



ЭКОЛОГИЯ

ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-217-226

УДК 504.61.054(470.23-25)+614.7

Научная статья / Research article

**Сток биогенных элементов и загрязняющих веществ
с городских водосборов****С.М. Клубов^{1,2}✉, В.Ю. Третьяков^{1,3}**¹*Российский государственный гидрометеорологический университет,
Санкт-Петербург, Российская Федерация*²*Государственное бюджетное учреждение дополнительного образования
Дворец творчества «У Вознесенского моста» Адмиралтейского района,
Санкт-Петербург, Российская Федерация*³*Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Российская Федерация*

✉klubov_stepan@mail.ru

Аннотация. Сток загрязняющих веществ и биогенных элементов (азота и фосфора) с урбанизированных территорий – важнейший источник токсического загрязнения и эвтрофирования водных объектов, который трудно поддается учету. Приведен обзор результатов определения модулей стока загрязняющих веществ и биогенных элементов с водосборов различной степени урбанизации. Модули стока для водосборных бассейнов рек Волковки и Охты Санкт-Петербурга получены с использованием авторской методики. Выполнено сравнение этих величин с результатами других исследований. Показано, что урбанизация оказывает существенное влияние на поступление биогенных элементов и загрязняющих веществ в водные объекты. Рассеянный поверхностный сток является основным источником поступления в водные объекты токсических веществ и соединений азота и фосфора с городских территорий.

Ключевые слова: урбанизация, поверхностный сток, модуль стока, эвтрофирование, загрязнение водных объектов

Вклад авторов: С.М. Клубов – сбор и обработка материала, проведение расчетов, написание текста статьи; В.Ю. Третьяков – разработка методики, критический анализ текста статьи.

© Клубов С.М., Третьяков В.Ю., 2022

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

История статьи: поступила в редакцию 23.02.2022; принята к публикации 15.05.2022.

Для цитирования: Клубов С.М., Третьяков В.Ю. Сток биогенных элементов и загрязняющих веществ с городских водосборов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 3. С. 217–226. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-217-226>

Runoff of nutrients and pollutants from urban watersheds

Stepan M. Klubov^{1,2}✉, Victor Yu. Tretyakov^{1,3}

¹ Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russian Federation

² State Budgetary Institution of Additional Education, Palace of Child Youth Art «At the Voznesensky Bridge» of the Admiralteyskiy district, Saint-Petersburg, Russian Federation

³ Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russian Federation

✉klubov_stepan@mail.ru

Abstract. Runoff of nutrients (nitrogen and phosphorus) and toxic pollutants from urbanized areas is significant source of toxic contamination and anthropogenic eutrophication of water bodies. It is difficult to calculate the surface runoff value. Overview of the runoff modules from urban watersheds with various degrees of urbanization is presented. Some results of our evaluation of the values for the watersheds of the Volkovka and Okhta rivers of St. Petersburg are considered. The evaluation was carried out with usage of our own methodology. The results of our research are compared with ones of other researches. The comparison demonstrates that urbanization significantly influences at intakes of the nutrients and pollutants into water object. The surface runoff is the main source of the pollutants and nutrients intakes into water objects from urban areas.

Keywords: Urbanization, surface runoff, runoff modules, eutrophication, toxic pollution of water objects

Authors' contributions: S.M. Klubov – collection and processing of material, calculations, writing the text of the article; V.Yu. Tretyakov – development of methodology, critical analysis of the text of the article.

Article history: received 23.02.2022; accepted 15.05.2022.

For citation: Klubov SM, Tretyakov VYu. Runoff of nutrients and pollutants from urban watersheds. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(3):217–226. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-217-226>

Введение

Активизация урбанизации началась в XVIII в. К 2021 г. доля городского населения в мире превысила 56 % и может к 2030 г. возрасти до 60 %. В России доля городского населения составляет около 75 %¹. Вместе с численностью городского населения увеличивается площадь городов и возрастает антропогенная нагрузка на окружающую среду.

¹Gks.ru [интернет]. Сайт федеральной службы государственной статистики РФ. URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения 27.03.2021).

