

ВЫПАДЕНИЕ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С АТМОСФЕРНЫМИ ОСАДКАМИ НА АКВАТОРИИ ТРАНСГРАНИЧНОГО ПСКОВСКО-ЧУДСКОГО ОЗЕРНОГО КОМПЛЕКСА*

Разработана методика расчета атмосферных выпадений биогенных элементов на субакватории Псковско-Чудского озера. Методика базируется на допущении, согласно которому модули атмосферных выпадений биогенных элементов на акватории Псковско-Чудского озера будут на 6,5% меньше, чем соответствующие модули для Финского залива. Рассчитаны атмосферные выпадения фосфора общего и азота общего на российские и эстонские субакватории Чудского, Теплого и Псковского озер.

Ключевые слова:

атмосферные осадки, биогенные элементы, Псковско-Чудской озерный комплекс, эвтрофирование.

Фрумин Г.Т. Выпадение биогенных элементов с атмосферными осадками на акватории трансграничного Псковско-Чудского озера // Общество. Среда. Развитие. – 2015, № 3. – С. 175–178.

© Фрумин Григорий Тевелевич – доктор химических наук, профессор, Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург; e-mail: gfrumin@mail.ru

К трансграничным относятся любые поверхностные или подземные воды, которые обозначают и/или пересекают границы между двумя и более государствами или расположены в таких границах. В мире насчитывается 263 речных и более 270 подземных совместно используемых водных бассейнов. Необходимость совместного использования трансграничных вод практически всегда приводит к возникновению определенной напряженности в обществах, которые они объединяют. Это обусловлено разнообразными факторами, которые помимо отношений между странами включают вопросы национальной безопасности, развития экономического потенциала, открытости и экологической стабильности.

Управление трансграничными водными ресурсами (ТВР) может стать как объединяющим моментом, так и причиной конфликта; направленность во многом обусловлена политической волей. В мире за последние полвека в отношении ТВР имели место более 500 международных конфликтов и около 40 взаимных претензий на грани конфликтов с применением насилия [6, с. 175].

Псковско-Чудской озерный комплекс – четвертый по величине пресноводный во-

Таблица 1

Морфометрические показатели Псковско-Чудского озера при среднем уровне воды (30 м выше уровня моря) [9]

	Чудское озеро	Теплое озеро	Псковское озеро	Всего
Площадь, км ²	2611	236	708	3555
Объем воды, км ³	21,79	0,60	2,68	25,07
Средняя глубина, м	8,3	2,5	3,8	7,1
Наибольшая глубина, м	12,9	15,3	5,3	15,3
Длина, км	81	30	41	152
Средняя ширина, км	32	7,9	17	23
Наибольшая ширина, км	47	15	20	47
Длина береговой линии, км	260	83	177	520
Соотношение эстонской и российской частей акватории	55/45	50/50	1/99	44/56

* Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» (Соглашение № 14.574.21.0088 от 16.07.2014 г., по теме «Проведение прикладных научных исследований по разработке автоматизированной информационной системы мониторинга и прогноза баланса ливневых стоков для городских систем водоотведения», уникальный идентификатор Соглашения - RFMEFI57414X0088)

доем Европы и крупнейший европейский трансграничный водоем, расположенный на границе Эстонии и России. Водосборный бассейн Псковско-Чудского озера расположен между северными широтами $56^{\circ}08' - 59^{\circ}13'$ и восточными долготами $25^{\circ}36'$, занимая, вместе с собственно озером, 47800 км^2 . Общая площадь Псковско-Чудского озера составляет 3555 км^2 , из них 1985 км^2 относится к России и 1570 км^2 – к Эстонии. Водоем делится на три основные части: Чудское озеро, Псковское озеро и соединяющее их Теплое озеро (табл. 1).

Среди современных проблем водной экологии центральное место занимает проблема эвтрофирования, Эвтрофирование представляет собой естественный процесс эволюции водоема, обусловленный поступлением и накоплением различных биогенных элементов. Решающую роль в его развитии в водоемах зоны умеренного климата играет фосфор. Под воздействием хозяйственной деятельности естественный процесс старения водоема приобретает специфические черты и становится антропогенным. Поскольку эвтрофирование водоемов стало серьезной глобальной экологической проблемой, по линии ЮНЕСКО начаты работы по мониторингу внутренних вод и контролю за эвтрофированием водоемов планеты [5, с. 194].

Трофический статус основных частей водоема различен. Псковское озеро считается гиперэвтрофным, Теплое озеро – переходящим к гиперэвтрофному, Чудское озеро – эвтрофным. Ежегодно в летне-осенний период в озере наблюдается «цветение» воды различной интенсивности за счет массового развития синезеленых водорослей. Наиболее интенсивное «цветение» воды наблюдается в годы с преобладанием антициклональных погодных условий (низкие уровни воды, высокие летние температуры) [2, с. 11; 10].

