

по материалам авиаразведок. Сборник работ ГМО., Л., 1966, вып.3. С. 135-182.

4. Усачев В.Ф., Прокачева В.Г., Бородулин В.В. Оценка динамики озерных льдов, снежного покрова и речных разливов дистанционными средствами. – Л.: Гидрометеиздат, 1985.-103 с.

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОЙ БИОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА РОССИЙСКУЮ АКВАТОРИЮ ФИНСКОГО ЗАЛИВА И ЕЕ СООТВЕТСТВИЕ МЕЖДУНАРОДНЫМ ТРЕБОВАНИЯМ

Кондратьев С.А.

Институт озерадения РАН, г. Санкт-Петербург
kondratyev@limno.org.ru

Финский залив – одна из наиболее загрязнённых акваторий Балтийского моря [1]. В ноябре 2007 г. на сессии Хельсинкской комиссии (ХЕЛКОМ) принят План действий по Балтийскому морю (ПДБМ) [2], который должен представлять собой долговременную стратегию оздоровления Балтийского моря. По результатам математического моделирования с использованием шведской модели экосистемы Балтийского моря MARE NEST для Финского залива определены максимально возможные нагрузки общим фосфором ($P_{\text{общ}}$) и общим азотом ($N_{\text{общ}}$) в размере 4860 т P/год и 106 680 т N/год с территории водосбора, расположенного в России, Финляндии и Эстонии [2]. ПДБМ предполагает установление в будущем платы за избыточное поступление биогенных веществ в Балтийское море от каждой страны. Указанный факт придает особую актуальность вопросу о выполнении научно-обоснованной оценки современного уровня биогенной нагрузки на Финский залив со стороны России.

Цель настоящей работы – оценка нагрузки $P_{\text{общ}}$ и $N_{\text{общ}}$ на российскую часть акватории Финского залива с водосбора за период 2012-2013 гг. на основе данных мониторинга, по результатам специальных полевых исследований и с привлечением методов математического моделирования, а также оценка соответствия современных значений биогенной нагрузки требованиям ПДБМ.

Биогенная нагрузка на Финский залив, поступающая через российскую береговую линию с 80% площади водосбора залива, формируется следующими источниками:

1. вынос из Ладожского оз. со стоком р. Невы;

2. сбросы сточных вод Санкт-Петербурга;
3. вынос со стоком р. Нарвы;
4. вынос со стоком р. Луги;
5. вынос с частного водосбора р. Невы;
6. вынос с частного водосбора Финского залива, не охваченного системой мониторинга Росгидромета.

Биогенная нагрузка, сформированная первыми четырьмя указанными источниками (Ладожское оз., Санкт-Петербург, реки Нарва и Луга), может быть достаточно легко оценена на основе материалов государственного мониторинга Росгидромета и статистических данных ГУП «Водоканал СПб», что и было сделано. Для оценки выноса $P_{\text{общ}}$ и $N_{\text{общ}}$ с частных водосборов р. Невы и Финского залива в настоящей работе использовались материалы специально проведенных натурных наблюдений за стоком малых притоков Финского залива и содержанием в них биогенных веществ, а также методы математического моделирования. Ниже приведены результаты количественной оценки всех составляющих биогенной нагрузки на залив.

За последнее десятилетие гидрохимические характеристики Петрокрепостной бухты Ладожского оз., из которой вытекает р. Невы, практически не изменились. Поэтому современный вынос биогенных веществ из Ладоги, сформированный на ее водосборе с площадью $\sim 280000 \text{ км}^2$, принят равным 1000 т Р/год и 40100 т N/год [3]. Следует помнить, что этот вынос азота и фосфора сформирован не только на Российской территории, так как около 20% площади водосбора Ладоги находится на территории Финляндии.

Информация о динамике сбросов биогенных веществ с очищенными и неочищенными сточными водами Санкт-Петербурга представлена на сайте ГУП Водоканал Санкт-Петербурга [<http://www.vodokanal.spb.ru/>]. В соответствии с приведенными данными муниципальная биогенная нагрузка на залив в среднем за 2012–2013 гг. принята равной 442 т Р/год и 9483 тN/год .

По данным мониторинга Росгидромета вынос биогенных веществ со стоком р. Нарвы (створ Ивангород) в среднем за 2012 – 2013 гг. составлял 344 т Р/год и 10379 т N/год . Исходя из того, что Российская территория здесь занимает 63.3% общей площади водосбора, составляющей $\sim 56\,000 \text{ км}^2$, можно приближенно оценить биогенную нагрузку на Финский залив со стороны водной системы

Чудско-Псковского оз., р. Нарвы и Нарвского водохранилища в 217 т Р/год и 5703 т N/ год.