Существует необходимость оценки антропогенного влияния на водные экосистемы. Урбанизированные территории оказывают влияние на водные объекты поступлением в них сточных вод и рассеянного поверхностного стока с водосбора. По результатам наших исследований в пределах Санкт-Петербурга происходит увеличение массы переносимых рекой Невой субстанций. Так, общая масса поверхностно-активных веществ увеличивается на 5 %, а цинка – на 220 % [1]. Последний феномен может быть объяснен поступлением соединений цинка из оцинкованных кровельных листов в историческом центре города. Загрязняющие токсические вещества и соединения азота и фосфора поступают с урбанизированных территорий в водные объекты главным образом в составе рассеянного поверхностного стока.

При определении допустимой антропогенной нагрузки на водные экосистемы используются величины модулей стока различных субстанций. Модуль стока какого-либо вещества – это отношение массы этой субстанции, поступающей с водосборного бассейна в речную сеть за единицу времени, к его площади. То есть это поступление субстанции с единичной площади водосбора за определенный промежуток времени, обычно за год.

При оценке антропогенной нагрузки на речную сеть Санкт-Петербурга существует одна важная проблема – это недостаточный охват государственной сетью экологического мониторинга водных объектов. Гидрографическая сеть города насчитывает около 47 водотоков. Северо-западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (СЗУГМС) выполняет ежемесячные исследования качества воды на 13 водотоках в пределах Санкт-Петербурга. Большинство водотоков оказываются неохваченными сетью мониторинга [2]. В связи с этим существует настоятельная необходимость оценки поступления субстанций с городских водосборов, сток с которых не учитывается в программе государственного мониторинга.

Цель исследования – сравнение модулей стока ряда субстанций с водосборных бассейнов рек Волковки и Охты Санкт-Петербурга, определенных нами, с модулями, полученными в результате других исследований стока с урбанизированных водосборов.

Обзор проблемы в литературе

Основной вклад в загрязнение водных объектов вносят сбросы недостаточно очищенных сточных вод и поступающий с водосборной площади загрязненный рассеянный поверхностный сток. Роль последнего пока изучена недостаточно в связи с объективными трудностями измерений и расчетов.

В статье коллег из Румынии [3] приведено сравнение концентраций субстанций в поверхностном стоке по результатам их исследований с данными, полученными в других странах (табл. 1). Также в табл. 1 приведены среднегодовые концентрации некоторых субстанций в поверхностном стоке, поступившем в реку Волковку в 2017–2019 гг. по данным ГУП «Водоканал СПб».

Из табл. 1 видно, что среднегодовая концентрация общего азота в поверхностном стоке с водосборного бассейна реки Волковки превышает это

значение в реках США, Малайзии и ряда стран Европы и сопоставима с концентрацией общего азота в поверхностном стоке в Иране.

Таблица 1

Осредненные концентрации ряда загрязняющих веществ, азота и фосфора в поверхностном стоке с урбанизированных водосборов [3]

Показатель	США	ФРГ	Румыния	Франция	Дания	Финляндия	Малайзия	Иран	Р. Волковка
Общ. азот, мг/л	1,2–1,9	2,4	–	2,8	1,1	1,8	–	6,7	5,6
Общ. фосфор, мг/л	0,3–0,4	0,4	–	0,8	0,3	0,2	0,4–1,0	0,3	0,4
Свинец, мкг/л	6,0–140,0	118,0	1,0	27,0–133,0	6,0	11,4	190,0	278,0	–
Цинк, мкг/л	70,0–200,0	275,0	79,0	270,0–550,0	60,0	232,0	50,0	342,0	40
Медь, мкг/л	12,0–33,0	48,0	51,0	55,0–61,0	11,0	34,0	–	–	5,5

Table 1

Averaged concentrations of pollutants, nitrogen and phosphorus in surface runoff from urbanized watersheds [3]

Parameter	USA	Germany	Romania	France	Danmark	Finland	Malaysia	Iran	Volkovka riv.
Total. nitrogen, mg/l	1.2–1.9	2.4	–	2.8	1.1	1.8	–	6.7	5.6
Total. phosph. mg/l	0.3–0.4	0.4	–	0.8	0.3	0.2	0.4–1.0	0.3	0.4
Lead. mcg/l	6.0–140.0	118.0	1.0	27.0–133.0	6.0	11.4	190.0	278.0	–
Zinc. mcg/l	70.0–200.0	275.0	79.0	270.0–550.0	60.0	232.0	50.0	342.0	40
Copper. mcg/l	12.0–33.0	48.0	51.0	55.0–61.0	11.0	34.0	–	–	5.5

Среднегодовые концентрации общего фосфора в поверхностном стоке с водосборного бассейна реки Волковки близки аналогичным величинам в других странах. А среднегодовые концентрации цинка и меди в поверхностном стоке с водосборного бассейна реки Волковки оказываются значительно ниже, чем в других странах.

