

УДК: 502.51

DOI: 10.35595/2414-9179-2020-2-26-137-150

А.Г. Осипов¹, Г.К. Осипов¹, В.Ф. Ковязин²

МЕТОДИКА ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЫНОСА БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В ФИНСКИЙ ЗАЛИВ ИЗ ЛЕСНОГО РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

АННОТАЦИЯ

Биогенное загрязнение водоёмов и их эвтрофирование является одной из серьёзнейших экологических проблем современности. Одним из источников загрязнения вод биогенными веществами являются лесные массивы, которые относятся к фоновым источникам биогенной нагрузки. Имеющиеся в настоящее время методики оценки выноса биогенных веществ из лесного растительного покрова не дают желаемых результатов, что вызывает острую потребность в их совершенствовании.

В данной статье изложена разработанная авторами методика геоинформационного моделирования выноса биогенных веществ из лесного растительного покрова в водные объекты с учётом пространственного распределения растительности на водосборе, её видового состава и поглощения биогенных веществ при их миграции.

В качестве объекта апробации разработанной методики была принята восточная часть Финского залива; это связано с тем, что в пределах его акватории активно проявляются процессы эвтрофирования вод.

Объём фоновой биогенной нагрузки на Финский залив, формируемой при разложении опада естественного растительного покрова на водосборе, определялся на основе удельного выноса биогенных веществ из растительных сообществ и их поглощения при миграции «растительное сообщество — водный объект».

Суммарная фоновая биогенная нагрузка на восточную часть Финского залива, сформированная в результате разложения опада естественного растительного покрова, составила для северного водосбора по азоту 170,21 т/год, по фосфору 12,14 т/год, а для южного водосбора — по азоту 207,31 т/год, а по фосфору 15,68 т/год.

Полученные данные не противоречат результатам других авторов, исследующих фоновую биогенную нагрузку на Финский залив.

Методика может быть эффективно использована при разработке мероприятий по снижению биогенной нагрузки на водные объекты и планировании хозяйственной деятельности на водосборах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Финский залив, фоновая биогенная нагрузка, ГИС «Карта 2011», геоинформационное моделирование

¹ Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, ул. Ждановская, д. 13, 197198, Санкт-Петербург, Россия; *e-mail*: Osipov-G-K-2005@yandex.ru

² Санкт-Петербургский горный университет, Васильевский о-в, 21 линия, д. 2, 199106, Санкт-Петербург, Россия; *e-mail*: vfkedr@mail.ru

Alexey G. Osipov¹, Georgy K. Osipov¹, Vasily F. Kovyazin²

METHODS OF GI MODELING OF BIOGENIC SUBSTANCES REMOVAL TO THE GULF OF FINLAND FROM FOREST VEGETATION COVER

ABSTRACT

Biogenic pollution of water bodies and their eutrophication is one of the most serious environmental problems of our time. One of the sources of water pollution with biogenic substances is forests, which belong to the background sources of biogenic load. Currently available methods for assessing the removal of nutrients from the forest vegetation cover do not provide the desired results, which causes an urgent need for their improvement.

This article describes the method developed by the authors of geoinformation modeling of removal of biogenic substances from the forest vegetation cover to water bodies, taking into account the spatial distribution of vegetation in the catchment area, its species composition and absorption of biogenic substances during their migration.

The Eastern part of the Gulf of Finland was adopted as the object of testing of the developed method. This is due to the fact that eutrophication processes are actively manifested within its water area.

The volume of the background biogenic load on the Gulf of Finland, formed during the decomposition of the fall of the natural vegetation cover in the catchment area, was determined based on the specific removal of biogenic substances from plant communities and their absorption during migration “plant community — water object”.

The total background biogenic load on the eastern part of the Gulf of Finland, formed as a result of decomposition of natural vegetation cover, was 170.21 t/year for the northern catchment for nitrogen, 12.14 t/year for phosphorus, and 207.31 t/year for the southern catchment for nitrogen, and 15.68 t/year for phosphorus.

The data obtained do not contradict the results of other authors who study the background biogenic load on the Gulf of Finland.

The method can be effectively used in the development of measures to reduce the nutrient load on water bodies and planning of economic activities in catchments.

KEYWORDS: Gulf of Finland, background biogenic load, GIS “Map 2011”, GI modeling

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее загрязнённой частью Балтийского моря является Финский залив [Бубличенко и др., 2003; Гальцова и др., 2002; Jesper et al., 2017]. Его качество воды во многом определяется выносом биогенных веществ с территорий, расположенных в России, Финляндии и Эстонии [Поздняков и др., 2016; Румянцев, Кондратьев, 2014; Степанова, 2009]. Данный факт требует повышения эффективности контроля над биогенной нагрузкой, формируемой в пределах этих территорий.

К важнейшим направлениям решения данной задачи относится совершенствование научно-методического обеспечения работ по определению выноса биогенных веществ с водосбора Финского залива в его акваторию, особенно из фоновых источников биогенной нагрузки.

¹ Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky, Zhdanovskaya str., 13, St. Petersburg, 197198, Russia;
e-mail: Osipov-G-K-2005@yandex.ru

² Saint Petersburg Mining University, Vasilievsky isl., 21st line, 2, 199106, St. Petersburg, Russia;
e-mail: vfkedr@mail.ru

Рассматриваемой проблеме посвящены работы [Кондратьев и др., 2011; Степанова, 2009 и др.], кратко охарактеризуем особенности изложенных в них подходов.

