. Ждановка; 12 – р. Малая Невка; 13 – р. Малая Нева; 14 – р. Смоленка; 15 – р. Красенькая; 16 – р. Дачная; 17 – Лиговский канал; 18 – р. Новая; 19 – р. Ивановка; 20 – р. Сосновка; 21 – Дудергофский канал; *a* – станции отбора проб ГУП ЭВодоканал СПбЭ; *b* – Административная граница Санкт-Петербурга; *c* – станции отбора проб Северо-Западного управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

**Fig. 3.** Monitoring points on the rivers of Saint Petersburg. Observations are carried out by the North-Western Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring and the state unitary enterprise “Vodokanal of Saint Petersburg”. 1 – Neva Riv.; 2 – Obvodny Channel; 3 – Fontanka Riv.; 4 – Moika Riv.; 5 – Okhta Riv.; 6 – Okkervil Riv.; 7 – Bolshaya Nevka Riv.; 8 – Karpovka Riv.; 9 – Chernaya Rechka Riv.; 10 – Bolshaya Neva Riv.; 11 – Zhdanovka Riv.; 12 – Malaya Nevka Riv.; 13 – Malaya Neva Riv.; 14 – Smolenka Riv.; 15 – Krasnenkaya Riv.; 16 – Dachnaya Riv.; 17 – Ligovskiy Channel; 18 – Novaya Riv.; 19 – Ivanovka Riv.; 20 – Sosnovka Riv.; 21 – Dudergofskiy Channel; *a* – monitoring points of the SUE “Vodokanal of Saint Petersburg”; *b* – administrative border of Saint Petersburg; *c* – monitoring points of the North-Western Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring and the SUE “Vodokanal of Saint Petersburg”.

Волковки поступает в Обводный канал, на замыкающем створе которого мониторинг выполняется, поэтому биогенный сток Волковки также учитывается.

Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу (СЗУГМС) проводит оценку поступления биогенных элементов в Финский залив с российской части водосбора. На рис. 3 представлены створы мониторинга. Однако не все впадающие в Невскую губу и Финский залив водотоки Санкт-Петербурга охвачены сетью мониторинга СЗУГМС. В юго-западной части Санкт-Петербурга такими водотоками являются река Красенькая и Дудергофский канал. На их замыкающих створах отсут-

**Таблица 4.** Плотность населения на водосборных бассейнах рек Волковки и Охты  
**Table 4.** Population in the catchment area of Volkovka and Okhta Rivers

	р. Волковка	р. Охта
Численность населения на водосборном бассейне (в тысячах человек)	Около 522.5	Около 140.8
Средняя плотность населения на водосборных бассейнах (человек/км <sup>2</sup> )	Около 5360	Около 6260

**Таблица 5.** Значения модулей стока биогенных элементов с водосборных бассейнов рек Волковки и Охты

**Table 5.** Values of the runoff modules from the catchment areas of the Volkovka and Okhta Rivers

	р. Волковка		р. Охта	
	общ. азот	общ. фосфор	общ. азот	общ. фосфор
Уровень биогенной нагрузки в расчете на одного жителя (Nelcom), кг/человека	4.4	0.9	4.4	0.9
Расчетные модули стока в соответствии с численностью населения и нормой Nelcom, т/км <sup>2</sup>	23.5	4.8	27.5	5.6
Модули стока, основанные на данных “Водоканал СПб”, т/км <sup>2</sup>	1.295	0.104	3.628	0.283

ствуют створы мониторинга СЗУГМС, но есть створы мониторинга ГУП “Водоканал СПб”. Однако, данные ГУП “Водоканал СПб” не используются для официальной оценки поступления биогенных элементов с российской территории Балтийского моря. Очевидно, что невозможно проводить гидрохимический мониторинг каждого водотока впадающего в Финский залив.

Следовательно, в российской части водосбора Финского залива есть водосборы, поступление азота и фосфора с которых не учитывается при оценке суммарного поступления этих биогенных элементов. Поэтому определенные для водосборов Волковки и Охты модули стока азота и фосфора позволят учитывать поступление азота и фосфора с таких неучтенных урбанизированных водосборов. Также полученные нами модули стока с водосборных бассейнов р. Волковки и Охты могут быть использованы для совершенствования системы мониторинга поступления азота и фосфора в Балтийское море с урбанизированных территорий Калининградской области.