Очевидно, что концентрации загрязняющих веществ и 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. Но значительно большие объемы поступления поверхностного стока в водные объекты и отсутствие очистки делают этот источник основным в загрязнении водных объектов.

Материалы и методы

Разработанная нами методика определения объемов поступления веществ с поверхностным стоком в городские водотоки опробована на водосборных бассейнах рек Волковки и Охты Санкт-Петербурга. Методика

основана на разработках ФГУП НИИ «Водгео» для расчетов переноса субстанций с поверхностным стоком [4]. Нами с использованием геоинформационной системы ArcGIS и цифровой модели рельефа (ЦМР) ASTER были определены границы водосборных бассейнов изученных водотоков. Данные ЦМР «ASTER» были нами существенно модифицированы для исключения искажений, вызванных поступлением отраженного радиолокационного сигнала от зданий и сооружений. В границах выделенных водосборных бассейнов для определения соотношения площадей различного хозяйственного использования нами была выполнена классификация территории на основании спутниковых снимков Sentinel-2².

Расчеты годового поступления загрязняющих веществ и биогенных элементов L в тоннах с водосборов рек Волковки и Охты производились по формуле [4]

$$L = L_c + L_p, \quad (1)$$

где L_c – годовое поступление с рассеянным поверхностным стоком, т; L_p – годовое поступление с выпусками сточных вод, т.

Годовое поступление с поверхностным стоком L_c рассчитывалось по формуле [4]

$$L_c = \Sigma (C_i \cdot 10y_i\psi_iA_i / 1000), \quad (2)$$

где C_i – среднегодовая концентрация субстанции в поверхностном стоке, мг/л; y_i – слой стока, мм; ψ_i – коэффициент стока для разных типов подстилающей поверхности; A_i – площадь того или иного типа поверхности, км².

Расчет по формуле (2) производился для каждого типа подстилающей поверхности водосборов. Площадь каждого типа поверхности рассчитывалась после классификации территорий на спутниковых снимках Sentinel-2 с пространственным разрешением 10 м/пиксель. Для классификации типов поверхностей на снимках использовался модуль Quantum GIS «Dzetsaka classification dock».

Слой стока y_i рассчитывался с использованием данных метеорологических наблюдений за 2017–2019 гг.³ Коэффициент стока ψ_i показывает, какая доля атмосферных осадков превращается в поверхностный сток. Чем он выше, тем большая часть выпадающих атмосферных осадков превращается в речной сток. Для определения коэффициентов стока для поверхностей разных типов использовалась справочная таблица из методики ФГУП НИИ «Водгео» [4].

Расчет годовой нагрузки от выпусков сточных вод L_p , т, производился по формуле [4]

² Сайт геологической службы США. URL: <http://www.Earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 07.04.2021).

³ Погода и климат. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=26063> (дата обращения: 15.08.2021).

$$L_p = C_{\text{ср}}V_k/1000, \quad (3)$$

где $C_{\text{ср}}$ – средняя концентрация субстанции в сточных водах в соответствии с отчетностью водопользователя; V_k – объем сбрасываемых сточных вод в соответствии с отчетностью водопользователя.

Для расчетов использовались отчетные материалы водопользователей, сбрасывающих сточные воды в исследованные водные объекты. В отчетных материалах водопользователей содержится информация о химическом составе и объемах сбрасываемых сточных вод за 2017–2019 гг.

