

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:

$$As = kC_{O_3} \cdot (V_{O_3} + V_{\text{сток}}) = kC_{O_3} V_{\text{сток}} \cdot (\tau + 1), \quad (4)$$

где τ – период водообмена. Последнее уравнение является общим как для озер, так и для рек, только в последнем случае $\tau=0$.

Рассмотрим, как соотносятся два вида ассимиляции в озерных системах:

$$\frac{(As)_{O_3}}{(As)_{\text{сток}}} = \frac{kC_{O_3} V_{O_3}}{kC_{O_3} V_{\text{сток}}} = \tau. \quad (5)$$

Для озер с $\tau > 1$ ассимиляция в озере превышает ассимиляцию в стоке. Для озер с большим периодом водообмена ($\tau > 10$) фактически будет преобладать озерная ассимиляция, и эти озера будут обладать кумулятивным эффектом, существенно снижая вынос вещества за пределы озера. Для озер с $\tau < 1$ ассимиляция в озере будет меньше, чем в стоке из озера. Фактически для высокопроточных озер аккумуляции вещества происходить не будет. Когда $\tau=1$, наблюдается равенство ассимиляции вещества в озере и в его истоке.

Соотношение ассимиляция и внешней нагрузки на водоем определяется уравнением:

$$\frac{As}{L} = \frac{kC_{O_3} (V_{O_3} + V_{\text{сток}})}{\bar{C}_{np} V_{\text{сток}}} = k(1 - R)(\tau + 1) \quad (6)$$

С учетом зависимости R от k и τ $R = \frac{k\tau}{1 + k\tau e^{\frac{1}{\tau}}}$ [1] уравнение (6) за-

пишем в виде:

$$\frac{As}{L} = k \left(1 - \frac{k\tau}{1 + k\tau e^{\frac{1}{\tau}}} \right) \cdot (\tau + 1) \quad (7)$$

Для озер с одним и тем же периодом водообмена и одинаковой величиной k ассимиляция пропорциональна внешней нагрузке на водоем; при росте нагрузки будет увеличиваться и ассимиляция вещества, что имеет принципиальное значение для нормирования антропогенной нагрузки на водоем. Следует также учитывать ассимиляционную способность водного объекта только в природном состоянии (а не в измененном), в противном случае нагрузку можно будет увеличивать до бесконечности. В связи с этим необходимо записать, что допустимая антропогенная нагрузка не должна превышать ассимиляцию вещества в природном состоянии объекта:

$$(L_{\text{антр}})_{\text{доп}} = (As)_{\text{прир}} \quad (8)$$

Исходя из данного принципа, можно осуществлять нормирование антропогенной нагрузки на водные объекты. При увеличении нагрузки на величину ассимиляции $(L)_{\text{доп}} = L + As$ концентрация вещества в водном объекте составит:

$$(C_{\text{оз}})_{\text{доп}} = C_{\text{оз}}[1 + k(\tau + 1)(1 - R)] \quad (9)$$

Отношение $(C_{\text{оз}})_{\text{доп}}/C_{\text{оз}}$ колеблется в очень узких пределах (1.4-1.8), составляя в среднем 1.58. Этот коэффициент совпадает с коэффициентом при нормировании антропогенного воздействия по $P_{\text{общ}}$ и $ОВ$ по принципу сохранения геохимического класса вод: «допустимая антропогенная нагрузка на водоем не должна приводить к $\sqrt{2.5}$ -кратному увеличению концентрации вещества по сравнению с его природным содержанием» [2]. Установленный факт позволяет не только констатировать, что оба методических подхода к нормированию антропогенного воздействия будут давать близкие результаты, но и является подтверждением правомерности их применения для оценки допустимой нагрузки.

На основании указанных положений и формул выполнены расчеты природной ассимиляции соответствующих нагрузок и концентраций веществ в озерах Ладожском, Онежском, Крошнозеро; Исо-Пюхярви и Кондопожской губах Онежского озера (табл. 1).

Таблица 1– Природная ассимиляция и нагрузки на водные объекты; соответствующие им концентрации веществ в приточных и озерных водах

Озеро	$(As)_{\text{прир}}$	$L_{\text{прир}}$	$L_{\text{доп}}$	$(\bar{C}_{\text{пр}})_{\text{доп}}$	$(C_{\text{оз}})_{\text{доп}}$
Фосфор общий					
	т/год		мкг/л		
Онежское	264	396	660	35.0	9.9
Ладожское	1284	2098	3382	43.5	16.3
Крошнозеро	2.1	3.3	5	94.6	50.1
Кондопожская губа	20.3	42.6	63	13.3	10.1
Органическое вещество					
	т/год		мг/л		
Исо-Пюхярви	256	488	744	31.2	19.1

По $(Lp)_{\text{доп}}$ получено, что состояние Онежского озера полностью соответствует допустимой нагрузке, и оно в современный период отвечает верхней границе олиготрофных водоемов как по содержанию $P_{\text{общ}}$, так и по гидробиологическим показателям [3]. В Ладож-

ском озере наблюдаемая в настоящее время концентрация $P_{\text{общ}}$ [4] также согласуется с допустимой нагрузкой. Для оз. Крошнозеро получено, что современная концентрация $P_{\text{общ}}$ в воде озера выше $(C_{\text{оз}})_{\text{доп}}$ в 1.3 раза.

Из всех рассмотренных объектов наиболее существенно отличается Кондопожская губа, в которой современная фосфорная нагрузка выше допустимой в 2 раза и, как следствие этого, средняя концентрация $P_{\text{общ}}$ в губе в настоящее время в 2 раза больше, чем при допустимой нагрузке. По последней губа соответствовала бы верхней границе олиготрофных водоемов, а по современной – приближается к эвтрофным.

Для оз. Исо-Пюхярви установлено, что при $((L_{\text{ОВ}})_{\text{доп}})$ концентрация ОВ будет в 1.2 раза меньше, чем современная, и озеро будет соответствовать типично мезогумусному классу вод.

При использовании второго методического подхода оценки допустимой нагрузки получены близкие изменения концентрации веществ в воде озер по сравнению с первым вариантом расчета. Различия допустимых нагрузок, рассчитанных двумя методами, по $P_{\text{общ}}$ и ОВ составляют всего 2-5%.

В настоящее время нормирование загрязнения вод токсичными веществами, согласно приказу Минприроды, осуществляется в России на основе нормирования допустимого сброса (НДС) загрязняющих веществ со сточными водами [5]. Нормативы по НДС устанавливаются всем предприятиям, сбрасывающим в водные объекты сточные воды. Если сброс воды находится в пределах НДС, то взимается плата за загрязнение среды по обычному тарифу, если превышает – вводятся повышающие коэффициенты.

В чем недостаток существующей официальной методики? Фактически расчет НДС осуществляется исходя из принципа, что концентрация загрязняющего вещества должна быть на уровне ПДК в контрольном створе с учетом кратности разбавления сточных вод в этой точке. Если предприятие сбрасывает свои сточные воды в малопроточный водоток с низкой кратностью разбавления сточных вод, то НДС будет небольшой, а если в высокопроточный (в крупную реку), то НДС будет увеличен. В первом случае предприятие должно платить намного больше, чем во втором, хотя сбрасывается одно и то же количество загрязняющих веществ. Для устранения этого противоречия предлагается новая методика нормирования,

учитывающая как качественную сторону (уровень загрязнения), так и количественную (объем стока загрязненных вод).

При загрязнении водных объектов токсичными веществами оценивается количество загрязненных вод (КЗВ), определяемое как произведение $ИЗВ_{рег}$ на объем годового стока из водоема:

$$КЗВ = ИЗВ_{рег} \cdot V_{стока}$$

где $ИЗВ_{рег}$ рассчитывается по региональным ПДК (РПДК). В РПДК учитывается геохимический фон элемента и его ПДК для рыбохозяйственных водоемов [6]. При этом не имеет принципиального значения, по какому объекту считать: результат будет одинаковым как в случае расчета КЗВ для водоприемника сточных вод, так и для сбрасываемых сточных вод.

За допустимое количество загрязненных вод (ДКЗВ) принимается объем, при котором $ИЗВ_{рег}=1$ (фактически равный объему годового стока с водного объекта). Представленная выше методика оценки КЗВ была применена к водным объектам системы р. Кенти (Северная Карелия), подверженным влиянию техногенных вод Костомукшского ГОК'а (ОАО «Карельский окатыш»). Ежегодно в систему сбрасывается от 10 до 24 млн м³ воды из хвостохранилища ГОК'а в зависимости от водности года. В системе реки сформировался техногенно-измененный сульфатно-калиевый тип вод с высоким содержанием K^+ , SO_4^{2-} и повышенным Li , NO_3^- , Ni по сравнению с природными водами региона [7]. Расчет $ИЗВ_{рег}$ был проведен по пяти компонентам (K^+ , SO_4^{2-} , Li , NO_3^- и Ni), содержание которых отражает специфику техногенных вод и загрязнение системы. На основе данных по $ИЗВ_{рег}$ для водных объектов и объему стока рассчитано количество загрязненных вод, поступающих из этих водоемов (табл. 2).

Таблица 2 – Количество загрязненных вод в системе р. Кенти в 2014 г.

Объект	Объем стока, млн. м ³ /год	$ИЗВ_{рег}$	КЗВ	ДКЗВ	КЗВ–ДКЗВ
			млн. м ³ /год		
Оз. Окуновое	32.1	12.7	408	32	376
Оз. Поппаляярви	57.2	8.4	480	57	423
Оз. Койвас	119	3.43	408	119	289
Оз. Кенто	199	2.4	478	199	279
Среднее			455*		

* - без учета оз. Окуновое

Как следует из табл. 2, загрязнение реки уменьшается вниз по течению, а количество загрязненных вод остается постоянным, не-

зависимо от водного объекта. Полученные результаты позволяют констатировать, что применительно к системе р. Кенти количество загрязненных вод в ней оценивается около 455 млн. м³/год, а допустимое – 55 млн. м³/год. За последнее значение принято ДКЗВ для оз. Поппалиярви, являющееся замыкающим створом для всех техногенных вод, сбрасываемых в систему р. Кенти. Превышение допустимого уровня достигает 400 млн. м³/год.

Аналогичным способом можно провести оценку КЗВ по техногенным водам и отводным каналам (табл. 3). Суммарное количество загрязненных вод для них близко к КЗВ в системе р. Кенти. Из этого следует, что не имеет значения, каким образом осуществлять расчет КЗВ: по выпускам техногенных вод или по их водоприемникам.

Таблица 3 – Количество загрязненных техногенных вод и вод водоотводных каналов в 2014 г.

Объект	Объем стока, млн м ³ /год	ИЗВ _{рег}	КЗВ	Допустимое КЗВ	Превышение КЗВ
				млн м ³ /год	
Хвостохранилище	8.8	18.5	163	9	154
Фильтрационные воды	2.0	13.7	27	2	25
Западный карьер	2.9	53.3	155	3	152
Южный канал	15.5	4.9	76	16	60
Северо-Западный канал	8.8	4.7	41	9	32
Всего	38		462	39	423

Представленная новая система оценки количества загрязненных вод имеет существенные преимущества по сравнению с ныне действующей системой по нормированию сброса сточных вод [5]. В принятой методике требуется установление кратности разбавления сточных вод в контрольном створе. Выполнить его достаточно сложно для озер, необходимо проведение специальных исследований. По новой методике расчета КЗВ значительно упрощается оценка платы за сброс загрязняющих веществ. Было бы логично установить единую для всех плату за сброс в год 1 млн. м³ загрязненных вод в пределах ДКЗВ, а за превышающий объем сброса использовать повышающий коэффициент.

Литература

1 Лозовик П.А., Рыжаков А.В., Сабылина А.В. Процессы трансформации, круговорота и образования веществ в природных водах//

Труды КарНЦ РАН. 2011. № 4. С. 21-28.

2. Лозовик П.А. Гидрогеохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию // Автореф. диссер. на соискание учёной степени доктора химических наук. М. 2006. 56 с.

3. Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998-2006 гг. Петрозаводск, КарНЦ РАН. 2007. 210 с.

4. Сусарева О.М., Петрова Т.Н. Многолетний мониторинг динамики содержания фосфора в Ладожском озере / Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах. Материалы V Всероссийского симпозиума с международным участием 10-14 сентября 2012 г. Петрозаводск. 2012. С. 62-66.

5. Приказ №333 МПР РФ от 17.12.2007 «Об утверждении методики разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей».

6. Лозовик П.А., Платонов А.В. Определение региональных предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ на примере Карельского гидрографического района // Геоэкология, 2005. №6. С. 527-532

7. Лозовик П.А., Кулакова Н.Е. Методические подходы к оценке загрязнения водных объектов в зоне действия предприятий горнодобывающей промышленности // Водные ресурсы. 2014. Т. 41. № 4. С. 429.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ НА ДИНАМИКУ СООБЩЕСТВ ГИДРОБИОНТОВ ЕГО СЕВЕРНОГО РЕГИОНА

Митина Н.Н., Малашенков Б.М.

Институт водных проблем РАН, г. Москва
natalia_mitina@mail.ru

Цель работы – исследование влияния изменения уровня Каспийского моря на сообщества подводных ландшафтов Северного Каспия. В процессе работы была составлена матрица данных за 1935-2005 гг. по 154-м показателям – климатическим, гидрологическим, гидродинамическим, литологическим, гидрохимическим, гидробиологическим и концентрациям загрязняющих веществ (ЗВ). Оценено влияние изменения уровня моря на фитопланктон, зоо-