Нагрузка, сформированная на водосборе р. Луги площадью ~ 12200 км², рассчитана по данным мониторинга Росгидромета; ее средние значения (2012-2013 гг.) составили 331 т Р/год и 4252 т N/год.

В 2013 году в Российском государственном гидрометеорологическом Университете выполнено диссертационное исследование, посвященное изучению и оценке биогенной нагрузки, сформированной на частном водосборе Невы площадью ~ 5500 км² [4]. В качестве средства решения поставленной задачи использована математическая модель формирования биогенной нагрузки ILLM (Institute of Limnology Load Model), разработанная в ИНОЗ РАН [5]. На рис. 1 приведена общая структура ILLM.

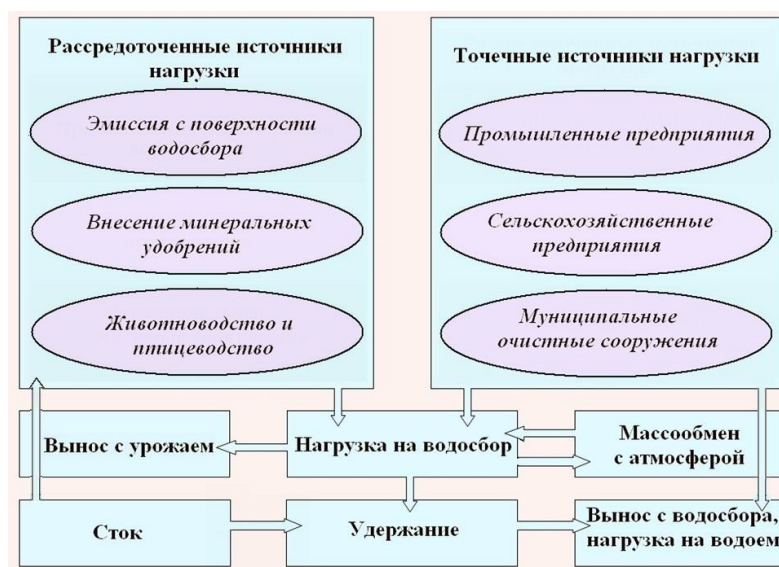


Рис. 1 – Схема математической модели формирования биогенной нагрузки ILLM [5]

Модель учитывает вклад точечных и рассредоточенных источников в формирование биогенной нагрузки на водосбор, позволяет рассчитывать вынос примесей с водосбора с учетом влияния гидрологических факторов и удержания биогенных веществ водосбором и гидрографической сетью. Конечным итогом моделирования является количественная оценка биогенной нагрузки на водоем со сторо-

ны водосбора и отдельных ее составляющих. Модель верифицирована на материалах наблюдений за стоком и выносом биогенных веществ малыми притоками Невы (реками Славянка, Ижора, Тосна, Мга). После чего проведен расчет выноса $P_{\text{общ}}$ и $N_{\text{общ}}$ со всего водосбора Невы. В соответствии с результатами моделирования современный вынос биогенных веществ с водосбора Невы составляет ~ 790 т Р/год и 3830 т N/год.

В рамках проекта «Год Финского залива – 2014» при финансовой поддержке Невско-Ладожского бассейнового водного Управления проведена работа по оценке биогенной нагрузки на залив с его частного водосбора площадью ~ 9200 км² (т.е. с водосбора малых притоков, не охваченных в настоящее время системой измерений мониторинга Росгидромета). В 2013 г. обследовано 17 малых притоков залива, формирующих биогенную нагрузку непосредственно на изучаемую акваторию. На северном побережье – это реки Песчаная, Великая, Чулковка, Полевая, Дрёма, Матросовка, Гороховка и Чёрная. На южном побережье – реки Стрелка, Шингарка, Караста, Чёрная, Лебяжья, Коваши, Воронка, Систа и Хаболовка. Схема расположения водосборов рассматриваемых рек и точек отбора проб представлена на рис. 2.