Методики расчетов поступления биогенных элементов (азота и фосфора) и загрязняющих токсических веществ с поверхностным стоком, применяемые российскими и иностранными коллегами, имеют некоторые отличия от предложенной нами методики. Во многом это зависит от объекта исследования. Менее всего отличий в методике модели Institute Limnology Load Model (ILLM), разработанной в Институте озероведения РАН под руководством С.А. Кондратьева [5]. По сравнению с нашей методикой основным преимуществом данной модели является ее универсальность. В отличие от нашей методики модель ILLM применима для больших по площади водосборов с высоким разнообразием типов подстилающей поверхности. Также здесь существует возможность расчетов биогенной нагрузки с сельскохозяйственных территорий. В нашей методике такая возможность не предусмотрена в связи с отсутствием на исследованных городских водосборах сельскохозяйственных угодий. Но у модели ILLM есть и недостатки:

- 1) требуется использование большого количества осредненных данных, полученных по литературным источникам;
- 2) применение платного программного обеспечения.

Результаты и обсуждение

Весьма интересны результаты сравнения значений модулей стока биогенных элементов (общего азота и фосфора) и загрязняющих веществ с водосборных бассейнов городских рек Санкт-Петербурга и ряда других водосборов (табл. 2). Очевидны существенные различия значений. Они связаны как с природными особенностями различных водосборов, так и степенью их антропогенного освоения. Необходимо отметить, что модули стока в Англии и США рассчитаны по результатам осреднения данных по нескольким городам в первой половине 1980-х гг. [6].

Определенные по результатам наших исследований модули стока субстанций с водосборных бассейнов рек Волковки и Охты сопоставимы с аналогичными показателями для других водосборов.

Необходимо отметить, что 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. Также превышение наблюдается и для частных водосборов рек Невы и Волковки. Поступление

биогенных элементов в Балтийское море контролируется международным сообществом в рамках Хельсинской комиссии по охране Балтийского моря (Helsinki). Из-за избыточного поступления биогеогенных элементов (общего азота и фосфора) Балтийскому морю угрожает антропогенное эвтрофирование, ставящее под угрозу благополучие морской среды Балтийского региона. Но как видно из табл. 2, поступление азота и фосфора с российской части водосборного бассейна Финского залива не превышает максимально допустимого уровня в соответствии с рекомендацией Helsinki. Модули стока субстанций с водосборных бассейнов рек Волковки и Охты в значительной степени соответствуют значениям, полученным в результате исследований в Великобритании и отчасти в США. Более низкие значения модулей стока субстанций с водосбора оз. Неро (Ярославская обл., г. Ростов Великий) и водосбора Онежского озера в черте города Петрозаводска, вероятно, объясняются более низкой плотностью населения по сравнению с Санкт-Петербургом.

Таблица 2

Модули стока загрязняющих веществ и биогеогенных элементов, т/км²

Регион	Вещество					
	Фосфор общ.	Азот общ.	Взвешенные вещества	Медь	Цинк	Источник
Р. Волковка	0,104	1,295	4,814	0,001	0,009	Собственные расчеты
Р. Охта	0,134	1,799	7,724	0,002	0,015	
Р. Нева (частный водосбор)	0,144	0,696	–	–	–	[10]
Усредненные данные по российскому водосбору Финского залива	0,009	0,189	–	–	–	[8]
Максимально допустимые значения для водосбора Финского залива по рекомендации HELCOM	0,011	0,236	–	–	–	[3]
Петрозаводск	0,042	2,608	–	–	–	[11]
Оз. Неро (Ярославская обл.)	0,052	0,585	–	–	–	[8]
Сент-Пол (Миннесота, США)	0,047	0,230	–	–	–	[12]
Англия (города)	0,180	0,900	4,870	–	0,012	[9]
США (города)	0,330	0,800	–	–	–	[13]

Table 2

Runoff modules of pollutants and biogenic elements, tons / square kilometer

Place	Substance					
	Total phosphorus	Total nitrogen	Suspended solids	Copper	Zinc	Source
Volkovka river	0.104	1.295	4.814	0.001	0.009	Own calculations
Ohta river	0.134	1.799	7.724	0.002	0.015	
Neva river (partial watershed)	0.144	0.696	–	–	–	[10]
Averaged data on the Russian catchment area of the Gulf of Finland	0.009	0.189	–	–	–	[8]
Maximum allowable values for the Gulf of Finland catchment area according to the HELCOM recommendation	0.011	0.236	–	–	–	[3]
Petrozavodsk	0.042	2.608	–	–	–	[11]
Lake Nero (Yaroslavl region)	0.052	0.585	–	–	–	[8]
Saint Paul (Minnesota, USA)	0.047	0.230	–	–	–	[12]
England (cities)	0.180	0.900	4.870	–	0.012	[9]
USA (cities)	0.330	0.800	–	–	–	[13]

Городская среда изменяет состав поверхностного стока в сторону увеличения содержания загрязняющих веществ и биогенных элементов (азота и фосфора). Сравнение фоновых концентраций биогенных элементов (азота и фосфора) и ряда загрязняющих веществ, а также концентраций этих субстанций в поверхностном стоке с урбанизированных территорий представлено в табл. 3.

