

УДК 504.61.054(470.23-25) + 614.7

С. М. Клубов^{1,2}
В. Ю. Третьяков^{2,3}
В. В. Дмитриев³

Особенности поступления биогенных элементов с водосборного бассейна городской реки (на примере р. Волковки Санкт-Петербурга)

¹ ГБУ ДО ДТ «У Вознесенского моста» Адмиралтейского района Санкт-Петербурга, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

e-mail: klubov_stepan@mail.ru

² ФГОУ ВО Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

e-mail: v_yu_tretyakov@mail.ru

³ ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

e-mail: vasily-dmitriev@rambler.ru

Аннотация. При определении объёмов поступления загрязняющих веществ в городские реки часто переоценивается такой источник поступления загрязняющих веществ как сточные воды и недооценивается поверхностный сток. В статье приведены результаты расчёта величины поступления соединений азота и фосфора с поверхностным стоком и сточными водами в реку Волковку Санкт-Петербурга в 2017-2021 годах. По результатам исследования установлено, что лишь около одной пятой этой величины поступает со сточными водами. Большая часть этих биогенных элементов поступает с поверхностным стоком с водосборного бассейна.

Ключевые слова: загрязнение малых рек, сточные воды, поверхностный сток.

Введение

Проблема загрязнения городских рек в крупных агломерациях, подобных Санкт-Петербургу является актуальной и часто обсуждаемой в научных публикациях. Основными источниками загрязнения рек являются сточные воды, поверхностный сток и воды притоков. Часто в качестве основной причины загрязнения городских рек рассматривают сточные воды [1]. Однако это не всегда так. В городах поверхностный сток аккумулирует большие массы загрязняющих веществ и биогенных элементов. При этом он, в отличие от сточных вод, не подвергается очистке. Основной причиной недооценки вклада поверхностного стока является отсутствие простой и унифицированной методики оценки поступления субстанций в его составе [2].

Цель исследования – определение основного источника поступления азота и фосфора с поверхностным стоком и сточными водами в реку Волковку в 2017-2021 годах.

Материалы и методы

Малая река Волковка – это одна из самых загрязненных рек Санкт-Петербурга [3]. Река протекает на юге города. Её водосборный бассейн включает сельскохозяйственные угодья, пустыри, зоны промышленных предприятий, районы многоэтажной жилой застройки, зоны зелёных насаждений, кладбища. Протяженность реки – чуть более 15 км [4]. В неё осуществляется более 100 выпусков. Исследование Волковки позволяет оценить характерные объёмы поступления азота и фосфора с поверхностным стоком и сточными водами в малые реки урбанизированных территорий.

На реке Волковке, как и на большинстве малых рек Санкт-Петербурга, отсутствуют створы регулярных наблюдений ФГБУ «Северо-западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [5]. В качестве источника гидрохимической информации о качестве воды в р. Волковке, как приемнике сточных вод, нами использованы данные регулярных наблюдений ГУП «Водоканал СПб». Створы предприятия расположены в нижнем и верхнем течении реки (рис. 1). Данные регулярных наблюдений ГУП «Водоканал СПб» за качеством воды в р. Волковке, данные об объёмах и химическом составе сбрасываемых сточных вод в реку в 2017-2021 гг. были предоставлены Комитетом по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Правительства Санкт-Петербурга. Для определения среднегодового расхода воды в р. Волковке в 2018-2020 гг. нами был проведён ряд измерений расхода методом поверхностных поплавков. Также были использованы данные монографии Р.А. Нежиховского [6].

Для выявления вклада сточных вод и загрязненного поверхностного стока в загрязнение р. Волковки была определена масса поступивших азота и фосфора в составе сточных вод и поверхностного стока с водосбора (рис. 1).

Масса сбрасываемого загрязняющего вещества, поступающего в водный объект со сточными водами за квартал года, рассчитывается по формуле 1 [7]:

$$M_k = C_{ск} \cdot V_k / 1000 \quad (1)$$

Здесь M_k – масса сбрасываемого загрязняющего вещества за квартал в тоннах, $C_{ск}$ – среднеквартальная концентрация загрязняющего вещества ($\text{г}/\text{м}^3$), V_k – суммарный за год объём сбрасываемых сточных вод (тысяч м^3). Для определения массы субстанции, поступившей в водный объект за год, суммируются величины поступления субстанции (M_k) за все четыре квартала.

Масса сбрасываемого загрязняющего вещества, поступающего в водный объект с дождевым или талым стоком, а также поливочными водами, рассчитывается по формуле 2 [7]:

$$M_d(M_T)(M_M) = C_d(C_T)(C_M) \cdot W_d(W_T)(W_M) / 1000 \quad (2)$$

Здесь $M_d(M_T)(M_M)$ – массы поступающего загрязняющего вещества в составе талых, дождевых и поливочных вод в тоннах, $C_d(C_T)(C_M)$ – концентрации загрязняющего вещества в этих водах ($\text{г}/\text{м}^3$), $W_d(W_T)(W_M)$ – объёмы стока дождевых, талых и поливочных вод (тысяч м^3).

Расчет поверхностного стока за год производится по формуле 4 [7]:

$$M_{п} = M_d + M_T + M_M \quad (3)$$

Объёмы поступающих в реку дождевых, талых и поливочных вод вычислялись в соответствии с рекомендациями ФГУП «НИИ ВОДГЕО» [7]. Расчет поступающих дождевых и талых вод выполнялся по формуле 4 [7]:

$$W_{\partial}(W_m)=10h_{\partial}(h_m)\psi_{\partial}(\psi_m)F \quad (4)$$

Здесь $W_{\partial}(W_m)$ – объём дождевых или талых вод в тыс. м³, $h_{\partial}(h_m)$ – слой осадков за тёплый или холодный период года в мм в соответствии с фактическими климатическими данными [8], $\psi_{\partial}(\psi_m)$ – общий коэффициент стока в соответствии с таблицей 1, F – площадь стока в гектарах.

Расчет поступающих поливочных вод производился по формуле 5 [7]:

$$W_m=10mk\psi_mF_m \quad (5)$$

Здесь W_m – общий годовой объём поливочных вод в тыс. м³, t – удельный расход воды на одну мойку, k – среднее количество моек в году, ψ_m – коэффициент стока для поливочных вод.

Доля поступления азота или фосфора в реку Волковку со сточными водами определялась по формуле 6:

$$P = (\sum M_k / (\sum M_k + M_{\Pi})) * 100 \quad (6)$$

Здесь P – доля (в %) азота или фосфора, поступающего в реку Волковку со сточными водами от его суммарного поступления, $\sum M_k$ – масса субстанции, поступившей со сточными водами за год в тоннах, M_{Π} – масса субстанции, привносимой в р. Волковку с поверхностным стоком в тоннах.