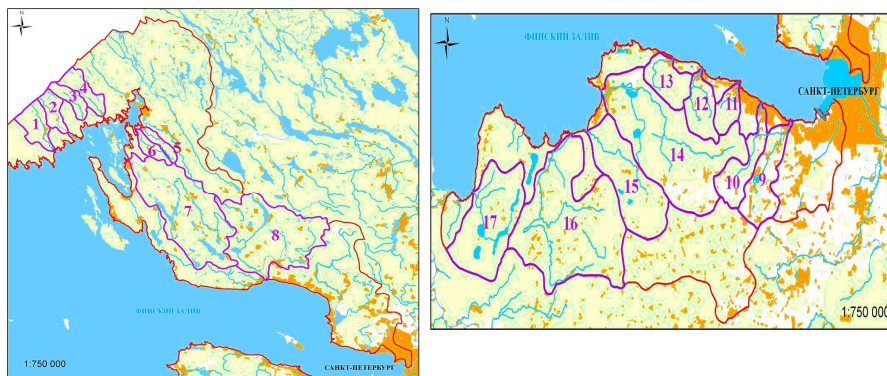


Рис. 2 – Схема расположения водосборов изученных рек северного побережья Финского залива: Песчаная (1), Великая (2), Чулковка (3), Полевая (4), Дрёма (5), Матросовка (6), Гороховка (7), Черная (8), Стрелка (9), Шингарка (10), Караста (11), Черная (12), Лебяжья (13), Коваши (14), Воронка (15), Систа (16), Хаболовка (17)

Общая водосборная площадь исследуемых водотоков, впадающих в Финский залив, составляет 5262 км². Все водосборы района северного побережья (от границы с Финляндией до Санкт-Петер-

бурга) расположены в пределах Балтийского кристаллического щита и вытянуты в направлении Выборгского и Финского заливов. Абсолютные отметки местности изменяются от 0 м (устьевые участки рек) до 110 м. Залесенность водосбора составляет в среднем 62% от значения общей площади. Сельскохозяйственные угодья занимают около 4 % площади. Район южного побережья простирается от Санкт-Петербурга до устья р. Луги. Реки района берут свое начало на Ижорской возвышенности. Абсолютные отметки местности изменяются от 0 м (устьевые участки рек) до 160 м. Залесенность водосбора составляет в среднем 55% от значения общей площади. Сельскохозяйственные угодья занимают 12% площади.

В соответствии с региональным разделением гидрологических сезонов были выбраны сроки проведения наблюдений: зимний период – март; весенний период – апрель, летний период – июнь; осенний период – сентябрь. В указанные сроки проводились измерения расходов воды и содержания общего азота и общего фосфора (в нефилтрованных пробах воды). Выбранные створы проведения гидрометрических работ и отбора проб располагались вблизи устьевых участков рассматриваемых рек и автомобильных дорог.

Анализ результатов натурных измерений показал, что в период зимней межени на северном побережье Финского залива расходы воды изучаемых водотоков изменялись от 0.04 до 7.5 м³/с; на южном побережье – от 0.5 до 9.6 м³/с. На северных притоках расходы воды, измеренные в период весеннего половодья, в среднем в 19 раз превышали расходы зимней межени, на юге – расходы летней межени в среднем в 34 раза меньше расходов в период половодья. Расходы воды, измеренные в осенний период, практически не отличались от расходов летней межени, что связано с отсутствием сильных дождей как летом, так и осенью 2013 г.

Концентрация общего фосфора в среднем составила 0.10 мг/дм³. Наименьшие концентрации наблюдались в период наибольшей водности весеннего половодья; наименьшие концентрации – в период летне-осенней межени. При этом концентрации фосфора на реках северного и южного побережий Финского залива практически не отличались. Максимальные измеренные концентрации составили для рек северного побережья – 0.25 мгР/дм³ (р. Матросовка), для рек южного побережья – 0.27 мгР/дм³ (р. Караста).

Наблюдалась общая тенденция увеличения концентраций общего фосфора к концу гидрологического года. На реках северного

побережья концентрации в среднем изменялись от 1.16 мгР/дм³ в период зимней межени, до 2.5 мгР/дм³ в осенний период. Максимальные концентрации отмечены на реках Полевая и Чулковка. На юго-восточном побережье концентрации в среднем изменялись от 1.29 мгР/дм³ в период зимней межени до 2.89 мгР/дм³ в осенний период. Максимальные концентрации зафиксированы на реках Систа, Стрелка и Воронка. При этом не выявлена зависимость концентрации фосфора от морфологических характеристик водосборов. Статистически значимая положительная связь концентрации фосфора от степени урбанизированности территории отмечена только для рек северного побережья Финского залива.

Для водосборов всех 17 рек выявлена отрицательная зависимость концентрации общего азота от заболоченности водосборов. Особенно отчетливо эта зависимость проявляется в период весеннего половодья. Для рек южного побережья получены положительные зависимости концентрации азота от степени сельскохозяйственной освоенности территории, однако эти зависимости статистически не значимы. Для малых рек северного побережья Финского залива, имеющих более залесенные и менее сельскохозяйственно освоенные водосборы, выявлена положительная зависимость содержания азота в стоке от степени залесенности.