В работе [Кондратьев и др., 2011] для расчёта фоновой биогенной нагрузки предлагается использовать зависимость, учитывающую связь между слоем стока и средней концентрацией в нём биогенных веществ, поступающих из фоновых источников биогенной нагрузки. Данный подход интересен, однако он сложен в реализации, т.к. в его основу заложены натурные мониторинговые наблюдения на естественных водосборах, которые требуют значительного количества финансовых и временных затрат.

В работе [Степанова, 2009] в основу расчёта фоновой биогенной нагрузки заложена связь между фоновой концентрацией фосфора в стоке и продуктивностью растительных сообществ. К сожалению, автор не учитывает особенности растительного покрова конкретных территорий, а оперирует лишь обобщёнными характеристиками для широтных зон.

На основании вышеизложенного следует, что данное исследование весьма актуально. Его целью является разработка методики определения в среде ГИС фонового выноса биогенных веществ в водные объекты при разложении опада лесного растительного покрова.

В основу исследования заложена следующая гипотеза: если будет разработана методика геоинформационного моделирования выноса биогенных веществ из лесного растительного покрова в водные объекты, то будет повышена эффективность контроля над фоновой биогенной нагрузкой, что позволит принимать более обоснованные решения по планированию мероприятий, снижающих вынос биогенных веществ с водосбора в исследуемый водный объект.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Под фоновой биогенной нагрузкой понимается вынос биогенных веществ в водные объекты в результате: разложения опада естественного растительного покрова в пределах необрабатываемых земель, смыва биогенных веществ с территорий, лишённых растительного покрова, атмосферных выпадений биогенных веществ на поверхность водосбора, эрозионных процессов. При этом к естественному растительному покрову необрабатываемых земель относят: леса и лесные насаждения; закустаренные территории; болота, пойменные заболоченные луга; заброшенные сельхозугодия и т.д.

Исходя из вышеизложенного, для определения фоновой биогенной нагрузки, сформированной при разложении опада естественного растительного покрова, необходимо знать видовой состав и пространственное распределение растительности на водосборе. Для решения этой задачи авторы предлагают использовать актуализированную аналоговую картографическую информацию.

Разработанная авторами методика реализуется в пять этапов:

- аналого-цифровое преобразование аналоговых карт в растровый формат и плановая привязка полученного растрового изображения;
- аналого-цифровое преобразование элементов растрового изображения, используемых для производства расчётов, в векторный формат;
- расчёт в среде ГИС фоновых потерь биогенных веществ при разложении опада естественного растительного покрова;
- расчёт фонового поступления биогенных веществ в Финский залив с учётом снижения биогенной нагрузки при её миграции в системе «источник нагрузки – водный объект»;
- представление результатов расчёта в картографическом виде.

Первый этап. На данном этапе собираются необходимые для проведения геоинформационного моделирования цифровые и аналоговые картографические материалы, определяется степень их пригодности для расчёта фоновой биогенной

нагрузки. В качестве основного картографического материала целесообразно использовать актуализированные топографические карты м-ба 1: 50 000. После чего на территории, где отсутствует цифровая картографическая информация, с использованием сканирующих устройств осуществляется преобразование аналоговой картографической информации в растровый формат. Сущность сканирования заключается в последовательном построчном считывании картографического изображения путём перемещения сканерного луча с заданной величиной шага. В итоге получают растровое изображение исходного картографического материала. Затем по координатам углов и центральных точек топографических карт осуществляется плановая привязка отсканированного изображения в среде ГИС «Карта 2011».

Второй этап. На данном этапе с использованием цифровой картографической информации или привязанного растрового изображения создают два векторных слоя: 1) границы водосборов малых рек; 2) границы зон прямого смыва. Для построения границ водосборов малых рек используется цифровая модель рельефа (ЦМР), создаваемая с помощью векторных слоёв рельефа и гидрографии. Построение ЦМР осуществляется с использованием программного обеспечения ГИС «Карта 2011». Для построения границ зон прямого смыва используется векторный слой гидрографии. Границы зон прямого смыва строятся автоматически с помощью процедуры «буферная зона».

Третий этап. При расчёте биогенной нагрузки, сформированной в результате разложения опада естественного растительного покрова, учитывается структура естественных угодий, расположенных в пределах изучаемой территории. Это связано с тем, что содержание биогенных веществ в растительном опаде и их вынос в Финский залив обусловлены видовым составом естественных растительных сообществ.

Основными типами естественных растительных сообществ, произрастающих на водосборе восточной части Финского залива, являются:

- лес хвойный: еловый, сосновый;
- лес мелколиственный: берёзовый, осиновый;
- лес смешанный: хвойно-мелколиственный;
- болото: верховое, низинное;
- луга естественные и заброшенные сельхозугодия.

Для расчёта объёма фоновой биогенной нагрузки, сформировавшейся в результате разложения опада естественного растительного покрова, предлагается использовать следующие зависимости:

$$W' = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m U_{ji} F_j \quad (1)$$

$$U_{ji} = \alpha_i V_{ij} \quad (2)$$

$$\alpha_i = \bar{v}_i / \bar{V}_i \quad (3)$$

где W' — объём фоновой биогенной нагрузки в пределах изучаемого водосбора кг/га; U_{ji} — удельный вынос i -го биогенного вещества из опада j -го типа естественного растительного сообщества, кг/га; F_j — площадь j -го типа естественного растительного сообщества в пределах изучаемого водосбора, га; α_i — коэффициент, характеризующий возможный вынос i -го биогенного вещества при разложении растительного опада; V_{ij} — удельное содержание i -го биогенного вещества в опаде j -го растительного сообщества, кг/га; \bar{v}_i — среднее удельное количество i -го биогенного вещества, вынесенного при разложении опада растительных сообществ, кг/га; \bar{V}_i — среднее удельное содержание i -го биогенного вещества в опаде растительных сообществ, кг/га.