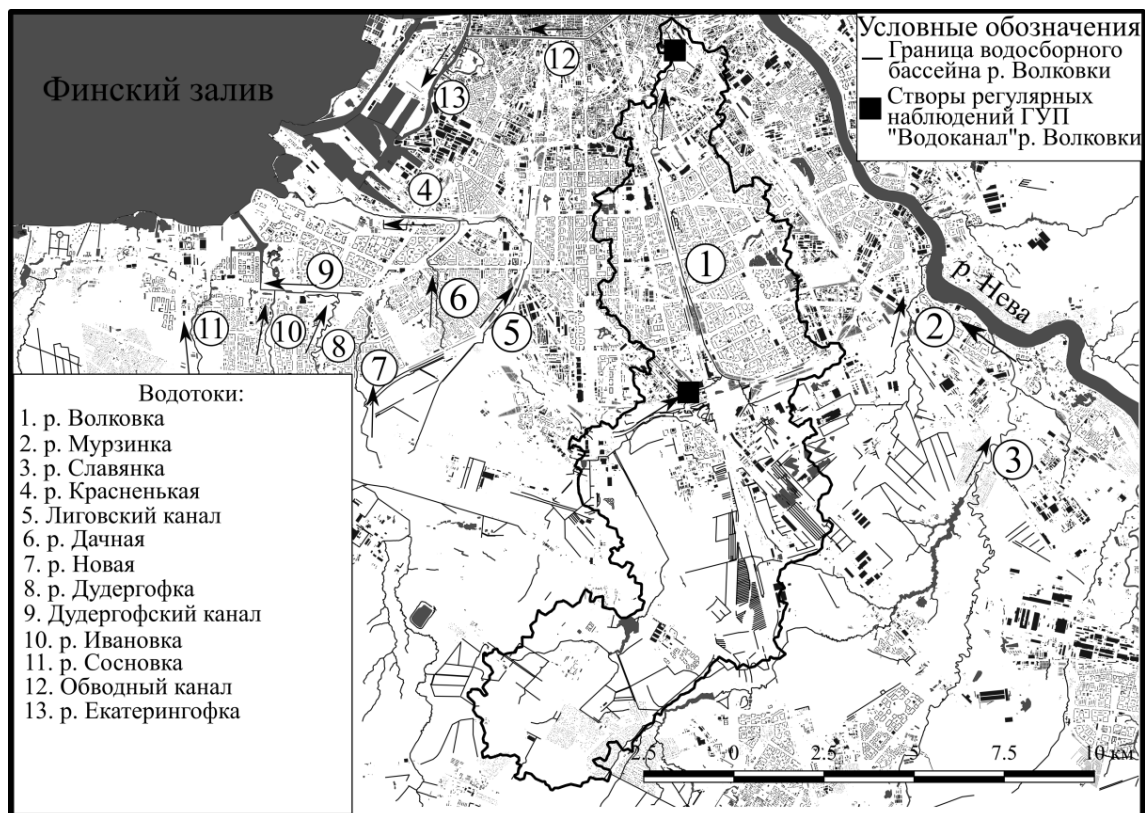


Рис. 1. Карта-схема водосборного бассейна реки Волковки в Санкт-Петербурге

Составлено авторами

Для расчётов величин поступления этих биогенных элементов с водосборного бассейна реки Волковки по формулам 2-5 нами с помощью геоинформационного моделирования впервые были определены границы её водосборного бассейна. Водосборный бассейн реки Волковки был выделен на

основании находящейся в свободном доступе цифровой модели рельефа ASTER [9], содержащей искажения, вызванные отражением радиолокационного сигнала от крыш зданий, сооружений и т.д. Исходный растр высот цифровой модели рельефа был преобразован в матрицу истинных высот поверхности с использованием инструментов QGIS и карты высот поверхности Санкт-Петербурга. Для этого были выделены ячейки растра, целиком расположенные на поверхности рельефа, и преобразованы в точечные объекты. Затем была выполнена интерполяция высоты рельефа между точками его истинных значений с генерацией матрицы высот без искажений. Обработка этой матрицы далее осуществлялась в среде ArcGIS. На матрице высот с использованием инструмента «Fill» были заполнены локальные понижения. Затем были определены линии стока с использованием инструмента «Flow direction». С помощью инструмента «Watershed» был выделен водосбор реки Волковки, далее преобразованный в полигональный векторный слой (рис. 1).

Для определения площадей различных типов подстилающей поверхности на водосборе р. Волковки была выполнена классификация с обучением в ГИС QGIS. Был использован мультиспектральный снимок со спутника Sentinel-2 за 25 июня 2020 года (безоблачная сцена T35VPG), загруженный с сайта геологической службы США [9]. Для дешифрирования различных классов подстилающей поверхности был создан композитный растровый слой по данным красного, зелёного и ближнего инфракрасного каналов.

Классификация с обучением была выполнена с помощью модуля QGIS «Dzetsaka classification dock», затем классифицированный растр был векторизован. В среде QGIS были вычислены суммарные площади различных типов поверхности в пределах водосбора р. Волковки, а также их доли в общей площади водосбора (таблица 1).

Результаты и обсуждение

С 2017 по 2021 год доли поступления азота и фосфора со сточными водами в общем объёме поступления этих биогенных элементов с водосборного бассейна реки Волковки увеличились с 14-16 % до 21-22 %, но эти доли не превышают 25 % (рис. 2).

Рисунок 2 показывает, что в 2017 году доли поступления форм азота и фосфора со сточными водами были самыми низкими за весь период наблюдений. Вероятно, это вызвано тем, что 2017 год характеризовался максимальным количеством атмосферных осадков за этот период времени (рис. 3).

Выводы

По результатам исследования установлено, что доли поступления азота и фосфора со сточными водами с водосбора р. Волковки в 2017-2021 гг. составляли около 20 % от суммарной величины поступления этих биогенных элементов в р. Волковку. При этом имела место незначительная межгодовая изменчивость этих долей. Вероятно, эти колебания были вызваны изменчивостью годовой суммы атмосферных осадков. Большее количество осадков, поступающих на водосборный бассейн реки, увеличивает количества азота и фосфора, поступающих в реку в составе поверхностного стока. И наоборот, снижение

объёма атмосферных осадков приводит к снижению величины суммарного поступления азота и фосфора с поверхностным стоком.