Таблица 3

Фоновые концентрации биогенных элементов (азота и фосфора) в поверхностном стоке, и концентрации в реке Волковке, мг/л

Регион	Вещество		
	Фосфор общ.	Азот общ.	Источник
р. Волковка	0,44	5,58	данные ГУП Водоканал СПб в 2017–2019 гг.
р. Охта	0,41	5,08	
Водосбор Финского залива	0,05	0,70	[5]
Водосбор Онежского озера	0,04	0,47	[8]
Лес	0,05	0,70	[5]
Поля и луга	0,08	3,10	

Table 3

Background concentrations of biogenic elements (nitrogen and phosphorus) in surface runoff, and concentrations in the Volkovka River, mg/l

Place	Substance		
	Total Phosphorus	Total nitrogen	Source
Volkovka river	0.44	5.58	Vodokanal Saint-Petersburg data 2017–2019
Ochta river	0.41	5.08	
Finnish Gulf watershed	0.05	0.70	[5]
Onega Lake watershed	0.04	0.47	[8]
Forest	0.05	0.70	[5]
Fields and meadows	0.08	3.10	

Из табл. 3 видно, что фоновая составляющая в концентрациях общего азота и фосфора в поверхностном стоке с водосборов рек Волковки и Охты составляет около 10 %.

Несмотря на геохимические особенности различных регионов, содержание общего азота и фосфора в поверхностном стоке с водосборов урбанизированных территорий определяется главным образом условиями городской среды, а не природными климатическими и ландшафтными особенностями.

Выводы

1. Модули стока общего азота и фосфора с городских водосборов рек Волковки и Охты превышают значения модулей стока этих элементов для всего частного водосбора реки Невы.

2. Модули стока общего азота и фосфора с частного водосбора реки Невы, в пределах которого расположен Санкт-Петербург, значительно превышают средние значения для российской части водосбора Финского залива.

3. Средние модули стока общего 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.

4. Модули стока общего азота и фосфора с урбанизированных водосборных бассейнов в различных странах близки по своим значениям.

5. Как правило, основным источником поступления в водные объекты загрязняющих веществ и биогенных элементов (азота и фосфора) с урбанизированных водосборных бассейнов является рассеянный поверхностный сток.

6. Фоновая составляющая в концентрациях общего азота и фосфора в поверхностном стоке с водосборных бассейнов рек Волковки и Охты составляет около 10 %.

7. Химический состав поверхностного стока с водосборов урбанизированных территорий в основном определяется условиями городской среды, а не природными климатическими и ландшафтными особенностями.

8. Результаты наших исследований могут быть использованы для определения осредненных значений модулей стока ряда субстанций с урбанизированных водосборов. При недостаточности данных мониторинга эти значения могут использоваться при оценке антропогенной нагрузки на водные объекты в пределах урбанизированных территорий.

Список литературы

- [1] 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. Vol. 163. P. 1–5.
- [2] Серебрицкий И.А., Григорьев И.А. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге. СПб.: Сезам-принт, 2018.
- [3] Radulescu D., Racoviteanu G., Swamikannu X. Comparison of urban residential storm water runoff quality in Bucharest with int. data // *E3S Web of Conferences*. 2018. Vol. 85. P. 1–9.
- [4] Швецов В.Н. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий. М.: Издательство ВСТ, 2006.
- [5] Кондратьев С.А. Оценка биогенной нагрузки на Финский залив Балтийского моря с российской части водосбора // *Водные ресурсы*. 2011. Т. 38. № 1. С. 56–64.
- [6] Butler D., Digman C., Makropoulos C., Davies J.W. *Urban Drainage*. 4th ed. London: CRC Press, 2018.
- [7] Ершова А.А. Комплексная оценка поступления биогенных веществ с водосбора реки Невы в восточную часть Финского залива: дис. ... канд. географ. наук. Санкт-Петербург, 2013. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22342854> (дата обращения: 12.11.2021).
- [8] 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. № 5. С. 35–52.
- [9] Janke Benjamin D., Finlay Jacques C., Hobbie Sarah E., Baker Larry A., Sterner Robert W., Nidzgorzski D. Contrasting influences of stormflow and baseflow pathways on nitrogen and phosphorus export from an urban watershed // *Biogeochemistry*. 2014. Vol. 121. P. 209–228

- [10] Jolankai G. Modelling of non-point source pollution // *Ecological Modelling in Environmental Management*. 1983. Vol. 5. P. 283–285.

References

- [1] Klubov SM, Tretyakov VYu. Influence of St. Petersburg urban rivers on the inflow of pollutants into the Baltic Sea. *E3S Web of Conferences*. 2020;163:1–5.
- [2] Serebritckiy IA, Grigoriev IA. *Environmental protection, nature management and environmental safety in St. Petersburg*. St. Petersburg: Sezam-print Publ.; 2018. (In Russ.)
- [3] Radulescu D, Racoviteanu G, Swamikannu X. Comparison of urban residential storm water runoff quality in Bucharest with int. data. *E3S Web of Conferences*. 2018;85:1–9.
- [4] Shvecov VN. *Recommendations for the calculation of systems for collecting, diverting and cleaning surface runoff from residential areas*. Moscow: VST Publishing House; 2006. (In Russ.)
- [5] Kondratiev SA. Assessment of the biogenic load on the Gulf of Finland of the Baltic Sea from the Russian part of the catchment area. *Water resources*. 2011;38(1):56–64. (In Russ.)
- [6] Butler D, Digman C, Makropoulos C, Davies JW. *Urban Drainage*. 4th ed. London: CRC Press Publ.; 2018.
- [7] Ershova AA. *Complex assessment of the transfer of biogenic substances from the Neva River watershed to the eastern part of the Gulf of Finland* [dissertation]. Saint Petersburg; 2013. (In Russ.) Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22342854>
- [8] Lozovik PA, Borodulina GS, Karpechko YuV, Kondratiev SA, Litvinenko AV, Litvinova IA. Biogenic load on Lake Onega according to field observations. *Proceedings of the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences*. 2016;5:35–52. (In Russ.)
- [9] Janke Benjamin D, Finlay Jacques C, Hobbie Sarah E, Baker Larry A, Sterner Robert W, Nidzgorski D. Contrasting influences of stormflow and baseflow pathways on nitrogen and phosphorus export from an urban watershed. *Biogeochemistry*. 2014;121:209–228.
- [10] Jolankai G. Modelling of non-point source pollution. *Ecological Modelling in Environmental Management*. 1983;5:283–285.

Сведения об авторах:

Клубов Степан Максимович, аспирант Российского государственного гидрометеорологического университета, Российская Федерация, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., д. 98, педагог дополнительного образования ГБУДО ДТ «У Вознесенского моста» Адмиралтейского района Санкт-Петербурга. eLIBRARY SPIN-код: 3247-3114. E-mail: klubov_stepan@mail.ru

Третьяков Виктор Юрьевич, кандидат географических наук, доцент Российского государственного гидрометеорологического и Санкт-Петербургского государственного университетов. Российская Федерация, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., д. 98; Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9. eLIBRARY SPIN-код: 1716-5118. E-mail: v_yu_tretyakov@mail.ru

Bio notes:

Stepan M. Klubov, graduate student Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky Ave., St. Petersburg, 195196, Russian Federation, teacher State budgetary institution of additional education, Palace of Child Youth Art “At the Voznesensky Bridge”. eLIBRARY SPIN-code:3247-3114. E-mail: klubov_stepan@mail.ru.

Victor Yu. Tretyakov, PhD, Associate Professor Russian State Hydrometeorological University and Saint Petersburg State University, 98 Malookhtinsky Ave., St. Petersburg, 195196, Russian Federation, 7–9 Universitetskaya Naberezhnaya St, St. Petersburg, 199034, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-code:1716-5118. E-mail: v_yu_tretyakov@mail.ru