При определении коэффициентов α , использовались два допущения:

- 1) коэффициенты не зависят от типа растительного сообщества;

2) коэффициенты характеризуют вынос биогенных веществ за пределы растительного сообщества.

При этом среднее удельное содержание биогенных веществ в опаде основных типов растительных сообществ \bar{V}_i было принято по данным работ [Алексеев и др., 1986; Германова, 1994; Николаев, Гашкова, 1987; Хрисанов, 1990, 1993; Эволюция..., 1988], а среднее удельное количество биогенных веществ, вынесенных при разложении опада основных типов растительных сообществ \bar{v}_i , было принято по данным работ [Никитин, 1985; Соколов, 1983; Хрисанов, Осипов, 1990; 1993; Эволюция..., 1988]. Согласно полученным результатам, средний коэффициент α для азота равен 0,04, а для фосфора — 0,02.

Удельное содержание биогенных веществ в опаде основных типов естественных растительных сообществ и их вынос за пределы сообщества приведены в табл. 1 [Германова, 1994; Николаев, Гашкова, 1987; Осипов, 2015; Соколов, 1983; Хрисанов, Осипов, 1993].

Табл. 1. Удельное содержание биогенных веществ в опаде основных типов естественных растительных сообществ и их вынос
 Table 1. Specific content of nutrients in the litter the main types of natural plant communities and their removal

Тип растительного сообщества	Удельное содержание, кг/га		Удельный вынос, кг/га	
	N _{общ}	P _{общ}	N _{общ}	P _{общ}
Лес хвойный:				
Еловый	36,0	2,0	1,44	0,04
Сосновый	16,0	4,3	0,64	0,09
Лес лиственный:				
Берёзовый	60,0	8,8	2,40	0,18
Липовый	38,0	9,0	1,52	0,08
Осиновый	46,0	4,0	1,60	0,06
Ольховый	40,0	3,0	1,00	0,05
Болото:				
Верховое	52,0	10,0	2,08	0,20
Низинное	95,0	12,0	3,80	0,24
Прочие растительные сообщества:				
Луга естественные и заброшенные сельхозугодья	46,0	5,0	1,84	0,10

При определении выноса биогенных веществ из смешанных растительных сообществ использовалось следующее допущение: порода леса, подписанная на карте первой, занимает 60 % его общей площади, а второй — 40 %; это допущение принято, согласно правилам, используемым при составлении топографических карт.

На основе изучения данных государственного учёта лесного фонда и лесотаксационных описаний были сделаны следующие выводы. В пределах исследуемой территории тип растительного сообщества «лес хвойный» состоит на 36 % из сосны и на 64 % из ели; тип растительного сообщества «лес мелколиственный» состоит на 68 % из берёзы и на 31 % из осины и других пород; тип растительного сообщества «лес смешанный» состоит на 70 % из хвойных пород и на 30 % из мелколиственных; тип растительного сообщества «болото» состоит на 95 % из верховых болот и на 5 % из низинных.

Четвёртый блок. При миграции биогенных веществ в системе «источник биогенной нагрузки — водный объект» происходит их активное поглощение растительным покровом. Например, лесные насаждения могут снижать биогенную

нагрузку до 45 %, кроме лесной растительности, на поглощение биогенных веществ оказывают влияние и др. угодья; так, культурный луг шириной 500 м снижает концентрацию фосфора в воде в 28 р. [Алексеевко и др., 1986; Никитин, Спирина, 1985; Хрисанов, Осипов, 1993]. Таким образом, чем больше поверхностные воды протекают по нераспаханным угодьям, тем меньше выносятся ими в водные объекты биогенных веществ.

Исходя из вышеизложенного, для учёта снижения биогенной нагрузки, поступающей в водный объект из зон прямого смыва, предлагается использовать зависимость удалённости угодья от уреза воды [Хрисанов, Осипов, 1993]:

$$R'_{N,P} = W'\beta, \quad (4)$$

где $R'_{N,P}$ — объём выноса биогенных веществ в водный объект с зон прямого смыва с учётом их поглощения при миграции по водосбору, кг/га; β — коэффициент поглощения биогенных веществ почвенно-растительным покровом зон прямого смыва (табл. 2).

Табл. 2. Коэффициент снижения биогенной нагрузки для зон прямого смыва
Table 2. Coefficient of reduction of biogenic load for direct flushing zones

Водность года	Расстояние от уреза воды, м				
	0–500	500–1000	1000–2000	2000–3000	3000–4000
Многоводный	0,9	0,7	0,5	0,3	0,1
Средней водности	0,7	0,5	0,3	0,1	0
Маловодный	0,5	0,3	0,1	0	0

Для расчёта выноса биогенных веществ в водный объект с водосборов неконтролируемых рек предлагается использовать зависимость, рекомендованную в работе [Кондратьев и др., 2011]:

$$R_{N,P} = W'(1 - \frac{1}{1 + aq^b}), \quad (5)$$

где $R_{N,P}$ — объём выноса биогенных веществ с водосборов неконтролируемых рек в водный объект с учётом их поглощения при миграции по водосбору, кг/га; q — модуль стока, л/(км²·сек); a и b — безразмерные эмпирические параметры, значения которых составляют: $a = 6,9$ и $b = -1,1$ для азота и $a = 26,6$ и $b = -1,71$ для фосфора. Значение модуля стока q связано со слоем стока y (мм/год) эмпирическим соотношением $q = 0,03171 \cdot y$.

Пятый блок. В завершении работ на исследуемую территорию в среде ГИС создаются электронные картограммы объёма выноса биогенных веществ в Финский залив в результате разложения опада естественного растительного покрова неконтролируемых рек и зон прямого смыва.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве объектов апробации разработанной методики были выбраны водосборы неконтролируемых бассейнов малых рек и зон прямого смыва восточной части Финского залива.

Границы исследуемых водосборов строились по ЦМР рельефа, созданной по топографической карте м-ба 1: 50 000 и уточнялись в интерактивном режиме.

Для определения видового состава и пространственного распределения естественного растительного покрова в пределах изучаемой территории использовались топографические карты масштаба 1: 50 000, данные государственного учёта лесного фонда и лесотаксационные описания.

Объём фоновой биогенной нагрузки, формируемой при разложении опада естественного растительного покрова на исследуемых водосборах, определялся по зависимости (1), а объём выноса биогенных веществ в Финский залив с учётом их поглощения при миграции по водосбору — по зависимостям (4) и (5).

Для иллюстрации процесса практической реализации разработанной методики подробно остановимся на определении выноса биогенных веществ из опада естественного растительного покрова водосбора р. Воронки в Финский залив. Рассматриваемый водосбор расположен в южной части исследуемой территории; его структура представлена на рис. 1.

Построение границ водосбора и зоны прямого смыва осуществлялось с помощью ГИС «Карта 2011». Затем в среде ГИС была проанализирована структура естественных угодий, расположенных в пределах изучаемой территории. Согласно анализу, 6,55 % территории водосбора занимают болота, 19,75 % — прочие земли, 71,1 % — лесной растительный покров, 1,4 % — озёра и 1,58 % — застроенные территории. При этом в лесном растительном покрове большую часть площади занимают берёзово-осиновые леса — 87,77 %, за ними следуют берёзово-еловые леса — 9,64 %, затем сосново-берёзовые леса — 1,74 % и елово-берёзовые леса — 0,86 % (рис. 2).

Расчёт объёма фоновой биогенной нагрузки, сформировавшейся в результате разложения опада естественного растительного покрова на водосборе р. Воронки, осуществлялся с использованием зависимостей (1) и (3), а расчёт ее снижения — с использованием зависимости (5).

В результате выполненных расчётов фоновая биогенная нагрузка водосбора р. Воронки на акваторию Финского залива, сформированная в результате разложения опада естественного растительного покрова, составила по азоту 28,03 т/год, а по фосфору — 2,93 т/год.

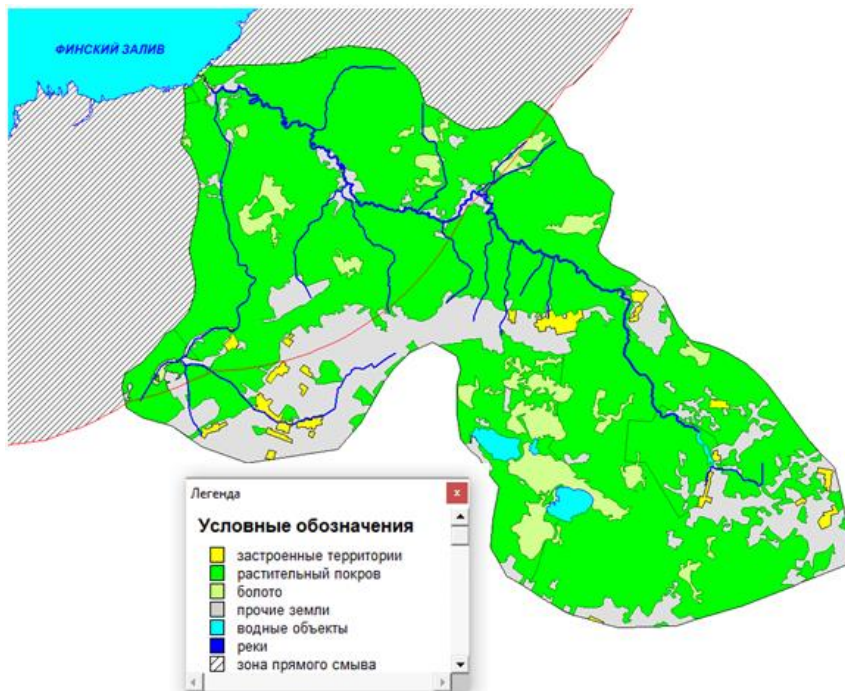


Рис. 1. Структура угодий водосбора р. Воронка
 Fig. 1. The structure of the catchment lands of the Voronka river



Рис. 2. Структура лесного растительного покрова на водосборе р. Воронка
 Fig. 2. Structure of forest vegetation cover in catchment area of the Voronka river

Табл. 3. Объём фоновой биогенной нагрузки на Финский залив с водосборов неконтролируемых рек
 Table 3. Volume of background biogenic load on the Gulf of Finland from catchments of uncontrolled rivers