Использование водных ресурсов водосборного бассейна Чудско-Псковского озера регулируется международными конвенциями и двухсторонними соглашениями, среди которых наиболее значимыми является соглашение между правительствами Эстонии и России по сотрудничеству в области охраны и рационального использования трансграничных вод, подписанное в Москве 20 августа 1997 г. В то же время современные требования водной рамочной директивы ЕС (Директива Европейского парламента и Совета Европейского

Союза № 2000/60/ЕС от 23 октября 2000 г.) указывают на необходимость разработки более детальной совместной Российско-Эстонской программы рационального использования и охраны водных ресурсов Чудско-Псковского озера. Составными частями программы должны быть создание скоординированной системы мониторинга как самого водоема, так и водных объектов водосборного бассейна, а также разработка методов и моделей для оценки последствий воздействия различных хозяйственных мероприятий на водные ресурсы водоема и его водосбора [3; 4].

Изложенное приводит к выводу о необходимости проведения природоохранных мероприятий на водосборе Псковско-Чудского озера, направленных на его деэвтрофирование.

Одной из основных задач обоснования рационального использования водных объектов является количественная оценка и прогноз внешних антропогенных воздействий на водоем и его ответной реакции (в виде изменения характеристик качества воды и экологического состояния). Для решения задачи С.А. Кондратьевым были разработаны математические модели, описывающие массоперенос в системе водоем-водосбор. В этих моделях в качестве основных составляющих биогенной нагрузки на водосбор используются: нагрузка от точечных источников, рассредоточенная эмиссия химических веществ различными типами подстилающей поверхности, нагрузка, обусловленная внесением минеральных удобрений, нагрузка, сформированная органическими удобрениями, вынос химических веществ с урожаем и массообмен с атмосферой [1, с. 136]. Значение атмосферной нагрузки рассчитывалось, исходя из средней интенсивности атмосферных выпадений, равной $5 \text{ кгТР-км}^2/\text{год}$ (ТР – общий фосфор) [10]. Эта же величина была принята в качестве приближенной оценки атмосферной нагрузки на поверхности водосборов Ладожского озера и Невской губы [1].

Следует отметить, что поступление биогенных элементов с атмосферными осадками на земную поверхность существенно различается как в пространстве, так и во времени (табл. 2).

В связи с изложенным цель данного исследования заключалась в разработке методики расчета атмосферных выпадений биогенных элементов на субэкватории Псковско-Чудского озера.

Материалы и методы исследования

При разработке методики были использованы первичные данные:

– РИЛС-5.5 [8, с.12] о атмосферных выпадениях биогенных элементов (общего фосфора – TP и общего азота – TN) на акваторию Финского залива за период 1995–2010 гг.;

– Росгидромета о динамике атмосферных осадков на акватории Финского залива и Чудского озера.

Таблица 2

Среднегодовое поступление минеральных форм азота и фосфора с атмосферными осадками на земную поверхность [7, с. 35]

Место наблюдения	Азот		Фосфор	
	годы наблюдений	среднее поступление, кг/га	годы наблюдений	среднее поступление, кг/га
Калужская область	1977–1981	12,1	–	–
Карелия	1980–1981	3,0	1980	0,003
Ленинградская область	1958–1961	6,6	1975–1976	0,135
Московская область	1958–1981	9,5	1967–1976	0,375
Новгородская область	1958–1961	5,2	1975	0,035

Расчеты показали, что за период с 1995 г. по 2010 г. на акваторию Финского залива в течение года из атмосферы поступало 150 тонн/год фосфора общего (TP). Эта ежегодная величина оставалась постоянной в течение всего указанного периода.

По данным [8], величины атмосферных выпадений азота общего на акваторию Финского залива существенно варьировали от года к году (табл. 3).

Таблица 3

Динамика атмосферных выпадений азота общего на акваторию Финского залива

Год	Q(TN), т/год	Год	Q(TN), т/год	Год	Q(TN), т/год
1995	14 763	2001	11 948	2007	11 621
1996	16 218	2002	9 826	2008	14 409
1997	11 781	2003	12 669	2009	10 921
1998	14 483	2004	13 438	2010	13 600
1999	13 320	2005	12 856	–	–
2000	15 823	2006	11 401	–	–

Для последующих расчетов была принята средняя величина атмосферных выпадений азота общего (TN), равная 13067 тонн/год. Учитывая, что площадь акватории Финского залива $F = 29500 \text{ км}^2$, были рассчитаны модули атмосферных выпадений биогенных элементов на рассматриваемую акваторию:

$$M(\text{TP}) = 150 \cdot 10^3 / 29500 = 5,08 \text{ кг/км}^2 \cdot \text{год}$$

$$M(\text{TN}) = 13067 \cdot 10^3 / 29500 = 442,9 \text{ кг/км}^2 \cdot \text{год}$$

Дополнительный анализ показал, что количество атмосферных осадков на Псковско-Чудской озерный комплекс по сравнению с Финским заливом меньше на 6,5%, что обусловлено континентальными особенностями климата и более редким прохождением влажных Атлантических циклонов.