По результатам наших исследований именно поверхностный сток с водосборного бассейна является основным источником поступления азота и фосфора в реку Волковку. Разумеется, сточные воды также являются важным источником поступления азота и фосфора, но их доля составляет лишь около 20 % от общего поступления этих биогенных элементов со сточными водами и поверхностным стоком.

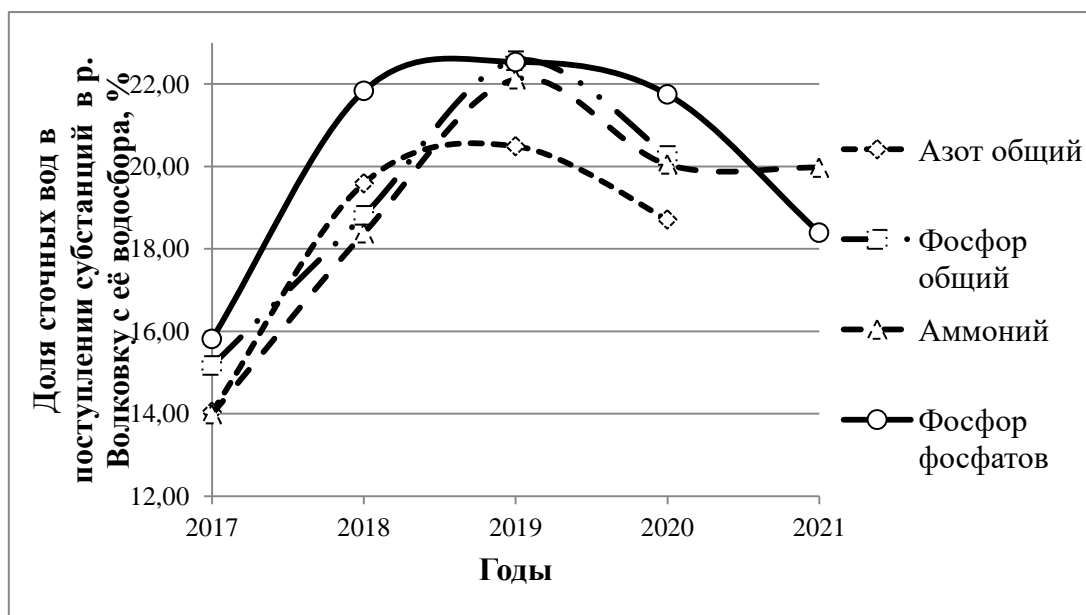


Рис. 2. Динамика доли поступления форм азота и фосфора в р. Волковку со сточными водами с её водосбора

Составлено авторами

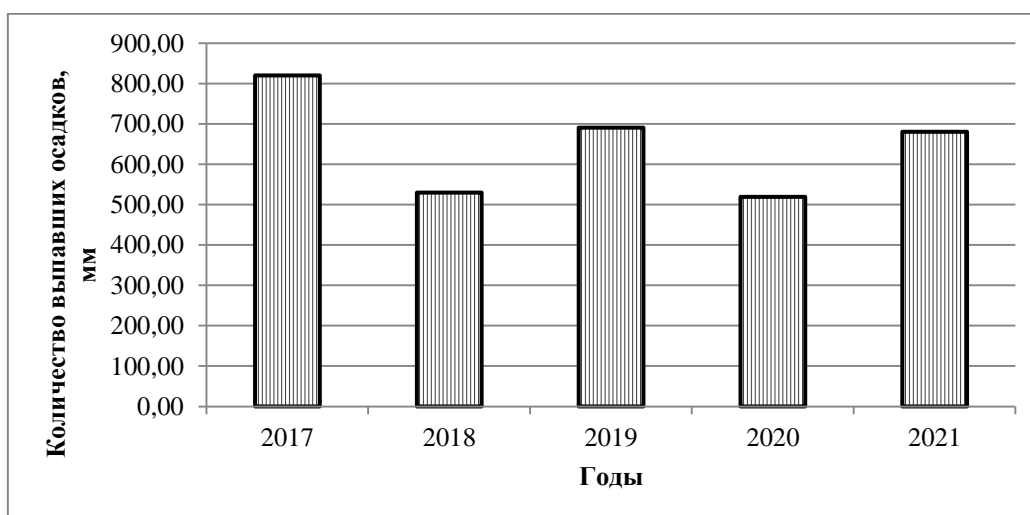


Рис. 3. Ежегодное количество осадков в 2017-2021 гг.

Составлено по [8]

Литература

1. Справочник по гидрохимии, под ред. А. М. Никанорова, Л.: Гидрометеиздат, 1989. 390 с.
2. Кондратьев С. А. Оценка биогенной нагрузки на Финский залив Балтийского моря с российской части водосбора // Водные ресурсы. 2011. Т. 38. №1. С. 56-64.
3. Клубов С. М., Третьяков В. Ю. Оценка загрязнённости 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(71). №3. С. 160-174.
4. Клубов С. М., Третьяков В. Ю. Оценка пространственного распределения загрязнения реки Волковки // Метеорологический вестник. 2018. Т. 10. №1. С. 12-30.
5. Серебрицкий И. А., Григорьев И. А. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2017 году. СПб: Сезам-принт, 2018. 448 с.
6. Нежиховский Р. А. Река Нева и Невская губа. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 84 с.
7. Швецов В. Н. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий. М.: Издательство ВСТ, 2006. 57 с.
8. Погода и климат [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=26063>.
9. Сайт геологической службы США [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

S. M. Klubov^{1,2}
V. Yu. Tretyakov^{2,3}
V. V. Dmitriev³

Features of the receipt of biogenic elements from the catchment basin of the urban river (on the example of the Volkovka River of Saint Petersburg)

¹ GBU DO DT "At the Voznesensky Bridge" Admiralteysky district of St. Petersburg

e-mail: klubov_stepan@mail.ru

² Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

e-mail: v_yu_tretyakov@mail.ru

³ St. Petersburg State University, St. Petersburg

e-mail: vasilij-dmitriev@rambler.ru

Abstract. Usually scientists do not pay enough attention to the flow of nutrients with surface runoff into urban rivers. They overestimate the danger of income of nutrients with wastewater. The paper presents results of evaluation of the total nitrogen and phosphorus income with the surface runoff and the wastewater into the Volkovka River of St. Petersburg in 2017-2021. According to the results, the income of the biogenic elements into the Volkovka River with wastewater is equal to about 20 % of the total intake. The bulk of the substances enters the Volkovka River with the surface runoff from the catchment area.

Keywords: *water pollution small rivers, wastewater, runoff*

References

1. Spravochnik po gidroximii, pod red. A.M. Nikanorova, L.: Gidrometeoizdat, 1989. 390 s. (In Russian)
2. Kondrat`ev S. A. Ocenka biogennoj nagruzki na Finskij zaliv Baltijskogo morya s rossijskoj chasti vodosbora // Vodny`e resursy`.2011. T. 38. №1. S. 56-64. (In Russian)
3. Klubov S. M., Tret`yakov V. Yu. Ocenka zagryaznyonosti vod rek Sankt-Peterburga s ispol`zovaniem otchetny`x materialov GUP «Vodokanal Sankt-Peterburga» // Ucheny`e zapiski Kry`mskogo federal`nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. 2019. T.5(71). №3. s. 160-174. (In Russian)
4. Klubov S. M., Tret`yakov V. Yu. Ocenka prostranstvennogo raspredeleniya zagryazneniya reki Volkovki // Meteorologicheskij vestnik. 2018. T. 10. №1. S. 12-30. (In Russian)
5. Serebriczkiy I. A., Grigor`ev I. A. Oxrana okruzhayushhej. sredy`, prirodopol`zovanie i obespechenie e`kologicheskoy bezopasnosti v Sankt-Peterburge v 2017 godu. SPb: Sezam-print, 2018. 448 s. (In Russian)
6. Nezhixovskij R. A. Reka Neva i Nevskaya guba. L.: Gidrometeoizdat, 1981. 84 s. (In Russian)
7. Shveczov V. N. Rekomendacii po raschetu sistem sbora, otvedeniya i ochistki poverxnostnogo stoka s selitebny`x territorij. – M.: Izdatel`stvo VST, 2006. 57 s. (In Russian)
8. Pogoda i klimat URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=26063> (In Russian)
9. Sajt geologicheskoy sluzhby` SShA URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Поступила в редакцию 10.10.2022 г.