Коды водосборов рек	Наименования рек	Фоновая биогенная нагрузка, т/год		Коды водосборов рек	Наименования рек	Фоновая биогенная нагрузка, т/год	
		№общ	Робщ			№общ	Робщ
1	Балтиец	3,56	0,23	9	Песчаная	4,19	0,27
2	Воронка	28,03	2,93	10	Полевая	5,53	0,37
3	Гороховка	16,42	1,14	11	Сестра	11,57	0,81
4	Караста	2,19	0,19	12	Систа	21,02	1,52
5	Коваши	20,62	1,54	13	Стрелка	4,45	0,35
6	Красенькая	9,99	0,94	14	Чёрная	3,44	0,26
7	Лебяжья	5,23	0,44	15	Чулковка	2,47	0,16
8	Малиновка	3,16	0,22	16	Шингарка	6,21	0,61



Рис. 3. Распределение фоновой биогенной нагрузки на акваторию Финского залива по азоту по водосборам малых рек
 Fig. 3. Distribution of background biogenic load on the water area of the Gulf of Finland by nitrogen in the catchments of small rivers

Аналогичным способом была рассчитана фоновая биогенная нагрузка на акваторию Финского залива, сформированная в результате разложения опада естественного растительного покрова и с других водосборов неконтролируемых малых рек. Полученные результаты приведены в табл. 3 и на рис. 3 и 4.

Расчёт фоновой биогенной нагрузки, сформировавшейся в результате разложения опада естественного растительного покрова на водосборах зон прямого смыва, осуществлялся с использованием зависимостей (1) и (3), а расчет её снижения — с использованием зависимости (4). Полученные результаты приведены в табл. 4.

Суммарная фоновая биогенная нагрузка на восточную часть Финского залива, сформированная в результате разложения опада естественного растительного покрова, составила для северного водосбора по азоту 170,21 т/год, по фосфору 12,14 т/год, а для южного водосбора по азоту 207,31 т/год, а по фосфору 15,68 т/год (рис. 5). Общая площадь водосборов исследуемых малых рек и зон прямого смыва составила 7 184,9 км².

Исходя из вышеприведённых данных, удельный вынос азота из лесного растительного покрова водосбора в восточную часть Финского залива составил 52,5 кг·км²/год, а фосфора — 3,9 кг·км²/год.

Полученные данные не противоречат результатам других авторов, исследующих фоновую биогенную нагрузку на Финский залив; например, в работе [Степанова, 2009, с. 353] удельный вынос фосфора из растительных сообществ в акваторию залива составил 4,3 кг·км²/год.

Однако следует отметить, что в работе [Кондратьев и др., 2018, с. 115] удельные значения фонового выноса азота и фосфора с водосборов контролируемых притоков Финского залива превышают значения, полученные в процессе апробации разработанной методики, по азоту в 5 р. (275,3 кг·км²/год), а по фосфору в 3 р. (12,0 кг·км²/год). Это связано с тем, что в данной работе при определении фоновой биогенной нагрузки на Финский залив учитывался суммарный фоновый вынос биогенных веществ, включающий в себя: вынос из лесного растительного покрова; вынос из земель естественных и антропогенных (измененных) ландшафтов, лишённых растительности; вынос, сформированный в результате атмосферных выпадений на поверхность водосбора; вынос, сформированный в результате эрозионных процессов.

Разработанная авторами методика позволяет оперативно получать информацию о фоновом выносе биогенных веществ при разложении опада естественного растительного покрова в водные объекты на основе ограниченного объёма исходных данных. Заложенные в её основу научно-методические подходы базируются на исследованиях, проведённых ими с 1990 г. по настоящее время [Арефьев и др., 1995; Осипов, 2015; Хрисанов, Осипов, 1990; 1993], которые были доложены на множестве всероссийских и международных конференций, где получили поддержку и одобрение.

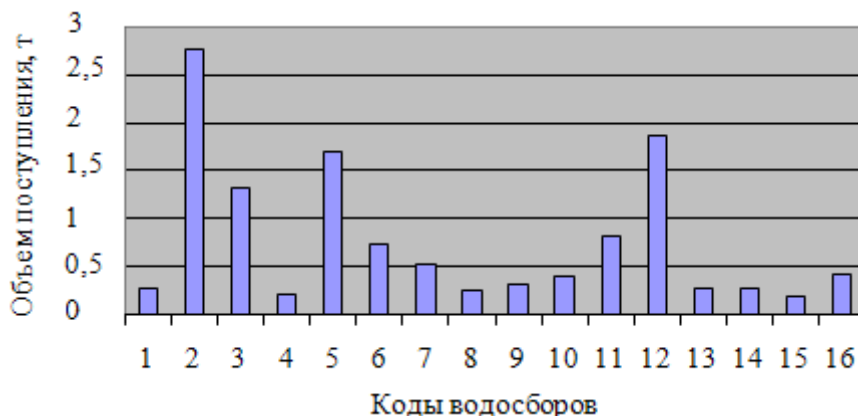


Рис. 4. Распределение фоновой биогенной нагрузки на акваторию Финского залива по фосфору по водосборам малых рек

Fig. 4. Distribution of background biogenic load on the water area of the Gulf of Finland by phosphorus in the catchments of small rivers

Табл. 4. Объем фоновой биогенной нагрузки на Финский залив с водосборов зон прямого смыва
 Table 4. Volume of background biogenic load on the Gulf of Finland from catchments of direct flushing zones

Наименование зоны прямого смыва	Фоновый вынос биогенных веществ в Финский залив, т/год	
	N _{общ}	P _{общ}
Северное побережье	121,62	8,57
Южное побережье	104,21	6,91

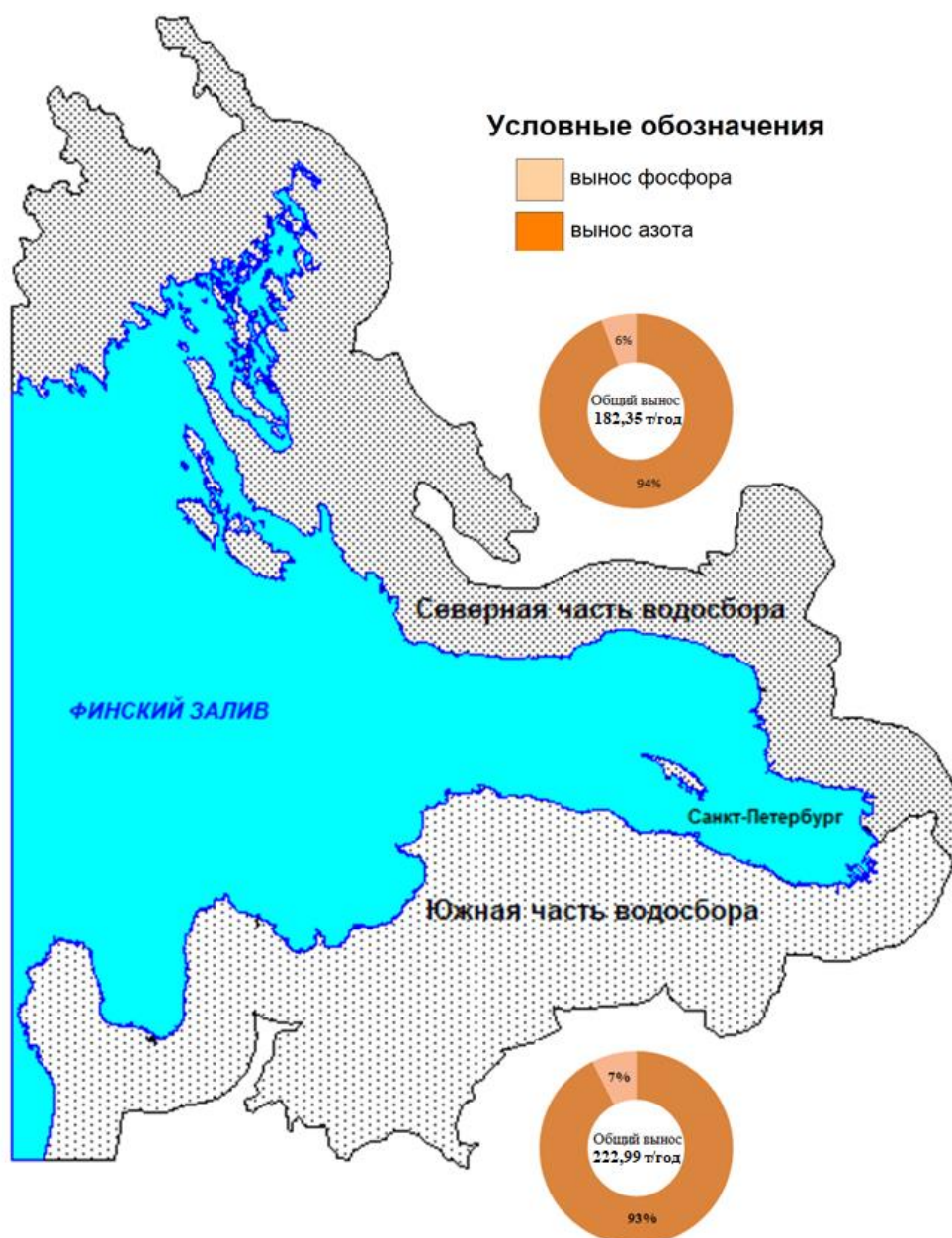


Рис. 5. Суммарная фоновая биогенная нагрузка на восточную часть Финского залива, сформированная в результате разложения опада естественного растительного покрова
 Fig. 5. Total background biogenic load on the Eastern part of the Gulf of Finland, formed as a result of the decomposition of the fall of the natural vegetation cover

В предыдущих исследованиях внимание авторов было сосредоточено на отдельных аспектах данной работы, включая разработку имитационной модели динамики биогенных веществ в системе «водосбор – водоток – водохранилище» [Хрисанов, Осипов, 1990], разработку подходов к управлению эвтрофированием водоёмов [Хрисанов, Осипов, 1993], разработку основ комплексной оценки биогенной нагрузки на прибрежные воды Финского залива [Арефьев и др., 1995], разработку подходов к учёту биогенного загрязнения вод при управлении природно-аграрными системами [Осипов, 2015].

В данной статье на основе обобщения результатов ранее выполненных авторами работ сформулированы теоретические положения и научно-методические основы методики геоинформационного моделирования выноса биогенных веществ в Финский залив из лесного растительного покрова.

Полученные авторами результаты полностью соответствуют выдвинутой гипотезе.

ВЫВОДЫ

В процессе выполненного исследования получены следующие результаты:

- разработана методика определения в среде ГИС фонового выноса биогенных веществ из опада лесного растительного покрова водосбора в исследуемый водный объект, позволяющая оперативно получать информацию о влиянии естественной растительности на биогенное загрязнение вод, что даст возможность принимать более обоснованные решения при планировании природоохранных мероприятий;
- на основе литературных источников определено содержание биогенных веществ в опаде основных типов естественных растительных сообществ водосбора восточной части Финского залива и их вынос с поверхностным стоком;
- предложены подходы к определению снижения объёма биогенной нагрузки при её миграции в системе «растительное сообщество — водный объект»;
- определён в среде ГИС вынос азота и фосфора из лесного растительного покрова водосборов малых рек и зон прямого смыва в восточную часть Финского залива;
- разработанная методика может быть успешно применена для мониторинга фоновой биогенной нагрузки на водный объект.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на адаптацию разработанной методики для других регионов с учётом специфики их физико-географических условий.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, грант № 19-05-00683-а.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was funded by the Russian Foundation of Basic Research, grant No 19-05-00683-a.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеенко В.А., Гришина Л.А., Кудрявцева Н.А., Марунич С.В., Брехов П.Т. Изучение геохимических потоков азота и фосфора на опытном полигоне Таёжный Лог (Валдай). Вестник Московского Университета. Серия 17. Почвоведение, 1986. № 1. С. 21–26.
2. Арефьев Н.В., Осипов Г.К., Кукушкин В.А., Атрашенок В.П. Комплексная оценка рекреационной и азотной нагрузки на прибрежные воды Финского залива. Материалы международного симпозиума. Исследования по инженерной гидравлике. Гданьск, Польша, 1995. С. 112–118.
3. Бубличенко А.Г., Бубличенко Ю.Н., Гальцова В.В., Дмитриев В.В., Доронина А.Ю., Иванов В.В., Кулангиева Л.В., Ланге Е.К., Лукьянов С.В., Пнюшков А.В., Резников А.И.,

- Степанов О.В., Шилин М.Б., Волкова Е.А., Исаченко Г.А., Храмцов В.Н.* Природная среда побережья и акватории Финского залива (район порта «Приморск»). СПб.: Бостон-Спектр, 2003. 128 с.
4. *Гальцова В.В., Дмитриев В.В., Фрумин Г.Т., Новикова О.В.* Оценка экологического состояния Финского залива: подходы, методы, результаты. Материалы итоговой сессии Учёного совета. Информационные материалы. СПб.: РГГУ, 2002. С. 189–191.
5. *Германова Н.И.* Деструкция в хвое-лиственного опада в лесных насаждениях среднетаёжной подзоны. Структурно-функциональная организация лесных почв среднетаёжной подзоны Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1994. С. 92–100.
6. *Кондратьев С.А., Казьмина М.В., Шмакова М.В., Маркова Е.Г.* Метод расчёта биогенной нагрузки на водные объекты. Региональная экология. СПб.: НИЦЭБ РАН, 2011. С. 50–59.
7. *Кондратьев С.А., Шмакова М.В., Брюханов А.Ю., Викторова Н.В., Ершова А.А., Обломкова Н.С.* К оценке биогенного стока в Финский залив Балтийского моря. Учёные записки Российского государственного гидрометеорологического университета, 2018. № 51. С. 109–120.
8. *Никитин А.П., Спирина А.Г.* Роль лесных насаждений в защите водоёмов от заиления и загрязнения. Водные ресурсы, 1985. № 1. С. 109–113.
9. *Николаев С.В., Гашкова М.Я.* Разложение в воде хвои и листьев основных лесобразующих пород. Межвузовский сборник научных трудов. Л.: ЛТА, 1987. С. 46–49.
10. *Осипов А.Г.* Методика оценки экологической безопасности структуры землепользования по критерию биогенного загрязнения вод при создании и реконструкции природно-аграрных систем. Информация и космос, 2015. № 4. С. 106–112.
11. *Поздняков Ш.Р., Кондратьев С.А., Тарбаева В.М., Шмакова М.В., Брюханов А.Ю., Воробьёва Е.А., Обломкова Н.С.* Научное обоснование выполнения рекомендаций ХЕЛКОМ по снижению биогенной нагрузки на Финский залив со стороны России. Вестник СПбГУ. Серия 7. Геология. География, 2016. С. 53–65.
12. *Поздняков Ш.Р., Кондратьев С.А.* Формирование биогенной нагрузки на Балтийское море с Российской территории и возможности её снижения в соответствии с требованиями плана действий ХЕЛКОМ. Региональная экология. СПб.: НИЦЭБ РАН, 2017. С. 65–73.
13. *Румянцев В.А., Кондратьев С.А.* О соответствии биогенной нагрузки с российской территории на Финский залив требованиям плана действий по Балтийскому морю ХЕЛКОМ. Общество. Среда. Развитие, 2014. № 3. С. 159–162.
14. *Соколов А.А.* Влияние леса на вынос минеральных элементов в водотоки. Лесоведение, 1983. № 5. С. 8–14.
15. *Степанова Е.В.* Оценка фоновой составляющей стока валового фосфора с водами контролируемых и неконтролируемых рек бассейна Балтийского моря. Казань: Молодой учёный, 2009. № 11. С. 352–355.
16. *Хрисанов Н.И., Осипов Г.К.* Имитационная модель динамики биогенных веществ в системе «водосбор-водоток-водохранилище». Важнейшие аспекты антропогенного воздействия на качество воды, почвы и мероприятия по охране флоры и фауны. Сборник научных трудов. М.: ВНИИГиМ, 1990. С. 44–48.
17. *Хрисанов Н.И., Осипов Г.К.* Управление эвтрофированием водоёмов. СПб.: Гидрометеоздат, 1993. 278 с.
18. Эволюция круговорота фосфора и эвтрофирование природных вод. Л.: Наука, 1988. 208 с.
19. *Jesper H.A., Jacob C., Daniel J.C., Karsten D., Fleming-Lehtinen V., Gustafsson B., Josefson A.B., Norkko A., Villnäs A., Murray C.* Long-term temporal and spatial trends in eutrophication status of the Baltic Sea. Biological Reviews, 2017. P. 135–149.