В качестве первого приближения было принято, что модули атмосферных выпадений биогенных элементов на акватории Псковско-Чудского озерного комплекса будут на 6,5% меньше, чем соответствующие модули для Финского залива (табл. 4).

Таблица 4

Модули атмосферных выпадений биогенных элементов на акватории Псковско-Чудского озерного комплекса

Биогенный элемент	Модули атмосферных выпадений, кг/км ² ·год
Общий фосфор (TP)	4,75
Общий азот (TN)	414,1

Результаты и их обсуждение

Морфометрические данные, приведенные в табл. 1, и результаты расчетов, представленные в табл. 4, были положены в основу расчетов атмосферных выпадений биогенных элементов (Q) на субакватории Псковско-Чудского озерного комплекса (табл. 5).

Таблица 5

Атмосферные выпадения биогенных элементов на субакватории Псковско-Чудского озерного комплекса

Озеро	Q(TP), т/год			Q(TN), т/год		
	Акватория		Итого	Акватория		Итого
	Рос-сии	Эсто-нии		Рос-сии	Эсто-нии	
Чудское	5,6	6,80	12,40	487	595	1082
Теплое	0,6	0,60	1,20	49	49	98
Псковское	3,3	0,03	3,33	290	3	293
Итого	9,5	7,43	16,93	826	647	1473

Площадь российской части водосбора Псковско-Чудского озера 29 500 км². Расчеты показывают, что атмосферные выпадения фосфора общего на российскую часть водосбора $Q(\text{TP}) = 140$ тонн/год, а азота общего – $Q(\text{TN}) = 12\,216$ тонн/год. Согласно [2, с. 36] массообмен с атмосферой с российской части водосбора для нормы стока 260 мм·год⁻¹ для фосфора общего составляет 146 тонн/год, что практически совпадает с результатом наших расчетов

(140 тонн/год). К сожалению, в цитированной работе не приведены аналогичные расчеты для азота общего.

Согласно [2, с. 36] нагрузка на Псковско-Чудской озерный комплекс от различных источников российской части водосбора составляет для фосфора общего 654 тонн/год, а для азота общего – 7672 тонн/год. Сопоставление этих данных с приведенными в табл. 5 показывает, что доля атмосферной нагрузки фосфором общим составляет 1,5%, а азотом общим – 10,8%.

Список литературы:

- [1] Кондратьев С.А. Формирование внешней нагрузки на водоемы: проблемы моделирования. – СПб.: Наука, 2007. – 253 с.
- [2] Кондратьев С.А., Голосов С.Д., Зверев И.С., Рябченко В.А., Дворников А.Ю. Моделирование абiotических процессов в системе водосбор – водоем (на примере Чудско-Псковского озера) – СПб.: Нестор-История, 2010. – 104 с.
- [3] Румянцев В.А., Кондратьев С.А., Басова С.Л., Шмакова М.В., Шилин Б.В., Журавкова О.Н., Савицкая Н.В. Внешняя нагрузка на Чудско-Псковский озерный комплекс и его ответная реакция // Водное хозяйство России. Т. 7. – 2005, № 6. – С. 569–585.
- [4] Румянцев В.А., Кондратьев С.А., Басова С.Л., Шмакова М.В., Журавкова О.Н., Савицкая Н.В. Внешняя нагрузка на Чудско-Псковский озерный комплекс и моделирование фосфорного режима // Водные ресурсы. – 2006, т. 33(6). – С. 710–720.
- [5] Фрумин Г.Т., Гильдеева И.М. Эвтрофирование водоемов – глобальная экологическая проблема // Экологическая химия. – 2013, 22(4). – С. 191–197.
- [6] Фрумин Г.Т., Тимофеева Л.А. Трансграничные водные объекты и водосборы России: проблемы и пути решения // Биосфера. Т. 6 – 2014, №1. – С. 174–189.
- [7] Хрисанов Н.И., Осипов Г.К. Управление эвтрофированием водоемов. – СПб.: Гидрометеиздат, 1993. – 278 с.
- [8] HELCOM, 2013. Review of the Fifth Baltic Sea Pollution Load Compilation for the 2013 HELCOM Ministerial Meeting. Balt. Sea Environ. Proc. №. 141. – 54 pp.
- [9] Jaani, A., Raukas A. 1999. Lake Peipsi and its catchment area // Middel, A. and Raukas, A. (eds). Lake Peipsi. – Tallinn: Geology. Sulemees Publishers. – P. 9–14.
- [10] Nutrient loads to Lake Peipsi. Environmental monitoring of Lake Peipsi/Chudskoe 1998–1999. Norwegian Centre for Soil and Environmental Research, Jordforsk Report. – 1999, № 4/01. – 66 p.