В соответствии с актуальными данными Росстата численность населения водосборного бассейна реки Волковки приблизительно равна 522.5 тысячам человек, а численность населения, проживающего на исследованном участке водосборного бассейна реки Охты, составляет около 140 тысяч человек [14]. Площадь исследованного участка водосборного бассейна реки Охты в 5 раз меньше, чем водосбор реки Волковки (22.5 и 97.5 км<sup>2</sup>). Плотность населения на исследованном участке водосбора Охты незначительно выше, чем на водосборе Волковки (табл. 4).

В табл. 5 представлены рассчитанные модули стока азота и фосфора с исследованных водосборов Волковки и Охты. Видно, что значения этих модулей превышают величины, определенные в соответствии с максимально допустимой нагрузкой по “Плану действий по Балтийскому морю (Nelcom)”. Для рек Волковки и Охты нормы превышены в 6 и 15 раз для общего азота и в 10 и 26 раз для общего фосфора, соответственно. Очевидно, что увеличение доли урбанизированных территорий на водосборе Балтийского моря увеличивает риск антропогенного эвтрофирования его экосистемы.

Необходимо отметить, что высокий уровень поступления азота и фосфора в реку Волковку определяется поступлением этих элементов в составе распределенного поверхностного стока с ее водосборного бассейна. Все бытовые и промышленные воды,

**Таблица 6.** Типы подстилающей поверхности на водосборных бассейнах рек Волковки и Охты  
**Table 6.** Types of underlying surface in the catchment basins of the Volkovka and Okhta Rivers

Тип подстилающей поверхности	Доля водосбора, %		Коэффициент стока ( $\Psi_d$ )
	р. Охта	р. Волковка	
Травяная растительность	10	49	0.1
Открытые грунтовые участки	21	20	0.2
Асфальтовые поверхности	45	13	0.7
Крыши зданий	15	8	0.5
Зеленые зоны (парки, скверы)	9	10	0.2
Водные поверхности	2	<1	

образующиеся на водосборном бассейне реки Волковки, поступают в канализационные коллекторы ГУП “Водоканал” и проходят очистку. На водосборе реки Охты модули стока азота и фосфора значительно выше, чем на водосборе реки Волковки. Вероятно, это объясняется двумя основными причинами:

1. В отличие от Волковки в Охту бытовые сточные воды в 2019 году сбрасывались без очистки.

2. На исследованном участке водосборного бассейна Охты по сравнению с водосбором Волковки выше доля заасфальтированных поверхностей и застроенной территории (табл. 6).

Исследованный участок водосбора Охты в ее самом нижнем течении отличается от водосбора Волковки большей степенью застройки, т.к. на водосборе Волковки велика доля бывших территорий сельскохозяйственного назначения, ныне заброшенных (табл. 6).

На основании норм Helsom биогенная нагрузка на реку Волковку при отсутствии природоохранных мероприятий может составлять около 4.8 т/км<sup>2</sup> общего фосфора и 23.5 т/км<sup>2</sup> общего азота в год. В реальности биогенная нагрузка на реку Волковку меньше в 18 раз по общему азоту и в 45 раз меньше по общему фосфору. Для реки Охты наблюдается схожая картина. Актуальное поступление общего азота с частного водосбора Охты в 8 раз меньше теоретического при отсутствии природоохранных мер, а по общему фосфору выявлено двадцатикратное снижение потенциально возможной нагрузки.

Таким образом, биогенная нагрузка на эти городские реки хотя и является высокой, но благодаря сбору и обработке бытовых и промышленных сточных вод ГУП “Водоканал СПб”, а также работе коммунальных служб она значительно ниже, чем могла бы быть.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Модули стока общего азота и фосфора с водосборов рек Волковки и Охты в Санкт-Петербурге превышают значения, рассчитанные на основании предельно допустимых нагрузок на экосистему Финского залива в соответствии с решениями Helsom.

2. Средние модули стока азота и фосфора с российской части водосбора Финского залива не превышают значений, рассчитанных на основании предельно допустимых нагрузок на экосистему Финского залива в соответствии с решениями HELCOM.

3. Модули стока азота и фосфора с урбанизированных водосборных бассейнов в несколько раз превышают модули, определенные в соответствии с предельно допустимыми нагрузками по документам HELCOM.

4. Урбанизация водосборного бассейна Балтийского моря, особенно его прибрежной полосы, увеличивает риск антропогенного эвтрофирования его экосистемы.

5. Отсутствие мониторинга экологического состояния ряда малых рек побережья Финского залива затрудняет оценку поступления азота и фосфора в Балтийское море с его водосбора.