REFERENCES

1. *Alekseenko V.A., Grishina L.A., Kudryavceva N.A., Marunich S.V., Brehov P.T.* Study of geochemical flows of nitrogen and phosphorus at the taiga Log (Valdai) test site. Herald of Moscow University. Series 17. Soil science, 1986. No 1. P. 21–26 (in Russian).
2. *Aref'ev N.V., Osipov G.K., Kukushkin V.A., Atrashenok V.P.* Comprehensive assessment of recreational and nitrogen load on coastal waters of the Gulf of Finland. Proceedings of the international Symposium. Research on engineering hydraulics. Gdansk, Poland, 1995. P. 112–118 (in Russian).
3. *Bublichenko A.G., Bublichenko Yu.N., Galtsova V.V., Dmitriev V.V., Doronina A.Yu., Ivanov V.V., Kulangieva L.V., Lange E.K., Lukyanov S.V., Pnyushkov A.V., Reznikov A.I., Stepanov O.V., Shilin M.B., Volkova E.A., Isachenko G.A., Khramtsov V.N.* Natural environment of the coast and water area of the Gulf of Finland (port area “Primorsk”). St. Petersburg: Boston-Specter, 2003. 128 p (in Russian).
4. *Galtsova V.V., Dmitriev V.V., Frumin G.T., Novikova O.V.* Assessment of the ecological state of the Gulf of Finland: approaches, methods, results. Materials of the final session of the Academic Council. Information material. St. Petersburg: RSUH, 2002. P. 189–191 (in Russian).
5. *Germanova N.I.* Destruction in coniferous-leaf litter in forest plantations of the middle taiga subzone. Structural and functional organization of forest soils of the middle taiga subzone of Karelia. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1994. P. 92–100 (in Russian).
6. Evolution of phosphorus cycle and eutrophication of natural waters. Leningrad: Nauka, 1988. 208 p (in Russian).
7. *Jesper H.A., Jacob C., Daniel J.C., Karsten D., Fleming-Lehtinen V., Gustafsson B., Josefson A.B., Norkko A., Villnäs A., Murray C.* Long-term temporal and spatial trends in eutrophication status of the Baltic Sea. Biological Reviews, 2017. P. 135–149.
8. *Khrisanov N.I., Osipov G.K.* Management of eutrophication of reservoirs. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1993. 278 p. (in Russian).
9. *Khrisanov N.I., Osipov G.K.* Simulation model of the dynamics of biogenic substances in the system “catchment-watercourse-reservoir”. The most important aspects of anthropogenic impact on water quality, soil quality and measures for the protection of flora and fauna. Proceedings. Moscow: ARSRIHELRL (All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov), 1990. P. 44–48 (in Russian).
10. *Kondratiev S.A., Kazmina M.V., Shmakova M.V., Markova E.G.* Method for calculating the biogenic load on water objects. Regional Ecology. St. Petersburg: RCES RAS (Research Center for Environmental Safety of RAS), 2011. P. 50–59 (in Russian).
11. *Kondratiev S.A., Shmakova M.V., Bryuhanov A.Yu., Viktorova N.V., Ershova A.A., Oblomkova N.S.* On the assessment of biogenic runoff to the Gulf of Finland of the Baltic sea. Scientific Notes of the Russian State Hydrometeorological University, 2018. No 51. P. 109–120 (in Russian).
12. *Nikitin A.P., Spirina A.G.* The role of forest plantations in protecting water bodies from silting and pollution. Water Resources, 1985. No 1. P. 109–113 (in Russian).
13. *Nikolaev S.V., Gashkova M.Ya.* Decomposition in water of needles and leaves of the main forest-forming breeds. Intercollegiate collection of scientific papers. Leningrad: Forestry academy, 1987. P. 46–49.
14. *Osipov A.G.* Methods of assessment of ecological safety of land use structure by the criterion of biogenic water pollution in the creation and reconstruction of natural and agricultural systems. Information and Space, 2015. No 4. P. 106–112 (in Russian).
15. *Pozdnyakov Sh.R., Kondratiev S.A., Tarbaeva V.M., Shmakova M.V., Bryuhanov A.Yu., Vorobeva E.A., Oblomkova N.S.* Scientific substantiation of the implementation of HELCOM

recommendations to reduce the biogenic load on the Gulf of Finland from Russia. Vestnik of Saint Petersburg University. Series 7. Geology. Geography, 2016. P. 53–65 (in Russian).

16. *Pozdnyakov Sh.R., Kondratiev S.A.* formation of the biogenic load on the Baltic sea from the Russian territory and the possibility of its reduction in accordance with the requirements of the HELCOM action plan. Regional Ecology. St. Petersburg: RCES RAS (Research Center for Environmental Safety of RAS), 2017. P. 65–73 (in Russian).

17. *Rumyancev V.A., Kondratiev S.A.* On the compliance of the biogenic load from the Russian territory to the Gulf of Finland with the requirements of the HELCOM Baltic sea action plan. Society. Environment. Development, 2014. No 3. P. 159–162 (in Russian).

18. *Sokolov A.A.* The influence of the forest on the removal of mineral elements in watercourses. Russian Journal of Forest Science, 1983. No 5. P. 8–14 (in Russian).

19. *Stepanova E.V.* Assessment of the background component of gross phosphorus runoff with the waters of controlled and uncontrolled rivers in the Baltic sea basin. Kazan: Young Scientist, 2009. No 11. P. 352–355 (in Russian).
