

УДК 502.51+504.45+ 504.4.054

*С.М. Клубов<sup>1</sup>, Ю.О. Рожкова, В.Ю. Третьяков, В.В. Дмитриев*

## **ФОРМИРОВАНИЕ СТОКА АЗОТА И ФОСФОРА НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ВОДОСБОРАХ МАЛЫХ РЕК**

Санкт-Петербургский государственный университет

(Россия, Санкт-Петербург, <sup>1</sup>klubov\_stepan@mail.ru)

**Аннотация.** Рассматриваются модули стока биогенных элементов (общего азота и фосфора) с водосборов ряда рек бассейна Балтийского моря (реки Охта, Волковка, Нева, Ижора, Луга и другие). Для расчета этих модулей стока использованы результаты собственных исследований водосборов рек Охты и Волковки в Санкт-Петербурге. Применены результаты моделирования стока биогенных элементов, выполненного в Институте озероведения РАН с использованием модели ILLM. Рассчитаны модули стока азота и фосфора с водосборов водных объектов, на которых отсутствует мониторинг гидрохимического состава воды. Выполнено сравнение рассчитанных модулей стока общего азота и фосфора с модулями, определёнными на основании максимально допустимых количеств поступления азота и фосфора в Балтийское море в соответствии с решениями Хельсинкской комиссии по защите морской среды Балтийского моря (HELCOM).

**Ключевые слова:** эвтрофирование Балтийского моря, модули стока азота и фосфора

*S.M. Klubov<sup>1</sup>, I.O. Rozkova, V.Yu. Tretyakov, V.V. Dmitriev*

## **NITROGEN AND PHOSPHORUS DISCHARGES FORMATION WITHIN URBANIZED WATERSHEDS OF SMALL RIVERS**

Saint Petersburg State University

(Russia, Saint Petersburg, [1klubov\\_stepan@mail.ru](mailto:1klubov_stepan@mail.ru))

**Abstract.** Specific discharges of total nitrogen and phosphorus from watersheds of several rivers of the Baltic Sea catchment area are considered. The discharges values were calculated on the base of our researches of the Okhta River and Volkovka River watersheds. We used some results of the biogenic elements outflow simulation, carried out in Institute of Limnology of Russian Academy of Sciences with usage of ILLM model. The discharges from water objects watersheds without the water chemical state monitoring stations have been calculated. The calculated values of the discharges were compared with the discharges corresponded the maximum permissible nitrogen and phosphorus

intakes into the Baltic Sea according to Baltic Marine Environment Protection Commission (the Helsinki Commission, HELCOM) conclusions.

**Keywords:** the Baltic Sea eutrophication; nitrogen and phosphorus specific discharges.

## Введение

Специфика Балтийского моря заключается в наличии обширного водосборного бассейна, расположенного в пределах ряда стран с развитой промышленностью и сельским хозяйством. Это определяет высокую степень антропогенной нагрузки на экосистему моря. На побережье Балтийского моря расположено много крупных городских агломераций. Темпы роста численности населения на побережье Балтийского моря превышают аналогичный показатель для удаленных от Балтийского моря территорий. Например, с 1959 по настоящее время удельный вес прибалтийских регионов РФ в общей численности населения страны вырос с 4,4 % до 5,5 %. В таких прибалтийских странах, как Швеция, Дания, Финляндия, Латвия, Эстония плотность населения приморских регионов превышает аналогичный показатель для внутренних регионов в 5 раз [1].

Сток расположенных на водосборном бассейне Балтийского моря рек во многом определяет его экологическое состояние. Избыточное поступление биогенных элементов (азота и фосфора) с речным стоком ведёт к антропогенному эвтрофированию Балтийского моря. Особенность водосборного бассейна Балтийского моря – высокая степень его урбанизации, особенно в прибрежной зоне. Поэтому для определения экологически обоснованных норм антропогенного воздействия на Балтийское море необходимы исследования специфики формирования химического состава речного стока на урбанизированных водосборах.

Охрана Балтийского моря от загрязнения и антропогенного эвтрофирования – приоритетные задачи международного сообщества. В соответствии требованиями Плана действий по Балтийскому морю международной организации Хельсинская комиссия по защите морской среды Балтийского моря (HELCOM) [2] установлены максимальные значения

биогенной нагрузки (общего азота и фосфора) на Финский залив. Около 80 % площади водосборного бассейна Финского залива расположено на территории России.

### 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 определённый 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» [3].

Поступление общего азота и фосфора с водосборов Ладожского озера, рек Невы, Луги, Нарвы и других водных объектов бассейна Балтийского моря рассчитано в Институте озероведения РАН с помощью модели формирования биогенной нагрузки ILLM [4]. Нами рассчитаны модули стока общего азота и фосфора с водосборов ряда водных объектов бассейна Балтийского моря. Результаты представлены в таблице 1.

### Обсуждение результатов

Как видно из таблицы 1, модули стока общего азота и фосфора максимальны на частном водосборе реки Охты в её 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.

**Таблица 1.** Модули стока общего азота и фосфора с водосборов ряда водных объектов бассейна Балтийского моря.

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	Наши расчеты, данные 2018-2019 гг.
Река Волковка	1,295	0,104	Наши расчеты, данные 2017-2019 гг.
река Ижора	1,100	0,085	[5]
Река Нева (частный водосбор)	0,696	0,144	[4]
Малые реки Южного и Северного побережья Финского залива	0,550	0,040	[6]
Река Луга	0,349	0,027	[4]
Сестрорецкий разлив	нет данных	0,020	[7]
Максимально допустимые значения для водосбора Финского залива по рекомендации HELCOM	0,236	0,011	[2]
Средние значения по российской части водосбора Финского залива	0,189	0,009	[4]
Ладожское озеро	0,143	0,004	[4]
река Нарва	0,102	0,004	[4]

Вероятно, причина этого – высокая доля застроенной и заасфальтированной территории водосбора, которая превышает 50 % его площади. В реку Охту сбрасываются сточные воды общесплавной канализации.

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 серьёзной причиной антропогенного эвтрофирования.

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 озероведения РАН с использованием модели ILLM [4]. 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. Её 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 расчётов 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 Планом действий по Балтийскому морю (HELCOM) [2], предельно допустимая нагрузка на экосистему Финского залива от точечных и неточечных источников составляет 4860 т/год для общего фосфора и 106680 т/год для общего азота. В соответствии с исследованиями Института озероведения 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 [4, 6-7].

Для снижения риска антропогенного эвтрофирования экосистемы Финского залива средние величины модулей стока биогенных элементов для всего его водосбора не должны превышать 0,011 тонн/км<sup>2</sup> в год для общего фосфора и 0,236 тонн/км<sup>2</sup> в год для общего азота. Как видно из таблицы 1, значения модулей стока азота и фосфора с водосборов рек Волковки и Охты превышают эти значения, определённые 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, определённых для российской части водосбора Финского залива в соответствии с предельно допустимой биогенной нагрузкой по документам HELCOM. Модули стока азота и фосфора с водосбора реки Луги также превышают значения модулей, соответствующих предельно допустимой нагрузке. Водосборный бассейн Луги отличается высокой степенью урбанизации и заселённости, включая дачные посёлки и садоводства.

Таким образом, приходится констатировать, что 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 российских частей водосбора Балтийского моря (водосбор российской части Финского залива) не

превышают значений, определённых на основании установленных HELCOM максимально допустимых нагрузок.

#### Выводы

1. Модули стока азота и фосфора с водосборов рек Волковка, Охта и Ижора превышают значения модулей стока этих элементов для частного водосбора реки Невы, на котором они расположены.
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, определённые 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 состояния малой реки Волковки и малых рек южного и северного побережий Финского залива затрудняет оценку поступления биогенных элементов в Балтийское море с его водосбора.

**Благодарность.** Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ 19-05-00683а.

#### Список использованных источников

1. Фёдоров Г.М., Михайлов А.С., Кузнецова Т.Ю. Влияние моря на развитие экономики и расселения стран Балтийского региона // Балтийский регион. 2017. Т. 9, № 2. С. 7—27.
2. HELCOM Baltic Sea Action Plan // HELCOM Ministerial Meeting. Krakow, Poland, 15 November 2007. 101 p.

3. Клубов С.М. Третьяков В.Ю., Рожкова Ю.О. Оценка поступления загрязняющих веществ с водосбора в малую реку Санкт-Петербурга Волковку в 2017-2019 годы с использованием методов геоинформационного моделирования // Сборник материалы XXV Международного Биос-форума и Молодежной Биос-олимпиады 2020. Книга 2. 2021. С. 295-299
4. Кондратьев С.А. Оценка биогенной нагрузки на Финский залив Балтийского моря с российской части водосбора // Водные ресурсы, 2011, т. 38 №1. С. 56-64
5. 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, 28 стр.
6. 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, № 10, с. 913-919
7. Кондратьев С.А., Игнатьева Н.В., Каретников С.Г. Внешняя и внутренняя фосфорная нагрузка на водоем (на примере водохранилища Сестрорецкий разлив) // Региональная экология, 2016, №4(46). С. 59-70