Интерполяция и экстраполяция значений измеренных расходов воды и концентрации $P_{\text{общ}}$ и $N_{\text{общ}}$ позволили приближённо оценить биогенную нагрузку на Финский залив, сформированную на водосборах изученных в 2013 г. малых притоков, в 133 т Р/год и 2884 т N/год. Для оценки нагрузки с неохваченной измерениями площади проведены необходимые расчёты с использованием упомянутой выше математической модели формирования биогенной нагрузки ILLM [5]. Обеспечение модели исходными данными проводилось с использованием имеющейся геоинформационной системы, форм статистической отчётности 2-ТП Водхоз, информации с сайта Федеральной службы государственной статистики [<http://www.gks.ru/dbscripts/munst/munst58/DBInet.cgi>], а также значений параметров, полученных в предыдущих исследованиях [5]. Кроме того, модель была дополнительно откалибрована по данным натурных наблюдений 2013 г., проведенных на 17 малых притоках залива.

В результате суммарное значение биогенной нагрузки на Финский залив со стороны водосбора малых притоков северного и южного побережий в 2013 г. составило 363 т Р/год и 5039 т N/год. Эти

цифры учитывают и вклад точечных источников биогенной нагрузки, осуществляющих сброс очищенных сточных вод напрямую в Финский залив, основными из которых являются муниципальные очистные сооружения городов Сосновый Бор и Выборг.

В табл. 1 приведены результаты оценки биогенной нагрузки на российскую часть Финского залива, выполненной для периода 2012-2013 гг., из которых следует, что рассчитанные значения современной нагрузки составляют 3143 т Р/год и 68407 т N/год.

Таблица 1 – Оценка биогенной нагрузки на Финский залив (т/год) за период 2012-2013 гг., поступающей с Российской части водосбора

	Источник нагрузки	Р _{общ}	N _{общ}
1	Ладожское озеро	1000	40100
2	Санкт-Петербург	442	9483
3	Река Нарва	217	5703
4	Река Луга	331	4252
5	Частный водосбор р. Невы	790	3830
6	Водосборы малых притоков Финского залива	363	5039
Общая нагрузка		3143	68407
% от допустимой нагрузки (4860 тР/год, 106680 тN/год)		65	64

Нетрудно сделать вывод, что на территории, составляющей около 80% площади водосбора Финского залива, формируется 64 – 65% от допустимых значений нагрузки, рекомендованных в ПДБМ (2007). То есть биогенная нагрузка на Финский залив с Российской территории в настоящее время не превосходит критических значений и какие-либо претензии к нашей стране здесь не уместны.

Из сказанного, естественно, не следует, что нагрузку на залив снижать уже не нужно. В любом случае минимизация поступления загрязняющих веществ с водосбора является единственным путем оздоровления экосистемы Финского залива и всего Балтийского моря.

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. Ладога – под ред. Румянцева В.А. и Кондратьева С.А.//СПб, Изд-во «Нестор-История», 2013. 467 с.

4. *Ершова А.А.* Автореф. дисс. «Комплексная оценка поступления биогенных веществ с водосбора реки Невы в Восточную часть Финского залива» на соискание уч. ст. кандидата географических наук по специальности 25.00.36 // СПб, РГГМУ, 2013. 28 с.

5. *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.

НОРМИРОВАНИЕ ДОПУСТИМОЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ С ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОЗИЦИЙ

Лозовик П.А.

Институт водных проблем Севера Кар.НЦ РАН, г. Петрозаводск
lozovik@nwpi.krc.karelia.ru

Нормирование допустимой антропогенной нагрузки на водные объекты имеет большое значение, поскольку важно знать, до каких пределов можно изменять качество воды, существенно не нарушая при этом природное состояние водных экосистем. Антропогенное влияние на водоемы необходимо подразделять на эвтрофирование и загрязнение. Первое приводит к повышению их биопродуктивности и связано с избыточным поступлением биогенных элементов (P , N) и органического вещества (ОВ). Второе – обусловлено попаданием токсичных веществ, что способствует загрязнению водной среды.

За ассимиляционную (или самоочистительную) способность водного объекта следует принимать истинную скорость трансформации вещества в воде (U), определяемую как произведение концентрации (C) на константу скорости трансформации (k):

$$U = kC . \quad (1)$$

Величина ассимиляции вещества в водном объекте (As) будет определяться как произведение скорости на объем воды. Для рек ассимиляция выражается произведением скорости на среднегодовой сток в данном створе: $(As)_{рек} = kC \cdot V_{сток}$. Для озер необходимо учитывать ассимиляцию вещества как в озерной котловине, так и в стоке из озера:

$$(As)_{оз} = kC_{оз} \cdot V_{оз}, \quad (2)$$

$$(As)_{сток} = kC_{оз} \cdot V_{сток}. \quad (3)$$

Суммарная ассимиляция вещества в озерных системах будет равна: