

ГЕОГРАФИЯ

УДК 556.55:504.4

Ш. Р. Поздняков¹, С. А. Кондратьев¹, В. М. Тарбаева², М. В. Шмакова¹,
А. Ю. Брюханов³, Е. А. Воробьева⁴, Н. С. Обломкова⁴

**ОБОСНОВАНИЕ ВЫПОЛНЕНИЯ РЕКОМЕНДАЦИЙ ХЕЛКОМ
ПО СНИЖЕНИЮ БИОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ФИНСКИЙ ЗАЛИВ
СО СТОРОНЫ РОССИИ**

¹ Институт озероведения РАН, Российская Федерация, 196105, Санкт-Петербург, ул. Севастьянова, 9

² Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

³ Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства, Российская Федерация, 196625, Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Фильтровское шоссе, 3

⁴ СПБОО «Экология и бизнес», Российская Федерация, 197183, Санкт-Петербург, Сабировская ул., 37

Усовершенствована математическая модель формирования биогенной нагрузки на водосборе, позволяющая оценивать изменение выноса биогенных веществ в зависимости от оптимизации сельскохозяйственного производства. Распределены квоты на снижение биогенной нагрузки между различными частями российского водосбора Финского залива, обеспечивающие выполнение рекомендаций Плана действий ХЕЛКОМ по оздоровлению Балтики. Библиогр. 21 назв. Ил. 1. Табл. 3.

Ключевые слова: математическая модель, биогенная нагрузка, квота на снижение нагрузки.

*Sh. R. Pozdnyakov¹, S. A. Kondratyev¹, V. M. Tarbaeva², M. V. Shmakova¹, A. Yu. Brukhanov³,
E. A. Vorobeva⁴, N. S. Oblomkova⁴*

**A SCIENTIFIC SUBSTANTIATION OF THE RECOMMENDATIONS OF HELCOM TO REDUCE
THE NUTRIENT LOAD ON THE GULF OF FINLAND FROM RUSSIA**

¹ Institute of Limnology RAS, Russian Federation, 196105, St. Petersburg, ul. Sevastyanova, 9

² St. Petersburg State University, 7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

³ Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production, Russian Federation, 196625, St. Petersburg, Filtrovskoe shosse, 3

⁴ Spb PO “Ecology and business”, Russian Federation, 197183, St. Petersburg, Sabirovskaya ul., 37

Improvement of the mathematical model of nutrient load in the catchment area was carried out. Now the model allows to evaluate changes in the removal of nutrients, depending on the optimization of agricultural production. Quotas to reduce the nutrient load between different parts of the catchment area of the Russian Gulf of Finland using the recommendations of the HELCOM Baltic Sea Action Plan are promulgated. Refs 21. Figs 1. Tables 3.

Keywords: mathematical model, nutrient load, quota on load reduction.

Введение

Финский залив — одна из наиболее загрязненных акваторий Балтийского моря [1]. В ноябре 2007 г. на сессии Хельсинкской комиссии (ХЕЛКОМ) принят План действий по Балтийскому морю (ПДБМ) [2], который представляет собой долгосрочную стратегию оздоровления Балтийского моря и отдельных его акваторий. Одно из важнейших направлений ПДБМ — разработка мероприятий по снижению поступления в морскую экосистему фосфора (P) и азота (N), приводящих к эвтрофированию. По результатам математического моделирования для Финского залива были определены максимально возможные биогенные нагрузки с территории водосбора, расположенного в России, Финляндии и Эстонии. В 2013 г. рекомендации по сокращению биогенной нагрузки были пересмотрены [3]. Для ряда стран, в том числе и для России, это повлекло ужесточение требований по сокращению поступления биогенных веществ (квот на снижение биогенной нагрузки — по терминологии ХЕЛКОМ). В результате в настоящее время России рекомендовано снизить водную биогенную нагрузку на Финский залив на 3 227 т P/год и 7683 т N/год относительно уровня 1997–2003 гг. [3, 4]. Однако механизмы распределения квот на снижение нагрузки между различными частями российского водосбора до сих пор не разработаны.

Целями настоящего исследования являлись:

- усовершенствование математической модели формирования биогенной нагрузки на водосборе, позволяющей оценивать изменение выноса биогенных веществ в зависимости от оптимизации сельскохозяйственного производства;
- разработка рекомендаций для распределения квот на снижение биогенной нагрузки между различными частями российского водосбора Финского залива, обеспечивающих выполнение обязательств ХЕЛКОМ по оздоровлению Балтийского моря.

Исходные данные

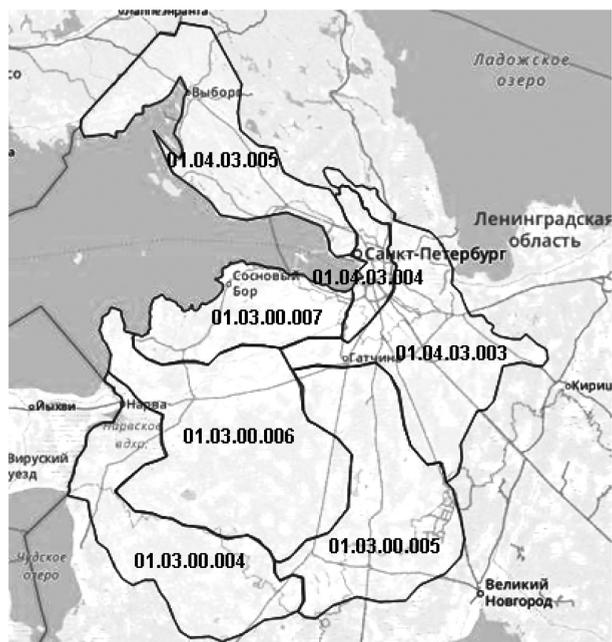
Основными источниками исходной информации выполнения исследования являлись:

- рекомендации ХЕЛКОМ по снижению биогенной нагрузки на Балтийское море [2–6];
- оценка современной биогенной нагрузки на Финский залив со стороны Российской территории, выполненная Иноз РАН [7];
- результаты предшествующих экспериментальных исследований по оценке выноса биогенных элементов с различных типов подстилающей поверхности северо-запада России и Финляндии [9–10];
- результаты предшествующих исследований по моделированию стока и выноса биогенных веществ с водосборов северо-запада России [11–13];
- информация из баз данных ИАЭП сельскохозяйственного производства, о действующих сельскохозяйственных предприятиях (количество домашних животных и птицы, дозы внесения удобрений, удобряемые площади, и др.);

- статистическая отчетность по форме 2ТПВодхоз о сбросах биогенных элементов точечными источниками загрязнения;
- интернет-ресурсы, содержащие данные о характеристиках сельскохозяйственной активности в Северо-Западном регионе России [14, 15].

В качестве пространственной основы для сбора исходной информации и оценки биогенной нагрузки на Финский залив принята водохозяйственная схема деления российской территории водосбора на водохозяйственные участки — ВХУ [16]. Расчеты нагрузки выполнялись для семи ВХУ, формирующих нагрузку непосредственно на Финский залив и на реку Неву: 01.03.00.004 — Нарва, 01.03.00.005 — Луга от истока до пос. Толмачево, 01.03.00.006 — Луга от пос. Толмачево до устья, 01.03.00.007 — реки бассейна Финского залива от северной границы бассейна р. Луга до южной границы бассейна р. Нева, 01.04.03.003 — Нева от истока до пос. Новосаратовка, 01.04.03.004 — Нева от пос. Новосаратовка до устья, 01.04.03.005 — реки и озера бассейна Финского залива от границы РФ с Финляндией до северной границы бассейна р. Нева.

Расположение перечисленных ВХУ показано на рисунке. Другие ВХУ российской части водосбора Финского залива находятся на территории бассейнов крупных озер (Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского). Эти водные объекты характеризуются высокой степенью удержания биогенных веществ, следовательно, любые мероприятия по снижению нагрузки в верховьях водосборов озер эффективны только на локальном уровне, их влияние на снижение поступления азота и фосфора в Финский залив незначительно. Поэтому распределение квот по снижению нагрузки на них не проводилось.



Водохозяйственные участки на водосборе Финского залива

Математическая модель формирования биогенной нагрузки

Основой разработки является модель формирования биогенной нагрузки на водные объекты *ILLM* — *Institute of Limnology Load Model*, созданная в ИНОЗ РАН. Модель построена на основе отечественного и зарубежного опыта моделирования выноса биогенных веществ с водосборных территорий и поступления биогенных веществ в водоемы [11, 12, 17], а также рекомендаций ХЕЛКОМ по оценке нагрузки на водные объекты бассейна Балтийского моря [5] и предназначена для количественной оценки биогенной нагрузки, сформированной на водосборах значительных площадей точечными и рассеянными (диффузными) источниками загрязнения, и прогноза ее изменения под влиянием возможных антропогенных и климатических факторов. Модель была ориентирована на существующие возможности информационного обеспечения системой государственного мониторинга водных объектов Росгидромета, а также структурами государственной статистической отчетности о сбросах сточных вод и сельскохозяйственной деятельности на водосборах РФ. Недостатком модели можно считать приближенное описание формирования нагрузки конкретными сельхозпредприятиями и различных сельскохозяйственных технологий.

Для устранения указанного недостатка в модель *ILLM* интегрирован метод оценки сформированной сельхозпредприятиями биогенной нагрузки, предложенный специалистами ИАЭП [18, 19]. Метод ориентирован, в том числе, и на оценку потенциала снижения нагрузки за счет внедрения наилучших доступных технологий (НДТ) сельскохозяйственного производства. Так, нагрузка валовым фосфором и валовым азотом (в нефильтрованной воде) на водоем-водоприемник (L) со стороны водосбора или отдельного ВХУ рассчитывается как сумма биогенной нагрузки на гидрографическую сеть водосбора, сформированную сельхозпредприятиями (L_{agr}), и нагрузку, сформированную естественными и антропогенными (измененными) ландшафтами, не подверженными в настоящее время сельскохозяйственному воздействию (L_c). Кроме того, в формировании нагрузки принимают участие точечные источники загрязнения, сбрасывающие свои сточные воды в гидрографическую сеть (L_{p1}) и непосредственно в водоем-водоприемник (L_{p2}):

$$L = (L_{agr} + L_c + L_{p1})(1 - R) + L_{p2}, \quad (1)$$

где R — коэффициент удержания гидрографической сетью водосбора, безразмерная величина. Остальные члены уравнения (1) имеют размерность т/год.

Нагрузка, сформированная на полях сельхозпредприятий, рассчитывается для использования в условиях северо-запада России. Расчетная зависимость имеет вид

$$L_{agr} = \sum_{i=1}^{n_1} A_i (M_{soil\ i} K_1 + (\alpha_1 M_{min\ i} + \alpha_2 M_{org\ i}) K_6) K_2 K_3 K_4 K_5 / 1000, \quad (2)$$

где $M_{soil\ i}$, $M_{min\ i}$ и $M_{org\ i}$ — содержание биогенного вещества в пахотном слое почвы, а также дозы внесения минеральных и органических удобрений на поля i -го сельхозпредприятия, кг/га; A_i — площадь угодий i -го сельхозпредприятия, га; n_1 — количество сельхозпредприятий; α_1 — коэффициент, учитывающий усвоение

минеральных удобрений сельхозкультурами; α_2 — коэффициент, учитывающий усвоение органических удобрений сельхозкультурами; K_1 — коэффициент, характеризующий вынос биогенных веществ из пахотного слоя почв; K_2 — коэффициент удаленности контура сельскохозяйственных угодий от гидрографической сети; K_3 — коэффициент, характеризующий тип почв (по происхождению); K_4 — коэффициент, характеризующий механический состав почв; K_5 — коэффициент, учитывающий структуру сельхозугодий, т.е. соотношение площадей пашни, многолетних трав, лугов, пастбищ; K_6 — коэффициент, учитывающий использование наилучших доступных технологий (НДТ) применения органических и минеральных удобрений. Все коэффициенты безразмерные. Значения указанных коэффициентов, рекомендованные для использования при расчетах биогенной нагрузки с сельхозугодий северо-запада России, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Значения коэффициентов уравнения (2)

Коэффициент	N	P
α_1	0,3	0,03
α_2	0,1	0,02
K_1	0,03	0,008
K_2 : от 50 до 500 м	0,6	0,6
K_2 : от 500 до 2000 м	0,2	0,2
K_2 : более 2000 м	0,1	0,1
K_3 : дерново-подзолистые почвы	1,0	1,0
K_3 : карбонатные почвы	1,2	1,4
K_3 : торфянистые почвы	0,8	1,0
K_4 : тяжелые глинистые и суглинистые почвы	1,0	1,0
K_4 : легкие супесчаные и песчаные почвы	1,8	2,0
K_5 : крупный рогатый скот	0,46	0,37
K_5 : растениеводство	0,88	0,76
K_5 : птицеводство	0,46	0,37
K_5 : свиноводство	0,46	0,37
K_6 : без НДТ	1,0	1,0
K_6 : с использованием НДТ	0,25	0,1

Диффузная нагрузка от естественных и измененных ландшафтов, не подверженных в настоящее время сельскохозяйственному воздействию, формируется за счет поступления биогенных веществ из почв и атмосферных выпадений на поверхность водосбора:

$$I_c = \sum_{i=1}^{n_2} C_i y_i A_i / 1000,$$

где C_i — средние концентрации биогенных элементов в стоке с i -го типа подстилающей поверхности, мг/дм³ — г/м³; y_i — слой стока с рассматриваемых типов подстилающей поверхности, мм/год; A_i — площади рассматриваемых типов подстилающей поверхности, км²; n_2 — количество типов рассматриваемых типов подстила-

ющей поверхности. Ориентировочные значения C_i , экспериментально полученные в условиях северо-запада России и востока Финляндии, представлены в табл. 2.

Таблица 2. Концентрации биогенных элементов в первичных звеньях гидрографической сети для различных типов подстилающей поверхности, мг/дм³ [8–10]

Подстилающая поверхность	Поля и луга*	Естественные леса и болота	Урбанизированная территория	Смешанные и заброшенные земли
P	0,08	0,05	0,20	0,12
N	3,1	0,7	2,3	1,4

* За исключением используемых в настоящее время сельхозугодий.

Вклад точечных источников биогенной нагрузки оценивается на основе официальной отчетной статистической информации о проведенных сбросах и в соответствии с официальными перспективными планами совершенствования системы очистки сточных вод на рассматриваемых предприятиях. В настоящее время основным официальным источником информации о сбросах сточных вод являются статистические данные, представленные по форме 2ТПВодхоз Министерства природных ресурсов и экологии, которые приводятся с годовым осреднением, что накладывает соответствующие ограничения на расчетные схемы и математические модели, в которых эти данные используются.

Как правило, большая часть биогенных веществ, поступивших на водосбор от различных источников, не достигает замыкающих створов крупных рек, так как удерживается различными звеньями гидрографической сети. Для расчета коэффициента удержания R (1) используется эмпирическая формула [12, 13, 17, 20]:

$$R = \left(1 - \frac{1}{1 + aq^b} \right), \quad (3)$$

где q — модуль стока, л/км²с; a и b — безразмерные эмпирические параметры, значения которых приведены в табл. 3. Значение модуля стока q связано со слоем стока u (мм/год) эмпирическим соотношением $q=0,03171u$.

Таблица 3. Значения эмпирических параметров в формуле (4) [17, 20]

Площадь водосбора	P		N	
	a	b	a	b
Для всех водосборов	26,6	-1,71	6,9	-1,10
<1000 км ²	41,4	-1,93	3,5	-1,01
1000–10000 км ²	21,7	-1,55	5,8	-0,96
>10000 км ²	28,9	-1,80	7,9	-1,03

Удержание химических веществ русловой сетью оценивается на основе уравнения (3) в зависимости от характеристик стока и размеров водосбора. Для определения гидрологических характеристик заданной вероятности превышения могут быть использованы их аналитические или эмпирические кривые распределения. Другим способом определения гидрологических характеристик, влияющих на

формирование биогенной нагрузки на водные объекты, является использование гидрологической модели, позволяющей рассчитывать слой стока и расходы воды в зависимости от конкретных гидрометеорологических параметров [11].

Фоновая (естественная, природная) нагрузка биогенными веществами формируется за счет их выноса с необрабатываемых земель и части выноса с обрабатываемых земель, который происходит независимо от сельскохозяйственной деятельности. При расчете фоновой нагрузки на водосбор исключаются все антропогенные источники загрязнения (точечные сбросы, внесение минеральных и органических удобрений, вынос с сельскохозяйственных и урбанизированных территорий). Таким образом, фоновая составляющая биогенной нагрузки на водный объект (т/год), сформированная естественными источниками, определяется следующим образом:

$$L_{nat} = (1 - R)C_{nat}yA / 1000, \quad (5)$$

где C_{nat} — средняя концентрация биогенного элемента в стоке с естественной подстилающей поверхности, мг/дм³; y — слой стока, мм/год, A — общая площадь водосбора, км².

На основе предложенной модели выполнены расчеты биогенной нагрузки на Финский залив из различных частей водосбора. Ниже приведена оценка нагрузки с водосбора р. Луги, представляющего собой сумму ВХУ 01.03.00.005 и 01.03.00.006. Луга является третьим по площади водосбора и стоку притоком Российской части Финского залива и протекает по южной части водосбора залива. Площадь водосбора в створе г. Кингисепп составляет 12200 км², густота речной сети здесь достигает 0,70 км/км². Нагрузка от точечных источников, по данным, представленным по форме 2ТПВодхоз, в 2013 г. на водосборе р. Луги составила 72,6 т Р/год и 244,5 т N/год. Рассчитанная по модели биогенная нагрузка на Финский залив, сформированная на водосборе Луги, составила 269,0 т Р/год и 4192,8 т N/год. Сравнение результатов моделирования с данными мониторинга Росгидромета на Луге (створ г. Кингисепп) показало удовлетворительное соответствие (табл. 4).

Таблица 4. Вынос биогенных веществ (т/год) р. Лугой (створ г. Кингисепп) и рассчитанная биогенная нагрузка на Финский залив, сформированная на водосборе Луги

Нагрузка	Р	N
Нагрузка 2012–2013 гг. по данным СЗУ Росгидромета	330,5	4251,5
Рассчитанная по модели нагрузка для средней водности года	269,0	4192,8
Рассчитанная фоновая нагрузка для средней водности года	130,8	1823,7

Результаты расчета биогенной нагрузки от диффузных источников, сформированной на сельхозпредприятиях и в личных подсобных хозяйствах, позволили предположить, что в результате внедрения НДТ в сельскохозяйственном производстве нагрузка от сельхозпредприятий на гидрографическую сеть водосбора Луги снизится от 94,33 т Р/год и 1738,8 т N/год до 87,77 т Р/год и 1505,8 т N/год, т. е. на 7,0 и 13,4 % соответственно относительно современного уровня.

Распределение квот на снижение нагрузки между различными частями водосбора

Для вычисления квот на снижение нагрузки с водосбора Финского залива использован подход, основанный на распределении обязательств по ее снижению между речными бассейнами и далее между ВХУ с учетом потенциала возможного снижения нагрузки [21]. Работа проводилась по следующим этапам:

- оценка достигнутого прогресса в снижении нагрузки относительно уровня 1997–2003 гг. и расчет значения необходимого снижения нагрузки (актуальной квоты снижения), обеспечивающего выполнение рекомендаций ХЕЛКОМ для современных условий;
- оценка потенциала возможного снижения биогенной нагрузки от точечных и диффузных источников на каждом ВХУ;
- распределение актуальной квоты по ВХУ пропорционально потенциалу снижения биогенной нагрузки.

Для оценки современного уровня водной биогенной нагрузки (L), поступающей в Финский залив через территорию России, использованы результаты исследования ИНОЗ РАН [7] в соответствии с которыми среднее значение нагрузки за 2012–2013 гг. равнялось 3143 т Р/год и 68407 т N/год. Если исключить вклад финских территорий водосбора, который оценивается в 5353 т N/год и 49 т Р/год [6], то итоговое значение составит 3094 т Р/год и 63054 т N/год.

В соответствии с международными рекомендациями Россия должна снизить водную биогенную нагрузку на Финский залив на 3277 т Р/год и 7683 т N/год [4] относительно уровня 1997–2003 гг. (6169 т Р/год и 68653 т N/год) [6]. Следовательно, современная водная биогенная нагрузка на Финский залив (L_{HELCOM}) не должна превышать 2892 т Р/год и 60970 т N/год. В настоящее время превышение современной фосфорной нагрузки над рекомендованными ХЕЛКОМ значениями составляет 202 т Р/год, азотной — 2084 т N/год. Указанные цифры являются актуальной квотой Δ на снижение биогенной нагрузки с российского водосбора Финского залива ($\Delta = L - L_{HELCOM}$), которая должна быть распределена между рассматриваемыми ВХУ в соответствии с имеющимся на них потенциалом. Достижение значений биогенной нагрузки согласно указанной квоте должно привести к выполнению рекомендаций ХЕЛКОМ и в перспективе к оздоровлению этой части Балтийского моря.

Потенциал снижения биогенной нагрузки определяется суммированием фактической антропогенной нагрузки от точечных и диффузных источников и прогнозной нагрузки при соответствии функционирования каждого источника рекомендациям ХЕЛКОМ и НДТ [21]. Потенциал снижения нагрузки, сформированной на k -м ВХУ p_k [т/год], определяется как разность между фактическим уровнем нагрузки от различных источников l_{1k} [т/год] и прогнозным значением нагрузки l_{2k} [т/год] за счет внедрения наиболее совершенных технологических решений при очистке сточных вод и оптимизации сельскохозяйственного производства ($p_k = l_{1k} - l_{2k}$). При этом уточненный потенциал снижения нагрузки p_k^* , зависящий от степени удержания веществ водосбором, рассчитывается по формуле

$$p_k^* = p_k (1 - R_k), \quad (6)$$

где R_k — безразмерный коэффициент удержания биогенных элементов k -м ВХУ. Значение R_k рассчитывалось по формуле (3) при следующих значениях параметров, единых для большинства ВХУ: $a=21,7$, $b=-1,55$ для P , $a=5,8$, $b=-0,96$ для N и $y=300$ мм/год. В результате для фосфора коэффициент удержания R_k составил 0,398, для азота — 0,400. Относительно устьевого ВХУ р. Невы (01.04.03.004) принято допущение об отсутствии удержания биогенных элементов в связи с тем, что основное их поступление от точечных источников здесь осуществляется непосредственно в реку Неву и в притоки первого порядка в границах Санкт-Петербурга.

Оценка прогнозного значения диффузной биогенной нагрузки, сформированной сельхозпредприятиями при условии использования НДТ применения органических и минеральных удобрений, выполнена с использованием уравнения (2), содержащего коэффициент K_6 , который учитывает использование НДТ (см. табл. 1). Прогнозное значение точечной биогенной нагрузки рассчитано в предположении о реализации рекомендаций ХЕЛКОМ по содержанию биогенных элементов в сбросах очищенных сточных вод [2]. При этом современная нагрузка, сформированная точечными источниками, оценивалась по данным статистической отчетности.

Актуальная квота на снижение биогенной нагрузки для k -го ВХУ Δ_k (т/год) рассчитывалась по формуле

$$\Delta_k = \Delta p_k^* / \sum_{i=1}^{n_3} p_i^*$$

где n_3 — количество ВХУ. Результаты расчета значений потенциала снижения биогенной нагрузки и актуальных квот снижения для рассматриваемых ВХУ приведены в табл. 5.

Таблица 5. Потенциалы и актуальные квоты снижения биогенной нагрузки (т/год)

ВХУ	Потенциал снижения азотной нагрузки	Потенциал снижения фосфорной нагрузки	Актуальная квота снижения азотной нагрузки	Актуальная квота снижения фосфорной нагрузки
01.03.00.004	117,0	3,0	51,4	3,0
01.03.00.005	288,0	26,6	126,6	26,7
01.03.00.006	192,0	23,3	84,4	23,4
01.03.00.007	173,0	5,0	76,1	5,0
01.04.03.003	1362,0	68,8	598,8	69,1
01.04.03.004	1469,0	22,8	1076,4	38,0
01.04.03.005	160,0	36,7	70,3	36,8
Итого	3761,0	186,2	2084,0	202,0

Анализ полученных результатов показал, что рассчитанные значения квот на снижение азотной нагрузки Δ_k не превосходят значения потенциала снижения нагрузки на всех ВХУ. Сказанное свидетельствует о реальности выполнения рекомендаций ХЕЛКОМ для российской части водосбора Финского залива в отношении снижения азотной нагрузки за счет совершенствования технологий очистки сточ-

ных вод на предприятиях и оптимизации сельскохозяйственного производства. Рекомендованное снижение фосфорной нагрузки превосходит рассчитанный потенциал снижения на 15,8 т/год в целом по семи ВХУ. Поэтому предстоит найти дополнительные возможности перспективного снижения фосфорной нагрузки, например за счет улучшения качества очистки сточных вод государственным унитарным предприятием «Водоканал Санкт-Петербурга», или в результате внедрения современных технологий сельскохозяйственного производства или водоочистки и на вышерасположенных ВХУ.

Заключение

В результате выполненной работы усовершенствована математическая модель формирования биогенной нагрузки на водосборе, позволяющая оценивать изменение выноса биогенных элементов в зависимости от оптимизации сельскохозяйственного производства. Предложены квоты на снижение биогенной нагрузки между различными частями российского водосбора Финского залива, обеспечивающие выполнение рекомендаций ХЕЛКОМ по оздоровлению Балтики. Показано, что рекомендованное снижение азотной нагрузки может быть достигнуто за счет совершенствования технологий очистки сточных вод на предприятиях и оптимизации сельскохозяйственного производства на семи прибрежных водохозяйственных участках. Рекомендованное снижение фосфорной нагрузки превосходит рассчитанный потенциал снижения на указанных ВХУ. Поэтому предстоит найти дополнительные возможности снижения фосфорной нагрузки, например — за счет внедрения современных сельскохозяйственных и водоочистных технологий на вышерасположенных частях водосбора Финского залива.

После установления квот на снижение биогенной нагрузки для различных частей Российского водосбора Финского залива возникает необходимость ее распределения между природопользователями, т. е. дальнейшей персонализации обязательств по снижению антропогенного воздействия и установления предельных значений биогенной нагрузки для каждого природопользователя [21]. Значение необходимого снижения нагрузки должно быть распределено между хозяйствующими субъектами пропорционально потенциалу снижения биогенной нагрузки, рассчитанному для каждого природопользователя по предложенному выше методу. Этот подход обеспечит «лояльность» в отношении производств, соответствующих Рекомендациям ХЕЛКОМ и НДТ, установит более жесткие требования по снижению биогенной нагрузки недобросовестных природопользователей и будет стимулировать их к внедрению НДТ.

Литература

1. Eutrophication in the Baltic Sea. Baltic Sea Environment Proceedings No 115B. Helsinki Commission Publ., Helsinki, 2009. 148 p.
2. HELCOM Baltic Sea Action Plan. Helsinki Commission Publ. Helsinki, 2007. 103 p.
3. HELCOM Copenhagen Ministerial Declaration: Taking Further Action to Implement the Baltic Sea Action Plan — Reaching Good Environmental Status for a healthy Baltic Sea. Copenhagen, Denmark, 2013a. 19 p.

4. HELCOM Summary report on the development of revised Maximum Allowable Inputs (MAI) and updated Country Allocated Reduction Targets (CART) of the Baltic Sea Action Plan — Baltic Marine Environment Protection Commission, Helsinki, 2013b. 22 p.
5. Guidelines for the compilation of waterborne pollution to the Baltic Sea (PLC-water). HELCOM, Helsinki, 2005. 80 p.
6. HELCOM Updated Fifth Baltic Sea Pollution Load Compilation (PLC-5.5) — Baltic Sea Environment Proceedings No 145. 2015. 142 p.
7. Румянцев В. А., Кондратьев С. А. О соответствии биогенной нагрузки с российской территории на Финский залив требованиям Плана действий по балтийскому морю // Общество. Среда. Развитие. 2014. № 3. С. 159–162.
8. Алябина Г. А., Сорокин И. Н. Миграция фосфора и органического вещества в системе «водоём–водосборная площадь» // Экологическая химия. 1997. № 6(3). С. 166–171.
9. Алябина Г. А., Сорокин И. Н. Особенности формирования внешней нагрузки на водные объекты в урбанизированных ландшафтах // Изв. РГО. 2001. 133(1). С. 81–87.
10. Rekolainen S. Phosphorus and nitrogen load from forest and agricultural areas in Finland // Aqua Fennica. 1989. 19(2). P. 95–107.
11. Кондратьев С. А. Формирование внешней нагрузки на водоемы: проблемы моделирования. СПб.: Наука, 2007. 253 с.
12. Кондратьев С. А., Казмина М. В., Шмакова М. В., Маркова Е. Г. Метод расчета биогенной нагрузки на водные объекты // Региональная экология. 2011. № 3–4. С. 50–59.
13. Кондратьев С. А., Шмакова М. В., Уличев В. И. Детерминировано-стохастическое моделирование стока и биогенной нагрузки на водные объекты (на примере Финского залива Балтийского моря). СПб.: Нестор-История, 2013. 36 с.
14. Сайт Федеральной службы государственной статистики. URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 23.09.2016).
15. Мировой атлас данных. URL: <http://knoema.ru/atlas> (дата обращения: 23.09.2016).
16. Балтийский бассейновый округ. Описание границ. Опорные точки // Приказ Росводресурсов № 161 от 31.07.2008. М., 2008. 77 с.
17. Behrendt H., Dannowski R. Nutrients and heavy metals in the Odra River system. Weissensee Verlag Publ., Germany, 2007. 337 p.
18. Разработать методику и выполнить расчет диффузной нагрузки азота, фосфора на водосбор при ведении сельскохозяйственной деятельности и потенциала ее снижения при использовании НДТ в сельском хозяйстве: отчет о НИР, ИАЭП РАН. 2015. 22 с.
19. Брюханов А. Ю., Шалавина Е. В., Васильев Э. В. Методика укрупненной оценки суточного и годового выхода навоза/помета // Молочнохозяйственный вестник. 2014. № 1(13). С. 78–85.
20. Behrendt H., Opitz D. Retention of nutrients in river systems: dependence on specific runoff and hydraulic load // Hydrobiologia. 1999. 410. P. 111–122.
21. Коровин Л. К., Обломкова Н. С., Воробьева Е. А. Предложения по снижению негативного воздействия на морскую среду Балтийского моря // Экология производства. 2015. № 12. С. 42–47.

Для цитирования: Поздняков Ш. Р., Кондратьев С. А., Тарбаева В. М., Шмакова М. В., Брюханов А. Ю., Воробьева Е. А., Обломкова Н. С. Обоснование выполнения рекомендаций ХЕЛКОМ по снижению биогенной нагрузки на Финский залив со стороны России // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. 2016. Вып. 4. С. 53–65. DOI: 10.21638/11701/spbu07.2016.405

References

1. *Eutrophication in the Baltic Sea. Baltic Sea Environment Proceedings no. 115B.* Helsinki Commission Publ., Helsinki, 2009. 148 p.
2. *HELCOM Baltic Sea Action Plan.* Helsinki Commission Publ., Helsinki, 2007. 103 p.
3. *HELCOM Copenhagen Ministerial Declaration: Taking Further Action to Implement the Baltic Sea Action Plan — Reaching Good Environmental Status for a healthy Baltic Sea.* Copenhagen, Denmark, 2013a. 19 p.
4. *HELCOM Summary report on the development of revised Maximum Allowable Inputs (MAI) and updated Country Allocated Reduction Targets (CART) of the Baltic Sea Action Plan — Baltic Marine Environment Protection Commission,* Helsinki, 2013b. 22 p.
5. *Guidelines for the compilation of waterborne pollution to the Baltic Sea (PLC-water).* HELCOM, Helsinki, 2005. 80 p.

6. HELCOM *Updated Fifth Baltic Sea Pollution Load Compilation (PLC-5.5)* — *Baltic Sea Environment Proceedings* no. 145, 2015. 142 p.
7. Rumiantsev V. A., Kondrat'ev S. A. O sootvetstvii biogennoi nagruzki s rossiiskoi territorii na Finskii zaliv trebovaniim Plana deistvii po baltiiskomu moriu [On the Correspondence of Nutrient Load on the Gulf of Finland from the Russian Territory to the Requirements of the Baltic Sea Action Plan]. *Obshchestvo. Sreda. Razvitie* [Society. Environment. Development], 2014, no. 3, pp. 159–162. (In Russian)
8. Aliabina G. A., Sorokin I. N. Migratsiia fosfora i organicheskogo veshchestva v sisteme “vodoem–vodosbornaia ploshchad” [Phosphorus and Organic Matter Migration in “Watershed–Water Body” system]. *Ekologicheskaiia khimiia* [Ecological Chemistry], 1997, no. 6(3), pp. 166–171. (In Russian)
9. Aliabina G. A., Sorokin I. N. Osobennosti formirovaniia vneshnei nagruzki na vodnye ob’ekty v urbanizirovannykh landshaftakh [Features of External Load on Water Bodies in Urban Landscapes]. *Izv. RGO* [Proc. Of Russian Geographical Society], 2001, 133(1), pp. 81–87. (In Russian)
10. Rekolainen S. Phosphorus and nitrogen load from forest and agricultural areas in Finland. *Aqua Fennica*, 1989, 19(2), pp. 95–107.
11. Kondrat'ev S. A. *Formirovanie vneshnei nagruzki na vodoemy: problemy modelirovaniia* [External Load on Water Bodies: Problems of Modelling]. St. Petersburg, Nauka Publ., 2007. 253 p. (In Russian)
12. Kondrat'ev S. A., Kazmina M. V., Shmakova M. V., Markova E. G. Metod rascheta biogennoi nagruzki na vodnye ob’ekty [Method of Nutrient Load Calculation]. *Regional'naia ekologiia* [Regional Ecology], 2011, no. 3–4, pp. 50–59. (In Russian)
13. Kondrat'ev S. A., Shmakova M. V., Ulichev V. I. *Determinirovano-stokhasticheskoe modelirovanie stoka i biogennoi nagruzki na vodnye ob’ekty (na primere Finskogo zaliva Baltiiskogo moria)* [Deterministic-Stochastic Modeling of Runoff and Nutrient Load on Water Bodies. Gulf of Finland of the Baltic Sea as a Case Study]. St. Petersburg, Nestor-Istoriia Publ., 2013. 36 p. (In Russian)
14. *Sait Federal'noi sluzhby gosudarstvennoi statistiki* [nepevod]. Available at: <http://www.gks.ru/> (accessed 23.09.2016). (In Russian)
15. *Mirovoi atlas dannykh* [nepevod]. Available at: <http://knoema.ru/atlas> (accessed 23.09.2016). (In Russian)
16. Baltiiskii basseinovyi okrug. Opisaniie granits. Opornye tochki [Baltic Basin District. Borders Description. Reference Points]. *Prikaz Rosvodresursov no. 161 ot 31.07.2008* [Ros VodResursy Order no. 161 from 31.07.2008]. Moscow, 2008. 77 p. (In Russian)
17. Behrendt H., Dannowski R. *Nutrients and heavy metals in the Odra River system*. Weissensee Verlag Publ., Germany, 2007. 337 p.
18. *Razrabotat' metodiku i vypolnit' raschet diffuznoi nagruzki azota, fosfora na vodosbor pri vedenii sel'skokhoziaistvennoi deiatel'nosti i potentsiala ee snizheniia pri ispol'zovanii NDT v sel'skom khoziaistve: otchet o NIR, IAEP RAN* [Development of the Methodology of Calculation of the Diffusion Load of Nitrogen and Phosphorus on Catchment Area in the Management of Agricultural Activities and Assessment of Its Potential Reduction by Using BAT in Agriculture. Sc. Report, Institute of agroengineering and environmental problems of agricultural production], 2015. 22 p. (In Russian)
19. Briukhanov A. Iu., Shalavina E. V., Vasilev E. V. Metodika ukрупnennoi otsenki sutochnogo i godovogo vykhoda navoza/pometa [Method of Enlarged Assessment of the Daily and Annual Output of Manure]. *Molochnokhoziaistvennyi vestnik* [Dairy Farming Herald], 2014, no. 1(13), pp. 78–85. (In Russian)
20. Behrendt H., Opitz D. Retention of nutrients in river systems: dependence on specific runoff and hydraulic load. *Hydrobiologia*, 1999, 410, pp. 111–122.
21. Korovin L. K., Oblomkova N. S., Vorob'eva E. A. Predlozheniia po snizheniiu negativnogo vozdeistviia na morskuiu sredu Baltiiskogo moria [Proposals to Reduce the Negative Impact on the Marine Environment of the Baltic Sea]. *Ekologiia proizvodstva* [Ecology of Production], 2015, no. 12, pp. 42–47. (In Russian)

For citation: Pozdnyakov Sh. R., Kondratyev S. A., Tarbaeva V. M., Shmakova M. V., Brukhanov A. Yu., Vorob'eva E. A., Oblomkova N. S. A scientific substantiation of the recommendations of HELCOM to reduce the nutrient load on the Gulf of Finland from Russia. *Vestnik of Saint Petersburg University. Series 7. Geology. Geography*, 2016, issue 4, pp. 53–65. DOI: 10.21638/11701/spbu07.2016.405

Статья поступила в редакцию 23 сентября 2016 г.

Контактная информация:

Поздняков Шамиль Рауфович — доктор географических наук; lake@limno.org.ru
Кондратьев Сергей Алексеевич — доктор физико-математических наук; kondratyev@limno.org.ru
Тарбаева Вероника Михайловна — доктор биологических наук; unconsnature@gmail.com
Шмакова Марина Валентиновна — кандидат технических наук; m-shmakova@yandex.ru
Брюханов Александр Юрьевич — кандидат технических наук; sznii@yandex.ru
Воробьева Екатерина Анатольевна — vorobyeva@helcom.ru
Обломкова Наталья Сергеевна — oblomkova@helcom.ru

Pozdnyakov Shamil R. — Doctor of Geography; lake@limno.org.ru
Kondratiev Sergei A. — Doctor of Physics and Mathematics; kondratyev@limno.org.ru
Tarbaeva Veronika M. — Doctor of Biology; unconsnature@gmail.com
Shmakova Marina V. — PhD; m-shmakova@yandex.ru
Bryukhanov Alexander Yu. — PhD; sznii@yandex.ru
Vorobyova Ekaterina A. — vorobyeva@helcom.ru
Oblomkova Natalia S. — oblomkova@helcom.ru