6. Благодаря работе ГУП “Водоканал СПб” и коммунальных служб города поступление общего азота и фосфора в реку Волковку сокращено соответственно в 18 и 45 раз по сравнению с потенциально возможным при отсутствии природоохранных мероприятий. Для частного урбанизированного водосбора реки Охты в ее нижнем течении аналогичное сокращение поступления общего азота составляет 8 раз, а общего фосфора – 20.

7. Результаты нашего исследования полностью подтверждают высокий статус природоохранного предприятия ГУП “Водоканал СПб”.

8. Результаты наших исследований могут использоваться для расчетов биогенной нагрузки с урбанизированных водосборов с различной плотностью населения и разным уровнем сбора бытовых сточных вод в общесплавную канализацию.

9. Результаты наших исследований могут быть использованы при составлении Россией отчетов для Хельсинской комиссии по защите морской среды Балтийского моря.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ, номер проекта 19-05-00683.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алябина Г.А., Сорокин И.Н. Особенности формирования биогенной нагрузки на водные объекты с урбанизированных ландшафтов // Известия РГО. 2001. Т. 133. вып. 1. С. 81–87.
2. Бойко Н.А., Каурова З.Г. Гидрохимический состав р. Волковка в 2015–2017 годах // Молодой исследователь: материалы XLVI межд. научно-практич. конференции. 2017. Т. 21. вып. 46. С. 64–69.
3. Ершова А.А. Комплексная оценка поступления биогенных веществ с водосбора реки Невы в восточную часть Финского залива // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук, РГГМУ [2013] URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22342854/> (дата обращения: 8.04.2022).
4. Клемещев А.П., Корнеевец В.С., Пальмовский Т., Студжиницки Т., Фёдоров Г.М. Подходы к определению понятия “Балтийский регион” // Балтийский регион. 2017. Т. 9. вып. 4. С. 7–28.
5. Клубов С.М., Третьяков В.Ю. Оценка загрязненности вод рек Санкт-Петербурга с использованием отчетных материалов ГУП “Водоканал Санкт-Петербурга” // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2019. Т. 5. вып. 3. С. 160–174.
6. Кондратьев С.А. Оценка биогенной нагрузки на Финский залив Балтийского моря с российской части водосбора // Водные ресурсы, 2011. Т. 38. вып. 1. С. 56–64.
7. Кондратьев С.А., Шмакова М.В., Викторова Н.В., Уличев В.И. Фосфорная нагрузка на Финский залив с прибрежной территории России // Вестник РАН. 2014. Т. 84. вып. 10. С. 913–919.
8. Кондратьев С.А., Брюханов А.Ю., Терехов А.В. Структура поверхности водосбора как определяющий фактор биогенной нагрузки на водоем (по данным математического моделирования) // Вопросы географии РГО. 2018. Т. 145. С. 89–108.
9. Лозовик П.А., Бородулина Г.С., Карпечко Ю.В., Кондратьев С.А., Литвиненко А.В., Литвинова И.А. Биогенная нагрузка на Онежское озеро по данным натурных наблюдений // Труды Карельского научного центра РАН. 2016. Т. 5. С. 35–52.
10. Михайлов С.А. Диффузное загрязнение водных экосистем. Методы оценки и математические модели: Аналитический обзор. Барнаул: Изд-во День, 2000. 130 с.
11. Погода и климат: Сайт. [2021]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=26063/> (дата обращения: 15.08.2021).
12. Поздняков Ш.Р., Кондратьев С.А. Формирование биогенной нагрузки на Балтийское море с Российской территории и возможности ее снижения в соответствии с требованиями плана действий Хелком // Региональная экология. 2017. Т. 1. вып. 47. С. 65–73.
13. Сайт Северо-Западного межрегионального управления Росприроднадзора [2022]. URL: <https://rpn.gov.ru/regions/78/intro/> (дата обращения: 17.08.2022).
14. Сайт федеральной службы государственной статистики РФ [2021]. URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 27.03.2021).

15. *Серебрицкий И.А., Григорьев И.А.* Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге. СПб: Сезам-принт, 2018. 448 с.
16. *Фёдоров Г.М., Михайлов А.С., Кузнецова Т.Ю.* Влияние моря на развитие экономики и расселения стран Балтийского региона // Балтийский регион. 2017. Т. 9. вып. 2. С. 7–27.
17. *Фруммин Г.Т., Гильдеева И.М.* Эвтрофирование водоемов — глобальная экологическая проблема // Экологическая химия. 2013. Т. 22. вып. 4. С. 191–197.
18. *Фруммин Г.Т., Каретникова Т.И.* Динамика поступления биогенных элементов в Финский залив со стоком российских и трансграничных рек // Региональная экология. 2017. Т. 1. вып. 47. С. 85–92
19. *Швецов В.Н.* Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий. М.: Издательство ВСТ. 2006. 57 с.
20. *Янин Е.П.* Общие условия и основные факторы формирования водного стока в городских ландшафтах // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2006. Т. 9. С. 73–111.
21. *Butler D., Digan C., Makropoulos C. and Davies J.W.* Urban Drainage. 4th ed. London: CRC Press. 2018. 592 p.  
<https://doi.org/10.1201/9781351174305>
22. *Caro-Borrero A., Carmona Jiménez J. and Mazari Hiriart M.* Evaluation of Ecological Quality in Peri-Urban Rivers in Mexico City // Proceedings of the 6th Nat. Congress of Limnology. 2016. V. 75. № 1. P. 1–16.  
<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2015.02.008>
23. Helcom Baltic Sea Action Plan [2022]. URL: <https://helcom.fi/baltic-sea-action-plan/> (дата обращения: 04.04.2022).
24. *Janke B.D., Finlay Jacques C., Hobbie S.E., Baker L.A., Sterner R.W., Nidzgorski D. and Wilson B.N.* Contrasting influences of stormflow and baseflow pathways on nitrogen and phosphorus export from an urban watershed // Biogeochemistry. 2014. V. 121 № 1. P. 209–228.  
<https://doi.org/10.1007/s10533-013-9926-1>
25. *Jolankai G.* Modelling of non-point source pollution // Ecological Modelling in Environmental Management. 1986. V. 5. P. 283–285.
26. *Kabore I., Moog O., Oueda A. and Sendzimir J.* Developing reference criteria for the ecological status West-African rivers // Environment Monitoring and Assessment. 2018. V. 190. № 2. P. 1–17.  
<https://doi.org/10.1007/s10661-017-6360-1>
27. *Klubov S.M., Tretyakov V.Yu.* Influence of St. Petersburg urban rivers on the inflow of pollutants into the Baltic Sea // E3S Web of Conferences. 2020. V. 163. P. 1–5.  
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016303006>
28. *Marsalek J.* Evolution of urban drainage from cloaca maxima to environmental sustainability // Proceedings I Nat. conf. of urban sanitary engineering. 2005. P. 1–22.
29. *Radulescu D., Racoviteanu G. and Swamikannu X.* Comparison of urban residential storm water runoff quality in Bucharest with int. data // E3S Web of Conferences. 2018. V. 85. P. 1–9.  
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20188507019>
30. *Rekolainen S.* Phosphorus and nitrogen load from forest and agricultural areas in Finland // Aqua Fennica. 1989. V. 19. P. 95–107.
31. US Geological Survey website. [2021]. URL: <http://www.Earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 7.04.2021).
32. *Zaharia L., Ioana-Toroimac G., Cocos O., Ghiță F. A. and Mailat E.* Urban. effects on the river systems in the Bucharest City region // Ecosystem Health and Sustainability. 2016. V. 2. P. 1–19.  
<https://doi.org/10.1002/ehs2.1247>
33. *Zhiyi L.* (2015), Analysis on Pollution Factors of Urban River // Journal of Geoscience and Environment Protection. 2015. V. 3. P. 9–16.  
<https://doi.org/10.4236/gep.2015.310002>

### Evaluation of the Sanitary Engineering Activity Contribution in the Decrease of Specific Nutrient Yield into the Baltic Sea from the Volkovka and Okhta Rivers Watersheds of St. Petersburg

S. M. Klubov<sup>1, 2, \*</sup>, V. Yu. Tretyakov<sup>1, 3, \*\*</sup>, V. V. Dmitriev<sup>3, \*\*\*</sup>, and I. O. Rozhkova<sup>3, \*\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup>State Budgetary Institution of Additional Education, Palace of Child Youth Art “At the Voznesensky Bridge” of the Admiralteyskiy District, Saint-Petersburg, Russia

<sup>3</sup>Saint Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

\*E-mail: klubov\_stepan@mail.ru

\*\*E-mail: v\_yu\_tretyakov@mail.ru

\*\*\*E-mail: vasilij-dmitriev@rambler.ru

\*\*\*\*E-mail: juliarozhkova21@gmail.com

**Abstract**—Overabundant specific nutrient yield into the Baltic Sea results in its anthropogenic eutrophication. The Baltic Sea watershed countries including Russia aim to coordinate

actions for protection of the sea marine environment. There is the environment protection committee (Helcom). The specific nutrient yields from watersheds of the Volkovka and Okhta Rivers of St. Petersburg were evaluated with usage of our methods. The specific nutrient yields were compared with ones calculated on the base of the numbers of inhabitants within the watersheds according to the Helcom methods. The research demonstrates that activity of the sanitary engineering and the state unitary enterprise (SUE) “Vodokanal of St. Petersburg” reduces nutrient load on the Baltic Sea from the watersheds in 19–45 times for total phosphorus and in 7–20 times for total nitrogen. The SUE “Vodokanal of St. Petersburg” is a conservational enterprise focused on the Baltic Sea environment protection.

*Keywords:* the Baltic Sea, eutrophication, specific nutrient yield

## REFERENCES

1. Alyabina G.A., Sorokin I.N. Osobennosti formirovaniya biogennoj nagruzki na vodnye ob'ekty s urbanizirovannyh landshaftov // *Izvestiya RGO*. 2001. T. 133, vyp. 1. S. 81–87.
2. Bojko N.A., Kaurova Z.G. Gidroximicheskij sostav r. Volkovka v 2015–2017 godax // *Molodoj issledovatel': materialy XLVI mezhd. nauchno-praktich. konferencii*. 2017. T. 21, vyp. 46. S. 64–69.
3. Ershova A.A. Kompleksnaya ocenka postupleniya biogenykh veshchestv s vodosbora reki Nevy v vostochnuyu chast' Finskogo zaliva // *Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata geograficheskix nauk, RGGMU* [2013] URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22342854/> (data obrashheniya: 8.04.2022).
4. Klemeshhev A.P., Korneev V.S., Pal'movskij T., Studzhniczkij T., Fyodorov G.M. Podhody k opredeleniyu ponyatiya “Baltijskij region” // *Baltijskij region*. 2017. T. 9, vyp. 4. S. 7–28.
5. Klubov S.M., Tret'yakov V.Yu. Ocenka zagryaznyonnosti vod rek Sankt-Peterburga s ispol'zovaniem otchetnykh materialov GUP “Vodokanal Sankt-Peterburga” // *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya*. 2019. T. 5, vyp. 3. S. 160–174.
6. Kondrat'ev S.A. Ocenka biogennoj nagruzki na Finskij zaliv Baltijskogo morya s rossijskoj chasti vodosbora // *Vodnye resursy*, 2011. T. 38, vyp. 1. S. 56–64.
7. Kondrat'ev S.A., Shmakova M.V., Viktorova N.V., Ulichev V.I. Fosfornaya nagruzka na Finskij zaliv s pribrezhnoj territorii Rossii // *Vestnik RAN*. 2014. T. 84, vyp. 10. S. 913–919.
8. Kondrat'ev S.A., Bryuxanov A.Yu., Terexov A.V., Struktura poverxnosti vodosbora kak opredelyayushhij faktor biogennoj nagruzki na vodoyom (po dannym matematicheskogo modelirovaniya) // *Voprosy geografii RGO*. 2018. T. 145. S. 89–108.
9. Lozovik P.A., Borodulina G.S., Karpechko Yu.V., Kondrat'ev S.A., Litvinenko A.V., Litvinova I.A., Biogennaya nagruzka na Onezhskoe ozero po dannym naturnykh nablyudenij // *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN*. 2016. T. 5. S. 35–52.
10. Mixajlov S.A. Diffuznoe zagryaznenie vodnykh ekosistem. Metody ocenki i matematicheskie modeli: Analiticheskij obzor. Barnaul: Izd-vo Den', 2000. 130 s.
11. Pogoda i klimat: Sajt. [2021]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=26063/> (data obrashheniya: 15.08.2021).
12. Pozdnyakov Sh.R., Kondrat'ev S.A. Formirovanie biogennoj nagruzki na Baltijskoe more s Rossijskoj territorii i vozmozhnosti ee snizheniya v sootvetstvii s trebovaniyami plana dejstvij Xelkom // *Regional'naya ekologiya*. 2017. T. 1, vyp. 47. S. 65–73.
13. Sajt Severo-Zapadnogo mezhhregional'nogo upravleniya Rosprirodnadzora [2022]. URL: <https://rpn.gov.ru/regions/78/intro/> (data obrashheniya: 17.08.2022)
14. Sajt federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki RF [2021]. URL: <http://www.gks.ru/> (data obrashheniya: 27.03.2021).
15. Serebriczkiy I.A., Grigor'ev I.A. Oхрана okruzhayushhej sredy, prirodopol'zovanie i obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti v Sankt-Peterburge. SPb: Sezam-print, 2018. 448 s.
16. Fyodorov G.M., Mixajlov A.S., Kuznecova T.Yu. Vliyanie morya na razvitie ekonomiki i rasseleniya stran Baltijskogo regiona // *Baltijskij region*. 2017. T. 9, vyp. 2. S. 7–27.
17. Frumin G.T., Gil'deeva I.M. E'vtrofirovaniye vodoemov — global'naya ekologicheskaya problema // *Ekologicheskaya ximiya*. 2013. T. 22, vyp. 4. S. 191–197.
18. Frumin G.T., Karetnikova T.I. Dinamika postupleniya biogenykh elementov v Finskij zaliv so stokom rossijskix i transgranichnykh rek // *Regional'naya ekologiya*. 2017. T. 1, vyp. 47. S. 85–92.
19. Shveczov V.N. Rekomendacii po raschetu sistem sbora, otvedeniya i ochistki poverxnostnogo stoka s selitebnykh territorij. M.: Izdatel'stvo VST. 2006. 57 s.
20. Yanin E.P. Obshhie usloviya i osnovnye faktory formirovaniya vodnogo stoka v gorodskih landshaftah // *Problemy okruzhayushhej sredy i prirodnykh resursov*. 2006. T. 9. S. 73–111.

21. Butler D., Digman C., Makropoulos C. and Davies J.W. *Urban Drainage*. 4th ed. London: CRC Press. 2018. 592 p.  
<https://doi.org/10.1201/9781351174305>
22. Caro-Borrero A., Carmona Jiménez J. and Mazari Hiriart M. Evaluation of Ecological Quality in Peri-Urban Rivers in Mexico City // *Proceedings of the 6th Nat. Congress of Limnology*. 2016. V. 75. № 1. P. 1 – 16.  
<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2015.02.008>
23. Helcom Baltic Sea Action Plan [2022]. URL: <https://helcom.fi/baltic-sea-action-plan/> (дата обращения: 04.04.2022)
24. Janke B.D., Finlay Jacques C., Hobbie S.E., Baker L.A., Sterner R.W., Nidzgorski D. and Wilson B.N. Contrasting influences of stormflow and baseflow pathways on nitrogen and phosphorus export from an urban watershed // *Biogeochemistry*. 2014. V. 121 № 1. P. 209–228.  
<https://doi.org/10.1007/s10533-013-9926-1>
25. Jolankai G. Modelling of non-point source pollution // *Ecological Modelling in Environmental Management*. 1986. V. 5. P. 283–285.
26. Kabore I., Moog O., Oueda A. and Sendzimir J. Developing reference criteria for the ecological status West-African rivers // *Environment Monitoring and Assessment*. 2018. V. 190. № 2. P. 1–17.  
<https://doi.org/10.1007/s10661-017-6360-1>
27. Klubov S.M., Tretyakov V.Yu. Influence of St. Petersburg urban rivers on the inflow of pollutants into the Baltic Sea // *E3S Web of Conferences*. 2020. V. 163. P. 1–5.  
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016303006>
28. Marsalek J. Evolution of urban drainage from cloaca maxima to environmental sustainability // *Proceedings I Nat. conf. of urban sanitary engineering*. 2005. P. 1–22.
29. Radulescu D., Racoviteanu G. and Swamikannu X. Comparison of urban residential storm water runoff quality in Bucharest with int. data // *E3S Web of Conferences*. 2018. V. 85. P. 1–9.  
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198507019>
30. Rekolainen S. Phosphorus and nitrogen load from forest and agricultural areas in Finland // *Aqua Fennica*. 1989. V. 19. P. 95–107.
31. US Geological Survey website. [2021]. URL: <http://www.Earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 7.04.2021)
32. Zaharia L., Ioana-Toroimac G., Cocos O., Ghiță F.A. and Mailat E. Urban. effects on the river systems in the Bucharest City region // *Ecosystem Health and Sustainability*. 2016. V. 2. P. 1–19.  
<https://doi.org/10.1002/ehs2.1247>
33. Zhiyi L. (2015), Analysis on Pollution Factors of Urban River // *Journal of Geoscience and Environment Protection*. 2015. V. 3. P. 9–16.  
<http://dx.doi.org/10.4236/gep.2015.310002>